

XIX CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

CNIM 2012

Castellón, 14-16 de noviembre de 2012

Programa y Resúmenes

Comité organizador CNIM 2012
Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales
Universitat Jaume I
Avda. Vicent Sos Baynat s/n, 12071, Castellón
<http://www.xixcnim.uji.es>

Congreso promovido por la Asociación Española de Ingeniería Mecánica, AEIM.

Editado por:

Antonio Pérez González
Francisco T. Sánchez Marín
Joaquín L. Sancho Bru
Marta C. Mora Aguilar
José L. Iserte Vilar
Francisco J. Andrés de la Esperanza

*Área de Ingeniería Mecánica
Departamento de Ingeniería Mecánica
Universitat Jaume I*

Impreso por: COPISTERIA FORMAT, S.L.

ISSN: 0212-5072



INDICE

Información General	5
Organización.....	7
Comité científico	8
Lugar de celebración y planos	9
Agradecimientos	11
Programa	13
Programa general.....	15
Conferencias plenarias.....	16
Listado de sesiones orales	17
Programa de sesiones orales.....	18
Programa de sesiones póster	26
Resúmenes	29
Biomecánica	31
Cinemática Computacional	53
Dinámica de Sistemas Multicuerpo	59
Educación en Ingeniería Mecánica	63
Historia de las Máquinas y los Mecanismos.....	77
Ingeniería de Fabricación	81
Máquinas y Mecanismos	111
Mecánica Computacional	125
Mecánica de Fractura y Fatiga	129
Mecánica Experimental y Metrología	135
Mecatrónica	151
Robótica	153
Ruido y Vibraciones	157
Sostenibilidad y Medio Ambiente en Ingeniería Mecánica.....	167
Tribología.....	171
Vehículos y Transporte	177
Otros	203
Índice de Autores	209
Lista de Participantes	219



Asociación Española
de Ingeniería Mecánica

XIX Congreso Nacional
de Ingeniería Mecánica



Información General

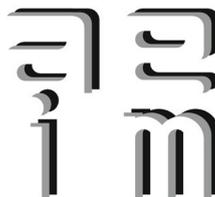
ORGANIZACIÓN

Comité Organizador Local

- Antonio Pérez González
- Joaquín L. Sancho Bru
- Francisco T. Sánchez Marín
- Jose L. Iserte Vilar
- Marta C. Mora Aguilar
- Francisco J. Andrés de la Esperanza

Consejo Rector de la Asociación Española de Ingeniería Mecánica

- Fernando Viadero Rueda (Presidente), Universidad de Cantabria
- José Luis San Román García (Vicepresidente), Universidad Carlos III
- Salvador Cardona Foix, Universidad Politécnica de Cataluña
- Juan Ignacio Cuadrado Iglesias, Universidad Politécnica de Valencia
- José Luis Muñoz Sanz, Universidad Politécnica de Madrid
- Alfonso Hernández Frías, Universidad del País Vasco
- Juana Mayo Núñez, Universidad de Sevilla
- María Prado Novoa, Universidad de Málaga
- Emilio Velasco Sánchez, Universidad Miguel Hernández de Elche
- Alfonso Fernández del Rincón (Secretario General), Universidad de Cantabria

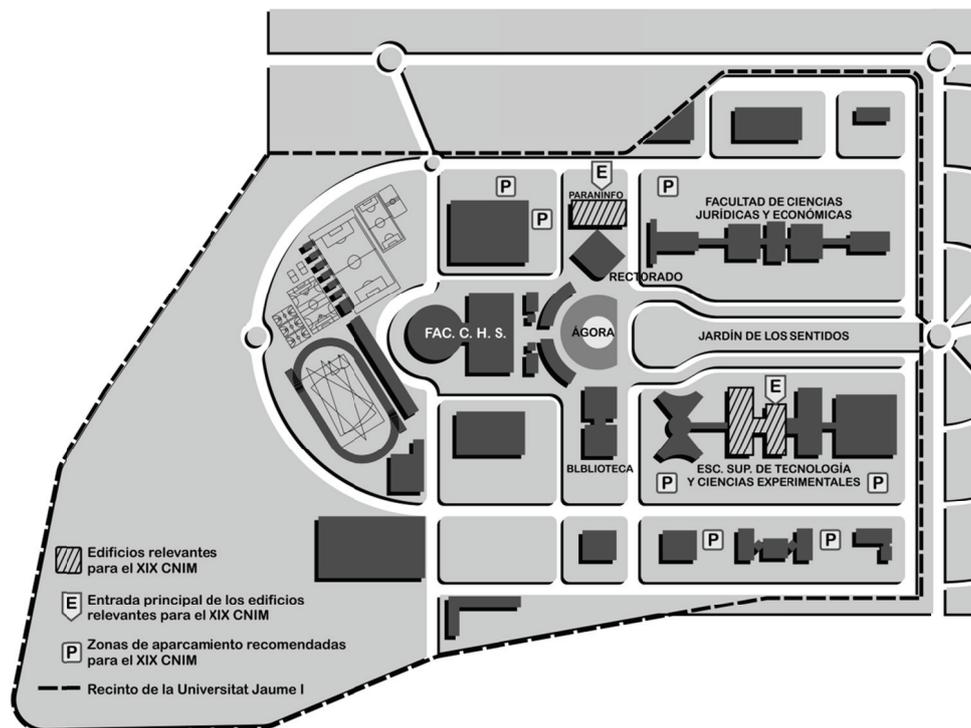


COMITÉ CIENTÍFICO

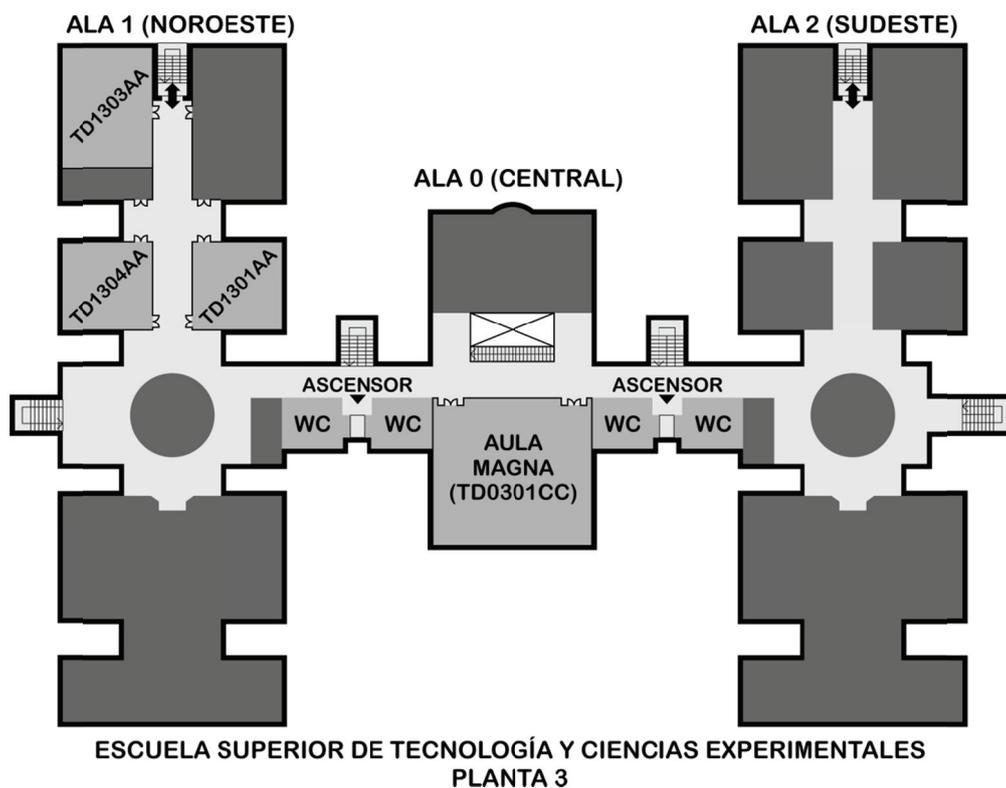
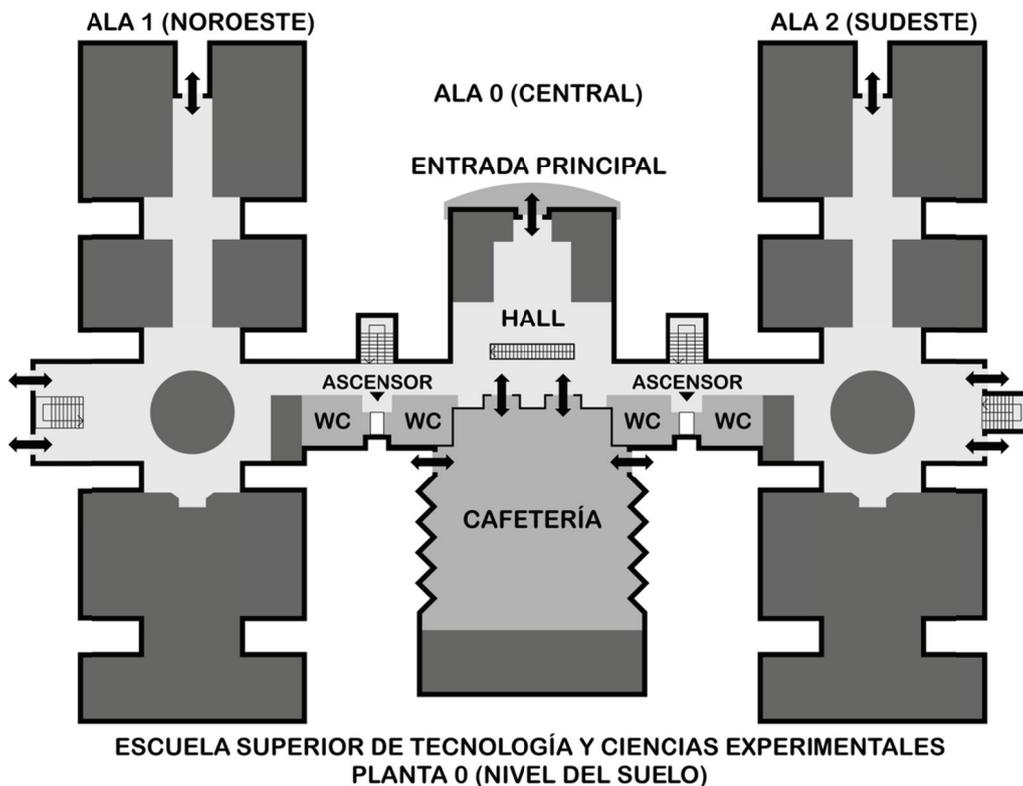
- Óscar Altuzarra Maestre, Universidad del País Vasco
- Enrique Amezua San Martín, Universidad del País Vasco
- Francisco Aparicio Izquierdo, Universidad Politécnica de Madrid
- Mariano Artés Gómez, Universidad Nacional de Educación a Distancia
- Rafael Avilés González, Universidad del País Vasco
- Miguel Balbás Antón, Universidad Politécnica de Madrid
- Roque Alejandro Calero Pérez, Universidad de las Palmas de Gran Canaria
- Salvador Cardona Foix, Universidad Politécnica de Cataluña
- Francisco J. Cuadrado Aranda, Universidad de la Coruña
- Juan Ignacio Cuadrado Iglesias, Universidad Politécnica de Valencia
- Jaime Domingo Domínguez Abascal, Universidad de Sevilla
- José Esteban Fernández Rico, Universidad de Oviedo
- Francisco Javier Fuenmayor Fernández, Universidad Politécnica de Valencia
- Alfonso Fuentes Aznar, Universidad Politécnica de Cartagena
- Francisco Javier García de Jalón de la Fuente, Univ. Politécnica de Madrid
- Juan Carlos García Prada, Universidad Carlos III de Madrid
- Ernesto García Vadillo, Universidad del País Vasco
- Alfonso Hernández Frías, Universidad del País Vasco
- Luis Norberto López de la Calle Marcaide, Universidad del País Vasco
- Vicente Mata Amela, Universidad Politécnica de Valencia
- Juana María Mayo Núñez, Universidad de Sevilla
- José Luis Ocaña Moreno, Universidad Politécnica de Madrid
- José Ignacio Pedrero Moya, Universidad Nacional de Educación a Distancia
- Antonio Pérez González, Universitat Jaume I
- Publio Pintado Sanjuán, Universidad de Castilla-La Mancha
- Angel María Sánchez Pérez, Universidad Politécnica de Madrid
- José Antonio Sánchez Galíndez, Universidad del País Vasco
- José Luis San Román García, Universidad Carlos III de Madrid
- Antonio Simón Mata, Universidad de Málaga
- Pedro Manuel Vera Luna, Universidad Politécnica de Valencia
- Fernando Viadero Rueda, Universidad de Cantabria
- Ricardo Vijande Díaz, Universidad de Oviedo
- Jordi Viñolas Prat, Universidad de Navarra

LUGAR DE CELEBRACIÓN Y PLANOS

Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales
Campus del Riu Sec
Universitat Jaume I



Detalle del campus de la Universitat Jaume I



AGRADECIMIENTOS

Las siguientes entidades han colaborado en la organización del Congreso o han ayudado a financiarlo:

- UJI. Universitat Jaume I
- Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales, UJI
- Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, UJI
- COIIV. Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de la Comunidad Valenciana, Delegación de Castellón
- IFToMM. International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science
- Red Nacional de Ingeniería Mecánica
- Ministerio de Economía y Competitividad, Gobierno de España
- BP Oil España, S.A.U.
- Sidilab, Sistemas Didácticos de Laboratorio S.L.





Asociación Española
de Ingeniería Mecánica

XIX Congreso Nacional
de Ingeniería Mecánica



Programa

PROGRAMA GENERAL

	MIÉRCOLES 14	JUEVES 15	VIERNES 16
09:00		9:00-Aulas ESTCE	9:00-Aulas ESTCE
		Sesiones S07 / S08 / S09	Sesiones S19 / S20 / S21
10:00	10:00-Parainfo		
	Bienvenida. Recogida de documentación	10:30 Pausa/Pósters	10:30 Pausa/Pósters
11:00		11:00-Aulas ESTCE	11:00-Aulas ESTCE
		Sesiones S10 / S11 / S12	Sesiones S22 / S23 / S24
12:00	12:00 Inauguración		
	12:30-Parainfo	12:30-Aula Magna(ESTCE)	12:30-Aula Magna (ESTCE)
13:00	Conferencia plenaria	Conferencia plenaria	Conferencia plenaria
	13:30-Hotel Luz	13:30-Hotel Luz	13:30-Mas del Pi
14:00	Almuerzo	Almuerzo	Almuerzo
15:00			
16:00	15:45-Aulas ESTCE	15:45-Aulas ESTCE	
	Sesiones S01 / S02 / S03	Sesiones S13 / S14 / S15	
17:00	16:45 Pausa/café	16:45 Pausa/café	
	17:15-Aulas ESTCE	17:15-Aulas ESTCE	
18:00	Sesiones S04 / S05 / S06	Sesiones S16 / S17 / S18	
	18:15-Aula Magna (ESTCE)	18:15-Aula Magna (ESTCE)	
19:00	Reunión RNIM	Reunión AEIM	
20:00			
		20:30-Sala Opal	
21:00		Cena de gala	
22:00			
23:00			

RNIM: Red Nacional de Ingeniería Mecánica

AEIM: Asociación Nacional de Ingeniería Mecánica

ESTCE: Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales (UJI)

Hotel Luz: c/Pintor Oliet, 3, Castellón

Más del Pi: Cuadra del Mercader s/n, Castellón

Sala Opal: Muelle Serrano Lloberes, Puerto de Castellón

CONFERENCIAS PLENARIAS

Título	Ponente	Fecha y hora	Lugar
El concepto de complejidad como criterio de diseño en Ingeniería Mecánica.	Jorge Angeles McGill University Montreal, Canadá	14-nov-2012 12:30	PARANINFO
Estimación de error de discretización en elementos finitos mediante técnicas de recovery	Javier Fuenmayor Fernández Universidad Politécnica de Valencia	15-nov-2012 12:30	AULA MAGNA (ESTCE)
Recent research on the structural dynamic behavior of tyres	Paul Sas Katholieke Universiteit Leuven Bélgica	16-nov-2012 12:30	AULA MAGNA (ESTCE)

LISTADO DE SESIONES ORALES

Sesión	Fecha y hora	Lugar (ESTCE)	Pág.
S01-Máquinas y Mecanismos I	14-nov-2012 15:45-16:45	AULA MAGNA	18
S02-Biomecánica I	14-nov-2012 15:45-16:45	AULA TD1301AA	18
S03-Mecánica Experimental y Metrología I	14-nov-2012 15:45-16:45	AULA TD1304AA	18
S04-Máquinas y Mecanismos II	14-nov-2012 17:15-18:15	AULA MAGNA	19
S05-Biomecánica II	14-nov-2012 17:15-18:15	AULA TD1301AA	19
S06-Mecánica Experimental y Metrología II	14-nov-2012 17:15-18:15	AULA TD1304AA	19
S07-Vehículos I	15-nov-2012 09:00-10:30	AULA MAGNA	20
S08-Fabricación I	15-nov-2012 09:00-10:30	AULA TD1301AA	20
S09-Cinemática y Dinámica	15-nov-2012 09:00-10:30	AULA TD1304AA	20
S10-Vehículos II	15-nov-2012 11:00-12:30	AULA MAGNA	21
S11-Fabricación II	15-nov-2012 11:00-12:30	AULA TD1301AA	21
S12-Fractura y Fatiga	15-nov-2012 11:00-12:30	AULA TD1304AA	21
S13-Ruido y Vibraciones I	15-nov-2012 15:45-16:45	AULA MAGNA	22
S14-Biomecánica III	15-nov-2012 15:45-16:45	AULA TD1301AA	22
S15-Educación e Historia en Ingeniería Mecánica I	15-nov-2012 15:45-16:45	AULA TD1304AA	22
S16-Ruido y Vibraciones II	15-nov-2012 17:15-18:15	AULA MAGNA	23
S17-Biomecánica IV	15-nov-2012 17:15-18:15	AULA TD1301AA	23
S18-Tribología	15-nov-2012 17:15-18:15	AULA TD1304AA	23
S19-Vehículos III	16-nov-2012 09:00-10:15	AULA MAGNA	24
S20-Fabricación III	16-nov-2012 09:00-10:30	AULA TD1301AA	24
S21-Educación e Historia en Ingeniería Mecánica II	16-nov-2012 09:00-10:30	AULA TD1304AA	24
S22-Vehículos IV	16-nov-2012 11:00-12:15	AULA MAGNA	25
S23-Fabricación IV	16-nov-2012 11:00-12:30	AULA TD1301AA	25
S24-Máquinas y Mecanismos III	16-nov-2012 11:00-12:15	AULA TD1304AA	25

PROGRAMA DE SESIONES ORALES

Miércoles, 14 de noviembre de 2012

Sesión S1 Máquinas y Mecanismos I			Lugar: AULA MAGNA (ESTCE) Moderador: <i>Francisco T. Sánchez Marín</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
15:45	08-03	Aguirrebeitia Celaya, Josu	Capacidad de carga estática generalizada en rodamientos de vuelco de contacto angular de 4 puntos. Influencia de la precarga.	114
16:00	08-05	Català Calderón, Pau	Análisis del efecto del apriete y la rigidez de contacto en la precisión de un mecanismo de levas conjugadas	116
16:15	08-08	Lorenzo Fernández, Miguel Angel	Determinación vía MEF de la fuerza de inserción en el proceso de construcción de un ajuste a presión	119
16:30	08-10	Arana, Aitor	Estrategias para el enfriamiento de husillos a bolas en máquinas de alta dinámica con el objetivo de mejorar errores de posicionamiento	121

Sesión S2 Biomecánica I			Lugar: AULA TD1301AA (ESTCE) Moderadora: <i>Juana Mayo Núñez</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
15:45	01-09	Cuadrado Aranda, Javier	Aplicación de técnicas de dinámica multicuerpo al diseño de ortesis activas para ayuda a la marcha	39
16:00	01-03	Pàmies Vilà, Rosa	Estimación de los parámetros del modelo de contacto pie-suelo en la marcha humana	33
16:15	01-18	Postigo Pozo, Sergio	Análisis de marcha 3D prequirúrgica en niños con espasticidad sometidos a rizotomía dorsal selectiva	47
16:30	01-21	Borras Pinilla, Carlos	Estudio, diseño y construcción biomecánica de un emulador de tobillo articulado para prótesis de miembro inferior	49

Sesión S3 Mecánica Experimental y Metrología I			Lugar: AULA TD1304AA (ESTCE) Moderador: <i>Juan José Aguilar Martín</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
15:45	11-05	García-Berrocal Sánchez, Agustín	Corrección por temperatura de los patrones volumétricos de desplazamiento positivo en la metrología de los hidrocarburos	138
16:00	11-06	Ontiveros, Sinué	Control de calidad y dimensional en limas endodónticas mediante tomografía computerizada	139
16:15	11-17	Soler Mallol, Daniel	Incertidumbre en la medición de temperatura en el corte ortogonal de aleaciones de Titanio	147

Miércoles, 14 de noviembre de 2012

Sesión S4 Máquinas y Mecanismos II			Lugar: AULA MAGNA (ESTCE)	
			Moderador: <i>Publio Pintado Sanjuán</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
17:15	08-07	Herrero Villalibre, Saioa	Análisis dinámico en manipuladores paralelos con movimientos parásitos	118
17:30	08-04	Ibarreche Mendía, José Ignacio	Síntesis estructural de las familias de manipuladores paralelos de 3 grados de libertad	115
17:45	08-06	Corral Saiz, Javier	Indicador de rendimiento de una máquina de recateado basada en un robot paralelo	117
18:00	08-11	Iglesias Santamaria, Miguel	Estudio de la influencia de los errores de posición en el reparto de carga en transmisiones planetarias	122

Sesión S5 Biomecánica II			Lugar: AULA TD1301AA (ESTCE)	
			Moderadora: <i>María Prado Novoa</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
17:15	01-04	Ojeda Granja, Joaquín	Estudio y validación del proceso de remodelación ósea en un fémur con un modelo específico de paciente	34
17:30	01-08	Carrascal Morillo, María Teresa	Estudio de tensiones generadas en férulas de yeso para fracturas de Colles mediante ensayos mecánicos y elementos finitos	38
17:45	01-11	García-Gonzalez, Antonio	Estudio numérico de la distribución de presiones en el canal auditivo	41
18:00	01-15	Giner Maravilla, Eugenio	Simulación del crecimiento de microgrietas en una osteona mediante elementos finitos	45

Sesión S6 Mecánica Experimental y Metrología II			Lugar: AULA TD1304AA (ESTCE)	
			Moderador: <i>José Luis San Román</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
17:15	11-09	López-Alba, E.	Aplicación de Correlación Digital de Imágenes 2D para el análisis de problemas de contacto	141
17:30	11-15	Huertas Talón, José Luis	Algoritmo para la medición de engranajes implementado en Excel	145
17:45	11-16	Aguado Jiménez, Sergio	Multilateralización en verificación volumétrica de máquina herramienta	146
18:00	11-19	Felipe Sesé, Luis	Calibración del montaje óptico para determinación de desplazamientos en el espacio mediante Correlación Digital de Imágenes 2D y Proyección de Franjas	149

Jueves, 15 de noviembre de 2012

Sesión S7 Vehículos I			Lugar: AULA MAGNA (ESTCE) Moderador: <i>Ernesto García Vadillo</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
09:00	18-01	Tur Valiente, Manuel	Modelo de elementos finitos para la simulación del sistema pantógrafo-catenaria	178
09:15	18-02	Aizpun Navarro, Miguel	Influencia de la cadena de tracción y las fuerzas tractoras en los modelos dinámicos ferroviarios	179
09:30	18-14	Correa García, Nekane	Un método eficaz para la modelización dinámica vertical de la interacción rueda-carril	189
09:45	18-24	López Rosado, Alberto	Aproximación en polinomios de Chebyshev para el modelo de dinámica longitudinal del vehículo	196
10:00	18-28	Alonso Pazos, Asier	Desarrollo de una nueva metodología para el análisis de estabilidad de vehículos ferroviarios	199
10:15	18-31	Martínez Casas, José	Estimación numérica de las tensiones en ejes de vehículos ferroviarios	202

Sesión S8 Fabricación I			Lugar: AULA TD1301AA (ESTCE) Moderador: <i>Luis Norberto López de la Calle Maracaide</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
09:00	07-35	Rodríguez Salgado, David	Estudio comparativo de dos sistemas de monitorización del desgaste de la herramienta y de la rugosidad superficial basados en LS-SVM y redes neuronales	107
09:15	07-33	Arsuaga Berrueta, Mikel	Monitorización en línea del proceso en el mandrinado de componentes de gran tamaño	105
09:30	07-10	Tabernero Campos, Iván	Laser cladding en 5 ejes continuos para la fabricación de piezas de alto valor añadido	88
09:45	07-08	Ukar Arrien, Eneko	Caracterización del movimiento de un escáner 2D para el guiado de un haz láser	86
10:00	07-31	Rodríguez Ezquerro, Adrian	Biomecanizado con microorganismos extremófilos: aplicación al cobre libre de oxígeno	103
10:15	07-24	García Gil, Eduardo	Mejora de las condiciones de fricción pieza-muela mediante la aplicación de mínimas cantidades de lubricante a bajas temperaturas	96

Sesión S9 Cinemática y Dinámica			Lugar: AULA TD1304AA (ESTCE) Moderador: <i>Fernando Viadero Rueda</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
09:00	02-01	Altuzarra Maestre, Óscar	Parámetros redundantes para rotación y traslación en Cinemática	54
09:15	02-02	Bilbao Sagarduy, Armando	Sobre la Aplicación de la Teoría de Torsores en Cinemática	55
09:30	02-03	Diez Sanchez, Mikel	Simulación del mecanismo molecular con incrementos optimizados en los ángulos diédricos	56
09:45	02-04	García Fernández, Pablo	Tratamiento de las restricciones de desigualdad en un método de optimización de síntesis cinemática	57
10:00	03-01	Saura Sanchez, Mariano	Análisis estructural computacional de sistemas multicuerpo planos con pares inferiores y superiores	60
10:15	03-04	Sanjurjo Maroño, Emilio	Validación experimental de un modelo multicuerpo de un prototipo de vehículo automatizado	61

Jueves, 15 de noviembre de 2012

Sesión S10		Lugar: AULA MAGNA (ESTCE)		
Vehículos II		Moderador: Emilio Velasco Sánchez		
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
11:00	18-13	Castillo Aguilar, Juan Jesús	Estimación de parámetros en sistema de frenado	188
11:15	18-09	Jimenez Alonso Felipe	Análisis experimental del comportamiento dinámico de las furgonetas	184
11:30	18-12	Pérez Fernández, Jesús Ángel	Metodología de predicción de la vida a fatiga de uniones soldadas en estructuras de vehículos de transporte colectivo.	187
11:45	18-10	Jimenez Alonso, Felipe	Sistema automático de evitación de colisiones basado en un cálculo preciso del tiempo restante para el impacto	185
12:00	18-22	Badea Romero, Francisco Mariano	Optimización de uniones y estructuras de autobuses modelizadas con elementos finitos mediante análisis modales	194
12:15	18-23	Lagunilla Sánchez, Roberto	Optimización topológica de estructuras reticulares 3D con malla variable	195

Sesión S11		Lugar: AULA TD1301AA (ESTCE)		
Fabricación II		Moderador: Aitzol Lamikiz Mentxaka		
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
11:00	07-11	Martínez Rodríguez, Silvia	Aproximación al proceso de temple por láser remoto	89
11:15	07-13	Díaz Tena, Estíbaliz	Apoyo de gran amortiguamiento basado en fluidos magnetoreológicos para la eliminación de vibraciones en la industria aeroespacial	91
11:30	07-14	Calleja Ochoa, Amaia	Adaptadores trigonales para máquinas multitarea fabricados en máquinas multitarea	92
11:45	07-29	Servan, Javier	Proyección laser como soporte al proceso de montaje del ala del Airbus A400M	101
12:00	07-36	Sacristán Pérez, Irantzu	Estudio comparativo de la maquinabilidad de las aleaciones de titanio Ti6Al4V y Ti10.2.3	108
12:15	12-02	Campa Gómez, Francisco Javier	Análisis de los requisitos dinámicos del fresado tangencial de impellers	152

Sesión S12		Lugar: AULA TD1304AA (ESTCE)		
Fractura y Fatiga		Moderador: Eugenio Giner Maravilla		
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
11:00	09-06	Sánchez Ramos, Ismael	Estudio de la fisuración de una viga de hormigón armado con un modelo de elementos finitos	128
11:15	10-02	Vasco Olmo, José Manuel	Validación experimental a partir de datos isocromáticos de diferentes modelos para el cálculo del factor de intensificación de tensiones en probetas planas	130
11:30	10-03	Rubio Ruiz de Aguirre, Lourdes	Efecto de la presencia y orientación de una masa excéntrica en la forma del frente de una fisura de un eje rotatorio	131
11:45	10-04	Muñoz Guijosa, Juan Manuel	Análisis de modos de fallo en vigas sándwich sometidas a flexión pura y grandes deflexiones	132
12:00	10-05	Lorenzino, Pablo	Observación a simple vista del crecimiento de grietas microestructuralmente pequeñas	133
12:15	10-06	Muñoz Abella, Belén	Flexibilidad de ejes rotativos con fisuras semielípticas	134

Jueves, 15 de noviembre de 2012

Sesión S13			Lugar: AULA MAGNA (ESTCE)	
Ruido y Vibraciones I			Moderadora: <i>M^a Dolores Martínez Rodrigo</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
15:45	15-02	Gómez Gras, Giovanni	Caracterización de la placa de una herramienta de bruñido con bola asistida por una vibración ultrasónica	158
16:00	15-04	López López, José Gonzalo	Análisis sonoro y vibracional de una estructura empleada para soporte de micrófonos en ensayos de ruido de rodadura de neumáticos.	159
16:15	15-05	Denia Guzmán, Francisco David	Modelado acústico 3D de silenciadores de escape multicámara con superficies microperforadas y de impedancia constante	160
16:30	15-11	Pedrosa Sánchez, Ana María	Técnica experimental con excitación simultánea para la caracterización acústica de elementos de una línea de escape en presencia de flujo medio	165

Sesión S14			Lugar: AULA TD1301AA (ESTCE)	
Biomecánica III			Moderador: <i>Joaquín L. Sancho Bru</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
15:45	01-02	Yáñez Santana, Alejandro	Estudio y validación experimental de implantes porosos fabricados mediante la tecnología de fusión por haz de electrones, utilizados en la cirugía reconstructiva y regenerativa	32
16:00	01-05	Albizuri Irigoyen, Joseba	Estudio experimental de la relación par-precarga en tornillos de implantes dentales	35
16:15	01-19	Díaz Lantada, Andres	Diseño y fabricación rápida de geometrías biomiméticas fractales en materiales biocompatibles para aplicaciones en ingeniería de tejidos	48
16:30	01-22	Prado Novoa, María	Evaluación biomecánica de la eficacia de la preparación del injerto en reconstrucción de LCA	50

Sesión S15			Lugar: AULA TD1304AA (ESTCE)	
Educación e Historia en Ingeniería Mecánica I			Moderador: <i>Salvador Cardona Foix</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
15:45	04-03	Jordi Nebot, Lluïsa	Soporte dinámico para el material docente del profesorado. Teoría de Máquinas y Mecanismos	64
16:00	04-14	Martínez Casas, José	Exposiciones orales como propuesta de mejora de la competencia lingüística en Ingeniería Mecánica	73
16:15	06-02	Aginaga García, Jokin	Recopilación de documentación histórica sobre Ingeniería Mecánica para el Proyecto Europeo thinkMOTION	78

Jueves, 15 de noviembre de 2012

Sesión S16 Ruido y Vibraciones II			Lugar: AULA MAGNA (ESTCE)	
			Moderador: <i>Jordi Viñolas Prats</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
17:15	15-06	Zougari, Ayoub	Modelos numéricos para el análisis del comportamiento vibratorio de vías férreas	161
17:30	15-07	Martínez Rodrigo, María Dolores	Control pasivo de vibraciones aplicado al acondicionamiento de puentes de ferrocarril para velocidades de tráfico superiores	162
17:45	15-09	Morales Robredo, Angel L.	Adaptabilidad de suspensiones neumáticas frente a excitaciones de tipo aleatorio	163
18:00	15-10	López López, Jesús	Análisis de las oscilaciones residuales en movimientos de distribución de sistemas pendulares de transporte	164

Sesión 17 Biomecánica IV			Lugar: AULA TD1301AA (ESTCE)	
			Moderador: <i>Javier Cuadrado Aranda</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
17:15	01-07	Vergara Monedero, Margarita	Fuerza de contacto entre mano y mango en el transporte de peso	37
17:30	01-12	Bascuñana Pareja, José	Análisis de la influencia de las propiedades mecánicas en el modelado del oído medio humano	42
17:45	01-14	Sancho Bru, Joaquín L.	Indicadores de la calidad del agarre humano. Rangos de variabilidad y análisis de sensibilidad	44
18:00	01-23	Cardona Foix, Salvador	Caracterización del ángulo de inclinación en los planos sagital y frontal de pacientes enfermos de Parkinson utilizando un acelerómetro triaxial	51

Sesión S18 Tribología			Lugar: AULA TD1304AA (ESTCE)	
			Moderador: <i>Antolín Hernández Battez</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
17:15	17-03	de la Guerra Ochoa, Eduardo	Estudio del texturizado de superficies lubricadas para la mejora del coeficiente de fricción	174
17:30	17-04	Chacón Tanarro, Enrique	Modelado numérico y analítico de contactos lineales termoelastohidrodinámicos con lubricantes no-Newtonianos	175
17:45	17-01	Habib, Kudama A.	Influencia de los elementos reactivos en el deterioro mecánico por desgaste y a alta temperatura de recubrimientos Al ₂ O ₃ /NiCrAlY obtenidos por proyección térmica	172
18:00	17-02	Viesca Rodríguez, José Luis	Líquidos iónicos como lubricantes de recubrimientos de PVD	173

Viernes, 16 de noviembre de 2012

Sesión S19 Vehículos III				Lugar: AULA MAGNA (ESTCE)
				Moderador: <i>Antonio Simón Mata</i>
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
09:00	18-05	Navarro Arcas, Abel	Metodología experimental para determinar el coeficiente de amortiguamiento del sistema de suspensión de un vehículo	181
09:15	18-17	Casqueiro Placer, Carlos	Análisis del comportamiento dinámico de un automóvil dotado de asientos basculantes	191
09:30	18-03	Calvo Ramos, Jose Antonio	Influencia de los parámetros de conducción en el ruido emitido por un automóvil en el tráfico urbano	180
09:45	18-20	Comellas Andrés, Martí	Análisis del funcionamiento de una transmisión hidrostática de un vehículo de múltiples ejes motrices en la superación de obstáculos	193
10:00	18-25	López Rosado, Alberto	Aproximación polinomial de la fórmula mágica	197

Sesión S20 Fabricación III				Lugar: AULA TD1301AA (ESTCE)
				Moderador: <i>Mariano Artés Gómez</i>
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
09:00	07-12	Iglesias Valle, Irati	Simulación de los ciclos de temperatura en el proceso de estampación en caliente	90
09:15	07-23	Alonso Pinillos, Unai	Estudio de la forma de la fuente de calor en un modelo FEM 3D para rectificado cilíndrico	95
09:30	07-34	Fernández Valdivielso, Asier	Análisis comparativo de herramientas avanzadas para el torneado de superaleaciones	106
09:45	07-26	Bermudo Gamboa, Carolina	Influencia del rozamiento en la aplicación del Teorema del Límite Superior en procesos de indentación	98
10:00	07-28	Lopez Jauregi, Arkaitz	Caracterización numérico-experimental de tensiones residuales en soldadura multipasada del acero S275JR	100
10:15	07-32	Díaz Álvarez, José	Análisis numérico 3D de las magnitudes termomecánicas relacionadas con el desgaste de mella en procesos de mecanizado en seco de Inconel 718	104

Sesión S21 Educación e Historia en Ingeniería Mecánica II				Lugar: AULA TD1304AA (ESTCE)
				Moderador: <i>Juan I. Cuadrado Iglesias</i>
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
09:00	04-04	Cardona Foix, Salvador	Proyecto de Ingeniería Mecánica integrador de conocimientos. Cuarto cuatrimestre del Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales	65
09:15	04-07	Yagüe Fabra, José Antonio	Fomento de la actitud creativa como herramienta de mejora continua en asignaturas de Ingeniería	67
09:30	04-08	Ferrando Piera, Francesc	Estudio sobre la baja presencia de mujeres en los estudios de Ingeniería Mecánica	68
09:45	04-09	Gomendio Ruiz, Amaia	Desarrollo de una carrocería de material compuesto de fibra de carbono para un coche de radiocontrol mediante la metodología de aprendizaje PBL	69
10:00	04-10	Cantizano Gonzalez, Alexis	La Ingeniería de Protección contra Incendios a través de la Ingeniería Mecánica	70
10:15	04-16	Vila Tortosa, Paloma	Formación en competencias a través de la evaluación formativa de informes de prácticas en asignaturas de ingeniería mecánica	75

Viernes, 16 de noviembre de 2012

Sesión S22 Vehículos IV			Lugar: AULA MAGNA (ESTCE) Moderador: <i>Juan C. García Prada</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
11:00	18-06	Paricio Caño, Mariano Manuel	Estudio de variables de influencia en el ensayo de Limitación de Velocidad para Ciclomotor de 2 ruedas (L1e) en condiciones estáticas de aplicación para Estaciones ITV	182
11:15	18-08	Noriega González, Álvaro	Síntesis cineto-estática de una suspensión delantera alternativa para una motocicleta	183
11:30	18-11	Cabrera Carrillo, Juan A.	Control de tracción y frenado para motocicleta basado en lógica difusa	186
11:45	18-27	Cañibano Álvarez, Esteban	Diseño y desarrollo de un vehículo de tres ruedas con asistencia eléctrica al pedaleo.	198
12:00	18-30	Alonso, J.	Incorporación de asistente aerodinámico de frenado en una motocicleta	201

Sesión S23 Fabricación IV			Lugar: AULA TD1301AA (ESTCE) Moderador: <i>Carlos Vila Pastor</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
11:00	07-09	Martínez Rodríguez, Silvia	Optimización de las condiciones de proceso del taladrado láser	87
11:15	07-03	Travieso Rodríguez, José Antonio	Comparativa del proceso de bruñido con bola en máquinas de 3 y 5 ejes en piezas de aluminio A92017 y A96351	84
11:30	07-25	Huertas Talón, José Luis	Generación de trayectorias de mecanizado con un número mínimo de puntos	97
11:45	07-02	Rodríguez Mateos, Pablo	Modelo de Deflexión de herramienta en el Microfresado	83
12:00	07-01	Rodríguez Mateos, Pablo	Análisis del Efecto Tamaño en el Microfresado	82
12:15	19-06	Correa Guinea, Carlos	Simulación termo-mecánica de procesos de conformado directo con láser	207

Sesión S24 Máquinas y Mecanismos III			Lugar: AULA TD1304AA (ESTCE) Moderador: <i>Alfonso Hernández Frías</i>	
<i>Hora</i>	<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
11:00	14-01	López Martínez, Javier	Diseño y simulación de un actuador de rigidez variable	154
11:15	08-13	Sánchez Marín, Francisco T.	Comparación de modelos de engranajes para el cálculo de desalineaciones causadas por transmisión de potencia	123
11:30	14-02	Noriega González, Álvaro	Resolución del problema cinemático inverso en un robot SCARA mediante grupos de Assur	155
11:45	08-02	Soriano Heras, Enrique	Modelos matemáticos para la determinación de fuerzas de amarre en mandriles expansibles	113
12:00	03-05	López Lago, Marcos	Movilidad/Estabilidad en eslingados de cargas de geometría compleja	62

PROGRAMA DE SESIONES PÓSTER

Fechas de exposición: jueves y viernes de 10:30 a 11 horas.

Lugar: Hall 3ª planta ESTCE.

BIOMECAÁNICA

<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
01-06	Vergara, Margarita	Resultados de un trabajo de campo sobre agarres utilizados en tareas cotidianas	36
01-10	Martel Fuentes, Oscar	Dispositivo intramedular para el guiado de la osteogénesis. Diseño y ensayos in-vitro e in-vivo	40
01-13	Sancho Bru, Joaquín L.	Medición del movimiento de todos los segmentos de la mano mediante videogrametría	43
01-16	Pérez González, Antonio	Fuerzas de contacto entre mano y objeto en el agarre cilíndrico: comparación de dos técnicas de medición	46

EDUCACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA

<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
04-06	Cambero Rivero, I.	Utilización de modelos virtuales de máquinas-herramienta en formato de fácil acceso para la docencia en asignaturas relacionadas con fabricación mecánica	66
04-11	Vicéns Moltó, José Luis	Procedimiento didáctico para el análisis de los difusores en las turbinas hidráulicas, mediante la utilización de Matlab y de herramientas CFD	71
04-12	Pineda Becerril, Miguel	Experiencia didáctica en el Laboratorio de Materiales del Centro de Asimilación Tecnológica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán	72
04-15	Cavas Martínez, Francisco	La asignatura Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica. Una experiencia cubana en la formación del Ingeniero Mecánico	74
04-17	Herrera Olivenza, José María	Método de control dimensional en la fabricación de una célula de troquelado como experiencia educativa en entorno e-Manufacturing	76

HISTORIA DE LAS MÁQUINAS Y LOS MECANISMOS

<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
06-03	López García, Rafael	Las herramientas de Ingeniería Asistida aplicadas a la Historia de las Máquinas y Mecanismos. Recuperación virtual de un molino hidráulico	79

INGENIERÍA DE FABRICACIÓN

<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
07-04	González Rojas, Hernán Alberto	Influencia de la altura de cresta del mecanizado previo sobre la rugosidad obtenida con el bruñido	85
07-19	De La Cruz Hernandez, Jesus	Análisis de estrategias de mallado para modelizar en 3D procesos de taladrado en Ti6Al4V	93
07-21	Dorado Vicente, Rubén	Tiempo de corte estimado en operaciones de vaciado	94
07-27	Aristimuño Osoro, Patxi Xabier	Determinación de fuentes de incertidumbre en la sujeción de piezas en el torno	99
07-30	Menendez, Jose Luis	Soluciones avanzadas para la creación de instrucciones de montaje aeronáutico mediante herramientas PLM	102
07-37	Izeta Lizarralde, Iker	Modelización y validación de las tensiones residuales inducidas por aleaciones de aeronáutica	109

MÁQUINAS Y MECANISMOS

<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
08-01	Amé, Ricardo	Diseño optimizado por minimización de las tensiones localizadas en una placa plana con orificio circular y cambio de ancho sometida a carga axial	112
08-09	Barandiaran Mancheño, Javier	Materiales con memoria de forma metálicos y plásticos, estudio y aplicación	120
08-14	Iserte Vilar, José Luis	Desarrollo de una estrategia basada en el MEC para el análisis tensional de engranajes	124

MECÁNICA COMPUTACIONAL

<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
09-01	Rodríguez-Tembleque Solano, Luis	Desgaste y fricción ortótropa en problemas de contacto 3D	126
09-02	Alonso Gordo, Cristina	Diseño óptimo de topología en estructuras de máxima rigidez mediante el método SERA	127

MECÁNICA EXPERIMENTAL Y METROLOGÍA

<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
11-03	Gómez García, María Jesús	Sistemas de captura de movimiento para el caminar humano. Análisis y comparativa	136
11-04	Majarena Bello, Ana Cristina	Modelado e identificación de parámetros geométricos de laser trackers	137
11-07	Vasco Olmo, José Manuel	Comparativa de modelos para el cálculo experimental del factor de intensificación de tensiones empleando técnicas ópticas de campo completo	140
11-10	López-Alba, E.	Desarrollo de una metodología experimental para el estudio de problemas de contacto empleando técnicas ópticas de campo completo	142
11-11	Santolaria Mazo, Jorge	Caracterización térmica de prototipos rápidos y piezas obtenidas mediante fabricación aditiva en impresora 3D	143
11-12	Santolaria Mazo, Jorge	Verificación y caracterización metrológica de máquinas de ensayos de rodadura a dos flancos para engranajes sinfín-corona	144
11-18	Felipe Sesé, Luis	Comparativa de técnicas de filtrado de imágenes para el procesado conjunto de las técnicas de Correlación Digital de Imágenes 2D y Proyección de Franjas	148
11-20	González Farias, Isabel	Asignación óptima de valores nominales y tolerancias a un conjunto de variables dependientes no normales	150

RUIDO Y VIBRACIONES

<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
15-12	Esteban Echeverria, Ekaitz	Monitorización del confort vibroacústico en ascensores mediante técnicas de tratamiento de señal avanzadas	166

Fechas de exposición: jueves y viernes de 10:30 a 11 horas.

Lugar: Hall 3ª planta ESTCE.

SOSTENIBILIDAD Y MEDIO AMBIENTE EN INGENIERÍA MECÁNICA

<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
16-02	Axotla García, Juan Carlos	Una alternativa ecológica en el recubrimiento de materiales mediante el uso de convertidores de óxidos aplicados en probetas de acero 1010 expuestas en ambiente salino	168
16-04	Cavas Martínez, Francisco	ECODISEÑO: eje de innovación en el diseño de un producto industrial	169

TRIBOLOGÍA

<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
17-05	Habib, Kudama A.	Comportamiento al desgaste abrasivo de Al ₂ O ₃ /TiO ₂ nanoestructurada depositado mediante proyección térmica por llama (Oxyfuel)	176

VEHÍCULOS Y TRANSPORTE

<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
18-15	De los Santos, M ^a Antonia	Estudio de la implementación de sistemas de velocidad variable en la vía C-31N de acceso a la ciudad de Barcelona	190
18-18	Gallegos Díez, David	Análisis de las variables geométrico del frontal del vehículo en la protección del peatón	192
18-29	Plaun, Leonardo	Triciclo Ecológico Híbrido Argentino (TEA)	200

OTROS

<i>Código</i>	<i>Primer Autor</i>	<i>Título</i>	<i>Pág.</i>
19-01	Navarro Medina, Fermín	Diseño preliminar térmico y estructural del instrumento NOMAD de ExoMars	204
19-04	Fabregat Sanjuan, Albert	Análisis del comportamiento tensión-temperatura para bajos niveles de tensión en Aleaciones con Memoria de Forma TiNiCu	205
19-05	Hernandez-Figueirido, David	Estudio de Factores para el Diseño Sostenible de Pilares Metálicos Tubulares y Pilares Mixtos Tipo Concrete Filled Tube (CFT)	206
19-10	Díaz Vázquez, José Enrique	Influencia del tiempo de exposición al medio corrosivo en la resistencia a la tracción de aleaciones de aluminio	208



Resúmenes



Biomecánica

Estudio y validación experimental de implantes porosos fabricados mediante la tecnología de fusión por haz de electrones, utilizados en la cirugía reconstructiva y regenerativa

A. Yáñez Santana, A. Herrera Martín, O. Martel Fuentes

*Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
myanez@dim.ulpgc.es*

H. Afonso Martín, D. Monopoli Forleo, B. Mentado Almeida, D. González Martín

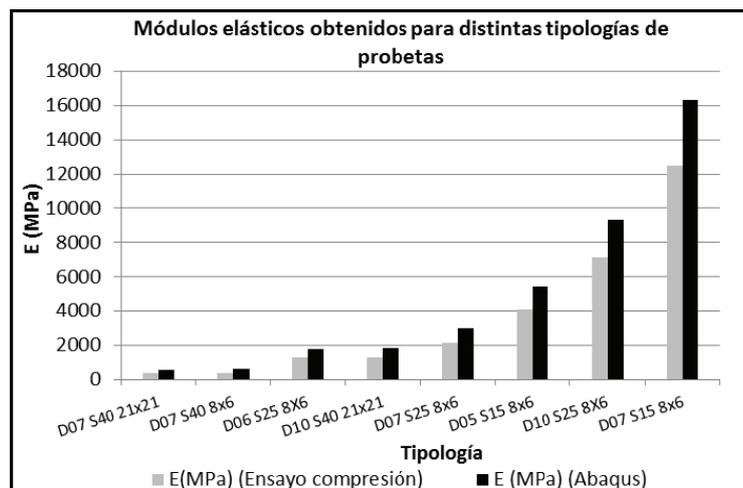
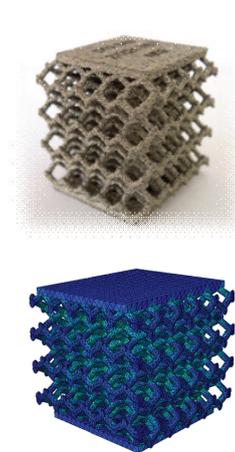
Dpto. Ingeniería Mecánica. Instituto Tecnológico de Canarias

Palabras clave: implantes porosos, osteointegración, fusión haz de electrones, elementos finitos

Las estructuras de aleación de titanio (Ti-6Al-4V) fabricadas mediante la tecnología de fusión por haz de electrones permiten alcanzar valores de porosidad, rugosidad e interconectividad especialmente adecuados para afrontar casos catastróficos de fracaso protésico, al proporcionar un soporte estable en el cual se puede llevar a cabo una osteointegración y vascularización progresiva.

Con este objeto se realiza la caracterización mecánica mediante ensayo estático de múltiples estructuras porosas, seleccionando las más adecuadas y reduciendo el fenómeno de protección contra tensiones que conduce al fracaso protésico.

Las estructuras seleccionadas son modeladas y analizadas mediante elementos finitos, de manera que se establece una relación entre los resultados teóricos y experimentales, agilizando el proceso de la intervención desde que surge la necesidad.



Este hecho constituye el primer paso hacia el diseño de prótesis que integren, en un mismo sistema, la ingeniería de tejidos y un soporte no biodegradable.

Referencias

[1] O. Cansizoglu, O. Harrysson, D. Cormier, H. West, T. Mahale. Properties of Ti-6Al-4V non-stochastic lattice structures fabricated via electron beam melting. *Materials Science and Engineering A* 492 (2008) 468-474.

Estimación de los parámetros del modelo de contacto pie-suelo en la marcha humana

R. Pàmies-Vilà, J.M. Font-Llagunes

Dpto. Ingeniería Mecánica. Universitat Politècnica de Catalunya
rosa.pamies@upc.edu, josep.m.font@upc.edu

U. Lugrís Armesto, J. Cuadrado Aranda,

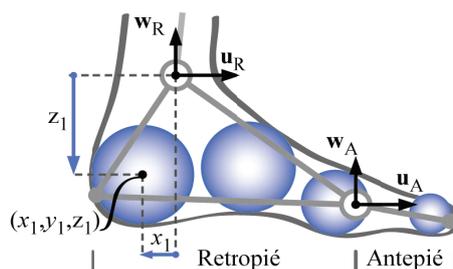
Laboratorio de Ingeniería Mecánica. Universidad de La Coruña
javicuad@cdf.udc.es, ulugris@udc.es

Palabras clave: modelo de contacto, marcha humana, optimización, dinámica directa

El interés en la predicción del movimiento humano es creciente. Las herramientas del análisis dinámico directo son de gran utilidad, entre otros, en el diseño personalizado de dispositivos de asistencia a la marcha humana o en el anticipo de resultados quirúrgicos.

Para poder determinar cómo se moverá un sistema debido a las fuerzas y momentos que se aplican sobre él, es necesario modelizar adecuadamente la interacción entre este sistema y su entorno. Esto es, en el caso de la marcha humana, la interacción entre el pie y el suelo. Con este propósito, se propone un modelo tridimensional continuo de contacto pie-suelo y se determinan sus parámetros utilizando técnicas de optimización.

La superficie de la planta del pie se aproxima con cuatro esferas (ver figura). El pie se divide en dos segmentos con tres esferas para el retropié y una para el antepié. Las características geométricas de las esferas son consideradas variables de diseño en el proceso de optimización. El movimiento relativo entre los metatarsos y las falanges proximales es modelado con una articulación esférica.



La componente normal de las fuerzas de contacto se determina utilizando el modelo de Lankarani y Nikravesh [1], y las fuerzas tangenciales son calculadas con el modelo propuesto por Dopico *et al.* [2]. Los parámetros viscoelásticos de los modelos de contacto también son considerados variables de diseño en la optimización.

Mediante un análisis dinámico inverso de la marcha (con datos procedentes de un movimiento real capturado en el laboratorio) se calculan las fuerzas y los pares en las articulaciones del tobillo y del metatarso. Éstos son utilizados como datos de entrada del análisis dinámico directo. Planteando un problema de optimización con 36 variables para cada pie, se determinan los parámetros del modelo de contacto que minimizan las diferencias entre la cinemática del pie capturada en el laboratorio y la que se obtiene resolviendo el problema dinámico directo.

Referencias

- [1] H.M. Lankarani; P.E. Nikravesh. A contact force model with hysteresis damping for impact analysis of multibody systems. *J. Mechanical Design*, 112 (1990), 369-376.
- [2] D. Dopico; A. Luaces; M. González; J. Cuadrado. Dealing with multiple contacts in a human-in-the-loop application. *Multibody System Dynamics*, 25 (2011), 167-183.

Estudio y validación del proceso de remodelación ósea en un fémur con un modelo específico de paciente

J. Ojeda Granja, J. Martínez-Reina, J. Mayo Núñez

Dpto. de Ingeniería Mecánica y de los Materiales. Universidad de Sevilla
joaquinorejeda@us.es

Palabras clave: Elementos finitos, marcha normal, optimización, remodelación ósea, fémur, biomecánica

Existen en la literatura muchos estudios para analizar el comportamiento del fémur sometido a carga. En estos trabajos se han obtenido buenos resultados en la estimación de la distribución de densidad ósea que está en equilibrio de remodelación con un cierto estado de cargas [1]. Sin embargo, en todos ellos se ha partido de situaciones que no se corresponden con las condiciones del sujeto de estudio debido a las dificultades obvias que se presentan al trabajar con seres humanos. Estas dificultades conducen a la asunción de importantes simplificaciones en los estudios: a) La geometría. En ese sentido, un modelo estándar fue propuesto por Sommer [4]. b) Las cargas. Por cuestiones de sencillez, es normal tomar las cargas de la literatura [2]. c) El tipo de análisis. Debido a la complejidad de los modelos de remodelación, se han realizado análisis cuasi-estáticos. d) Validación de resultados. Se suelen comparar la distribución de densidad ósea obtenido en la simulación para un fémur concreto con el nivel de grises en un estudio radiológico realizado a otro fémur distinto, obviamente de forma cualitativa.

Hasta donde los autores conocen este es el primer estudio en el que no es necesario hacer todas esas simplificaciones conjuntamente. En este trabajo se analiza la dinámica de marcha en un fémur completo. Tanto la geometría como las cargas están tomadas del mismo sujeto. La geometría se obtuvo de una TAC de la que se reconstruyó un modelo de elementos finitos (EF) con elementos de tamaño característico 1 mm. Las fuerzas aplicadas al modelo de EF han sido obtenidas a partir de diferentes medidas hechas al mismo sujeto en el laboratorio de marcha. Estas fuerzas han sido aplicadas como casos de carga en un modelo de remodelación ósea [3] con el objetivo de obtener la distribución de densidad ósea del fémur derecho del sujeto. Dicho modelo de remodelación ha sido modificado para tener en cuenta cargas variables con el tiempo y así tener en cuenta diversas fases de un ciclo de marcha. Otra modificación introducida en el modelo ha sido la adaptación de los parámetros de remodelación para que se ajusten al sujeto de estudio. La validación de resultados se llevó a cabo comparando la distribución de densidad ósea obtenida del modelo con el nivel de gris de la tomografía en diferentes puntos del fémur y de forma cuantitativa.

Referencias

- [1] C. Bitsakos, J. Kerner, I. Fisher, A.A. Amis. The effect of muscle loading on the simulation of bone remodelling in the proximal femur, *J. Biomechanics*, 38 (2005), 133-139.
- [2] R.A. Brand, D.R. Pedersen, J.A. Friederich. The sensitivity of muscle force predictions to changes in physiologic cross-sectional area, *J. Biomechanics*, 19 (1986), 589-596.
- [3] M. Doblare, J.M. García-Aznar. Anisotropic bone remodelling model based on a continuum damage-repair theory, *J. Biomechanics*, 35 (2002), 1-17.
- [4] H.J. Sommer III, N.R. Miller, G.J. Pijanowski. Three-dimensional osteometric scaling and normative modeling of skeletal segments, *J. Biomechanics*, 15 (1982), 171-180.

Estudio experimental de la relación par-precarga en tornillos de implantes dentales

J. Albizuri, M. Abasolo, J. Aguirrebeitia,

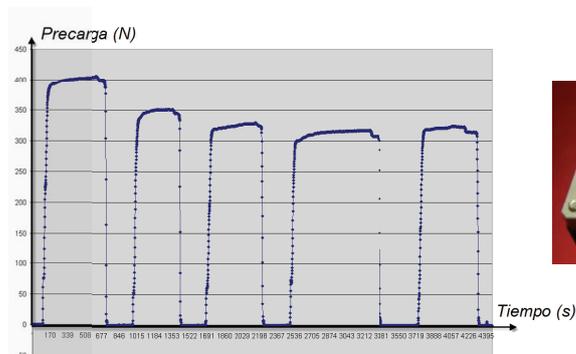
Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea
joseba.albizuri@ehu.es

Palabras clave: implante dental, precarga, par de apriete

Los sistemas de implante dental se componen habitualmente de las siguientes partes: a) el implante propiamente dicho, que se integra en el hueso mandibular proporcionando un soporte estable para los dientes artificiales, b) el poste o pilar, sobre el cual se coloca el diente o prótesis artificial; c) el tornillo oclusal que une el poste y el implante, y d) la prótesis ó el diente artificial.

Asegurar una determinada precarga en el tornillo no es una tarea inmediata y sin embargo es un factor que condiciona fuertemente la vida útil del implante. En este sentido, los fabricantes de implantes proporcionan valores del par de apriete que debe aplicarse para obtener la precarga recomendada para asegurar el buen funcionamiento de la unión. No obstante, la bibliografía representativa del fenómeno de atornillado mediante par de apriete [1,2,3], revela que la relación entre el par aplicado y la precarga obtenida puede llegar a tener una dispersión elevada, consecuencia en gran medida de la dispersión propia del fenómeno de fricción, en el cual influyen factores como el material, el acabado superficial, la lubricación, la velocidad de apriete de la tuerca, la tolerancia entre roscas, la contaminación salivar y la humedad relativa, entre otros muchos. Esto implica que es necesario e inevitable recurrir a mediciones experimentales para determinar de forma fiable la relación par-precarga y su dispersión.

En este trabajo, se presentan los resultados obtenidos para tornillos de oro y titanio de referencia INTOOC, INTTUH, TTUH y TTMI de la casa BTI. Para la medición de la pretensión se ha diseñado y construido un banco de ensayos de forma que se realiza una medida directa de la fuerza de pretensión mediante una célula de carga.



Referencias

- [1] B. Clement, A. Bazergui, A study of the preload relationship in bolting technology: experimental design and analysis, Prepared for the Bolting Technology Council, New York (1989).
- [2] J.H. Bickford, S. Nassar, An introduction to the design and behavior of bolted joints. CRC Press (1995).
- [3] G.K. Tzenakis, W.W. Nagy, R.A. Fournelle, V.B. Dhuru, The effect of repeated torque and salivary contamination on the preload of slotted gold implant prosthetic screws, Journal of Prosthetic Dentistry, 88 (2002), 183-91.

Resultados de un trabajo de campo sobre agarres utilizados en tareas cotidianas

M. Vergara, J. Serrano Cabedo, P.J. Rodríguez Cervantes, A. Pérez González

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I

vergara@emc.uji.es

Palabras clave: tipos de agarre, tareas cotidianas

El conocimiento del agarre humano es fundamental en el desarrollo de sistemas artificiales para el reemplazo de la mano natural por sistemas mecánicos. Sin embargo se encuentran pocos estudios en la bibliografía [1] que aborden el análisis de la frecuencia con la que los diferentes tipos de agarres se dan en la vida diaria, dato fundamental para orientar el desarrollo y la programación de manipuladores artificiales para actividades cotidianas.

En este trabajo se presentan los resultados preliminares de un estudio de campo sobre el agarre humano en actividades cotidianas en la vida no profesional diaria. El análisis se ha realizado mediante la filmación de diferentes tareas representativas de los diferentes ámbitos de la vida personal: aseo personal, preparación de comida, comer, limpieza y orden en casa, conducción, etc. No se han tenido en cuenta tareas laborales, ya que por su especificidad deberían ser abordadas por separado. Se han analizado un total de 64 videos de 24 personas. El análisis ha consistido, entre otras cosas, en registrar el tipo de agarre utilizado y su duración para tener una idea de la importancia y frecuencia con que se usan.

En la bibliografía existen diferentes clasificaciones y subclasificaciones de los agarres con distintos propósitos. En algunas ocasiones las clasificaciones están orientadas a facilitar la modelización matemática de la mano, incluyendo en estos casos un nivel de detalle que las hace inviables en un ámbito real (por ejemplo la orientación de la mano respecto al objeto, número de dedos implicados, etc.). En otros casos, las clasificaciones de agarres no incluyen acciones funcionales de la mano por no ser agarres propiamente dichos (por ejemplo frotar con un trapo un cristal sin agarrar el trapo, solo presionando sobre él, que sería un agarre no prensil). Por este motivo, se ha utilizado una clasificación de agarres específica para el estudio, basada en la clasificación de Edwards et al. [2], pero no tan detallada. Se han agrupado los agarres en función del tipo de interacción de la mano con el objeto, y no se han tenido en cuenta por ejemplo el número de dedos implicados ni la forma del objeto. La clasificación consta de 9 agarres que se consideran habituales en el uso de objetos cotidianos.

Los resultados muestran que los tipos de agarre más utilizados en tareas cotidianas son, en este orden: el agarre de pinza, el cilíndrico, el agarre no prensil, la pinza lateral y el lumbrical. Aunque el agarre de pinza es el más frecuente a nivel general, su presencia en los distintos ámbitos de la vida cotidiana es muy diferente, siendo muy utilizado (53%) en la preparación de comida, y muy poco utilizado en el ámbito de la conducción (14%).

Referencias

- [1] J.Z. Zheng, S. de la Rosa, A.M. Dollar. An investigation of grasp type and Frequency in Daily Household and Machine Shop Tasks. 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 4169-4175.
- [2] S.J. Edwards, D.J. Buckland, J.D. McCoy-Powlen. Developmental & Functional Hand Grasps. 2002. Slack Incorporated.

Fuerza de contacto entre mano y mango en el transporte de peso

M. Vergara, J.L. Sancho-Bru, C. Laviña Mora, V. Gracia Ibáñez, A. Pérez González

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I
vergara@emc.uji.es

Palabras clave: presión, mano, mangos

La distribución de fuerzas en la mano es un factor importante en el diseño de mangos de objetos que han de ser transportados. Se han hecho múltiples estudios sobre distribución de fuerzas en los dedos con el objetivo de estudiar los diámetros de mangos que maximizan la fuerza de la mano [1] o para medir el efecto de la fuerza de agarre en la transmisión de vibraciones al conjunto mano-brazo [2]. Sin embargo, existen pocos estudios que estudien el efecto de la forma del mango en las fuerzas que aparecen en la mano para mangos de transporte [3].

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio en el que se ha medido la fuerza de contacto que aparece en la interfase mano-mango con varias formas de mangos simulando una acción de transporte de peso. La medición se ha hecho con un sistema específico para medir distribución de fuerzas en la mano (Finger TPS) que incluye sensores distribuidos en las falanges distales de los cinco dedos, en las falanges proximales de los dedos índice y corazón y en la palma (ver figura). Una vez calibrado el sistema para cada sujeto participante se ha procedido a registrar la fuerza media que aparece en cada zona al transportar dos pesos diferentes (1 y 5 kg) con cuatro mangos de madera diseñados específicamente con diámetros muy similares y formas longitudinales diferentes (ver figura).



Los resultados muestran que el pulgar realiza poca fuerza independientemente del tipo de mango y peso, y que los distintos mangos afectan de forma significativa en la distribución de fuerzas entre dedos.

Referencias

- [1] Y.-K. Kong, B.D. Lowe. Optimal cylindrical handle diameter for grip force tasks, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35 (2005), 495-507.
- [2] G. Björing, L. Johansson, G.M. Hägg. Surface pressure in the hand when holding a drilling machine under different drilling conditions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29 (2002), 255-261.
- [3] Y.K. Kong, A. Freivlads, S.E. Kim. Evaluation of handles in a maximum gripping task. *Ergonomics*, 47 (2004), 1350-1364.

Estudio de tensiones generadas en férulas de yeso para fracturas de Colles mediante ensayos mecánicos y elementos finitos

M.T. Carrascal Morillo, I. Cañadas Martínez, A. Alonso López, I. Elbouyafrouri Cirauqui
Dpto. de Ingeniería Mecánica. UNED.MADRID
mcarrascal@ind.uned.es

A.D. Delgado Martínez, A. Espejo Reina
Dpto. de Cirugía Ortopédica. Universidad del Jaén(ESPAÑA)

Palabras clave: férula de yeso, MEF, ensayo a flexión, Tomografía Computarizada

Las fracturas de muñeca suponen una lesión de frecuencia considerable, principalmente en pacientes de edad avanzada. El tratamiento más habitual es el conservador, mediante reducción bajo anestesia local e inmovilización con férulas de yeso.

Usando como modelo similar al humano un brazo de maniquí ortopédico modificado específicamente para este estudio, se realizaron 10 prototipos de vendajes de yeso basados en dos técnicas de vendaje para fracturas de muñeca (5 prototipos con cada técnica), llamados prototipos F y prototipos C.

Se sometió cada uno de los prototipos a estudio con Tomografía Computarizada (TC) a fin de obtener una geometría real de la férula a partir de la cual poder crear un modelo de elementos finitos. Los ficheros Dicom obtenidos a través del TC fueron tratados con el programa Geomagic Studio 2012 obteniéndose ficheros STL. Estos ficheros fueron importados por el programa de elementos finitos Marc donde se realizó el mallado sólido tridimensional y el estudio estructural de cada uno de los prototipos de vendaje de yesos. El tipo de análisis es estático no lineal debido al empleo de contactos para simular los tres puntos de apoyo. Las propiedades materiales de las férulas se obtuvieron mediante ensayos a flexión a tres puntos.

Los resultados obtenidos en los ensayos, las férulas de vendajes de tipo F muestran una resistencia y una flecha de rotura mayor que las del tipo C en concordancia con los resultados de las simulaciones. El test estadístico empleado en los ensayos fue el de Mann-Whitney con un nivel de significación estadística de $\alpha=0,05$.

Referencias

- [1] Handoll HH, Huntley JS, Madhok R. External fixation versus conservative treatment for distal radial fractures in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2007;CD006194.A.
- [2] Comparison Between External Fixation and Cast Treatment in the Management of Distal Radius Fractures in Patients Aged 65 Years and Older. *J Hand Surg* 2010;35A:736-742. Aktekin CN Altay M Gursoy Z Aktekin LA Ozturk AM Tabak AY.
- [3] *BJS-Am.* 93(23), 2011. 2146-2153. A Prospective Randomized Trial Comparing Nonoperative Treatment with Volar Locking Plate Fixation for Displaced and Unstable Distal Radial Fractures in Patients Sixty-five Years of Age and Older. Arora R; Lutz M; Deml C; Krappinger, D, Haug L; Gabl M.
- [4] *J Hand Surg Eur Vol.* 2010 Mar;35(3):202-8. Epub 2009 Jul 20. Casting versus percutaneous pinning for extra-articular fractures of the distal radius in an elderly Chinese population: a prospective randomised controlled trial. Wong TC, Chiu Y, Tsang WL, Leung WY, Yam SK, Yeung SH.
- [5] *J Bone Joint Surg Br.* 2005 Jun;87(6):837-40. Unstable extra-articular fractures of the distal radius: a prospective, randomised study of immobilisation in a cast versus supplementary percutaneous pinning. Azzopardi T, Ehrendorfer S, Coulton T.

Aplicación de técnicas de dinámica multicuerpo al diseño de ortesis activas para ayuda a la marcha

J. Cuadrado Aranda, U. Lugrís Armesto

Dpto. de Ingeniería Industrial II. Universidad de La Coruña
javicuad@cdf.udc.es

F.J. Alonso Sánchez

Dpto. de Ingeniería Mecánica, Energética y de los Materiales. Universidad de Extremadura

J.M. Font-Llagunes

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Politécnica de Cataluña

Palabras clave: biomecánica, marcha humana, ingeniería de rehabilitación, ortesis activa

Las técnicas de dinámica multicuerpo se aplican desde hace tiempo al análisis de la marcha humana [1]. En este trabajo se describe su aplicación al análisis de la marcha de lesionados medulares incompletos provistos de ortesis activas, para ayudar al diseño de dichos dispositivos.

Para empezar, se ha construido un prototipo de ortesis activa (derecha e izquierda) que añade, a los tradicionales elementos de bloqueo de rodilla en fase de apoyo y muelle Klenzak antiequino en el tobillo, un motor eléctrico que actúa la articulación de la rodilla durante la fase de balanceo. Además, se han dispuesto sendos encoders en rodilla y tobillo, un electro-goniómetro en la cadera y sensores plantares. Se ha programado e implementado un controlador de la ortesis que utiliza como entradas la información on/off de los sensores plantares y el ángulo de la cadera. Durante la fase de balanceo, controla que el ángulo de la rodilla mantenga la relación con el ángulo de la cadera de la marcha normal. El movimiento de ambas piernas está coordinado.

Por otro lado, se ha programado un modelo computacional tridimensional del sistema esquelético, al que se han añadido muletas (los lesionados requieren de ellas para mantener la estabilidad), y también las ortesis de ambas piernas y su controlador. El modelo se alimenta con el movimiento real del individuo, capturado ópticamente con cámaras de infrarrojos. Asimismo, se miden las fuerzas de contacto pie-suelo mediante placas de fuerza, y las fuerzas de contacto entre las muletas y el suelo con extensometría incorporada a las propias muletas, ya que todas estas fuerzas son necesarias para resolver la indeterminación de fuerzas exteriores que se produce al aplicar las ecuaciones del movimiento de un sistema de sólidos rígidos. Con todo ello, se pueden obtener, en un análisis dinámico inverso, los pares articulares que realiza el individuo.

Esta herramienta permite estudiar el movimiento y los esfuerzos de un paciente concreto para diseñar un controlador de la ortesis que se adapte a su estilo de marcha. También permite valorar el efecto de distintas estrategias de control de la ortesis, estudiar la adaptación del lesionado a la ortesis con el entrenamiento, y avanzar en la comprensión de la interacción entre sistema muscular y ortesis.

Referencias

[1] Y. Xiang, J.S. Arora, K. Abdel-Malek. Physics-based modeling and simulation of human walking: a review of optimization-based and other approaches, *Structural Multidisciplinary Optimization*, 42 (2010), 1-23.

Dispositivo intramedular para el guiado de la osteogénesis. Diseño y ensayos in-vitro

O. Martel Fuentes, A. Suárez Valiente, A. Yáñez Santana

*Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de las Palmas de Gran Canaria
omartel@dim.ulpgc.es*

D.L. Vega Laiun

Hospital Universitario Doctor Negrín, Las Palmas de Gran Canaria

Palabras clave: biomecánica, fijación intramedular, elongación ósea

En el campo de la cirugía traumatológica existen ciertas patologías que presentan una considerable pérdida de tejido óseo, como osteomielitis, tumores y fracturas expuestas o conminutas. Su tratamiento utiliza el proceso natural de reparación de fracturas, la osteogénesis, pero hay que tener en cuenta que, para producir un hueso adecuado, este proceso debe ser guiado. Actualmente, se recurre a los métodos de fijación externa, que permiten una manipulación activa, controlada y medida. Sin embargo, este tipo de implantes agregan mayor intolerancia y efectos adversos a un tratamiento que ya de por sí es poco tolerable. Además, un fijador externo traslada el eje de la fuerza de tracción fuera del canal medular. Por ello, se hace necesario hallar un método de elongación de miembros diferente al empleo de tutores externos. Algunos autores en los últimos años han intentado incluir en el mercado varios modelos de clavos intramedulares [1, 2]. Sin embargo, estos no han tenido la divulgación esperada, tal vez por su elevado coste y la complejidad requerida para su fabricación y manipulación.

Tratando de lograr una solución adecuada al problema, los autores del presente trabajo ya desarrollamos un implante intramedular que se demostró apto en los ensayos in-vitro [3]. No obstante, para demostrar la utilidad del sistema es necesario probarlo in-vivo. El modelo animal más adecuado para los objetivos de nuestro estudio fue el aviar, concretamente el pollo. Esto obliga a un menor tamaño del dispositivo que, debido a sus características, hubo de ser rediseñado completamente. Por tanto, se presenta aquí el rediseño y cálculo de un clavo intramedular hidráulico que permite el guiado de la elongación ósea de miembros. Asimismo, se presentan los ensayos in-vitro realizados.

El nuevo dispositivo mide 6 mm de diámetro y 60 mm de longitud inicial, pudiendo alargarse 30 mm. Esto lo hace útil para el fémur de pollo, así como para algunos huesos pequeños del ser humano. Los resultados de las simulaciones de carga por el método de los elementos finitos nos mostraron que el sistema diseñado resiste perfectamente. Los resultados obtenidos en los ensayos in-vitro también fueron favorables, indicando que el dispositivo puede ser implantado in-vivo.

Referencias

- [1] J.M. Guichet, R.S. Casar, Mechanical characterization of a totally intramedullary gradual elongation nail, *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 337 (1997), 281-290.
- [2] A.H. Krieg, B.M. Speth, Foster BK, Leg lengthening with a motorized nail in adolescents, *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 466 (1) (2008), 189-197.
- [3] O. Martel, D.L. Vega, A. Yáñez, A. Cuadrado. Diseño y ensayos de un implante endomedular hidráulico para la elongación ósea de miembros, *Actas do X Congresso Ibero-americano em Engenharia Mecânica - CIBEM10* (2011), 2543-2548.

Estudio numérico de la distribución de presiones en el canal auditivo

A. García-González, A. González-Herrera

*Dpto. de Ingeniería Civil, Materiales y Fabricación. Universidad de Málaga
tolino@gmail.com, agh@uma.es*

L. Caminos Gámez,

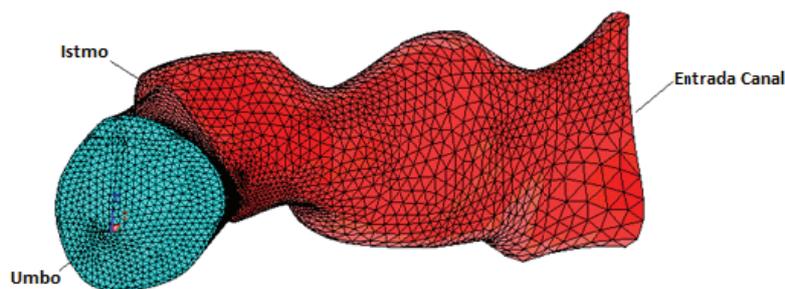
Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del Táchira Venezuela

Palabras clave: Canal auditivo, presión, elementos finitos

El oído humano es un sistema complejo en el que se acoplan varios problemas en serie y en paralelo. El sonido entra por el pabellón auditivo como una onda de presión que se transmite por el Canal Auditivo Externo (CAE) hasta la Membrana Timpánica (MT), la MT interacciona a su vez con dos elementos: La Cadena Osicular (CO); y el aire de la Cavidad Timpánica (CT). El movimiento de la Cadena Osicular (Martillo, Yunque y Estribo) estimula la Ventana Oval (VO), dónde se genera una nueva onda en la Cóclea (medio acuático). Esta onda produce un movimiento de la Membrana Basilar dónde finalmente la energía mecánica se transforma en impulsos eléctricos en las células ciliadas directamente conectadas al nervio auditivo.

Debido a la complejidad del Sistema Auditivo Humano (SAH), en la actualidad todavía se desconoce el funcionamiento exacto del mismo. El análisis del SAH mediante el Método de Elementos Finitos (MEF) se presenta como una herramienta eficaz que permite aislar los distintos problemas de transmisión de ondas e identificar cual es la función de transferencia de cada parte del SAH.

Este trabajo presenta el análisis y discusión de los efectos que produce el canal auditivo externo (CAE) sobre la respuesta del SAH. Se han realizado simulaciones numéricas mediante el MEF con modelos en 3D (ver figura). La geometría del canal (CAE) y del Tímpano (MT) se basan en mediciones anatómicas tomadas de la literatura. Se han simulado diferentes configuraciones de acoplamiento: Canal con Tímpano bloqueado; Canal con Tímpano vibrando en vacío; y Canal con Tímpano acoplado a la Cadena Osicular con cóclea simplificada. Esta variedad de configuraciones permite comprender el efecto del CAE sobre el sistema auditivo humano. Se han realizado análisis armónicos en un rango de frecuencia de 100 - 20000 HZ. El modelo numérico ha sido previamente validado con resultados experimentales publicados [1].



Referencias

- [1] Caminos Gámez, L. Estudio de la influencia de parámetros en el modelado numérico del comportamiento del oído medio y externo humano. Tesis Doctoral. U. de Málaga (2011).

Análisis de la influencia de las propiedades mecánicas en el modelado del oído medio humano

J. Bascuñana Pareja, A. García González, D. Camas Peña, A. González Herrera

Dpto. de Ingeniería Civil, Materiales y Fabricación. Universidad de Málaga
tolino@gmail.com; dcp@uma.es; agh@uma.es

L. Caminos Gámez

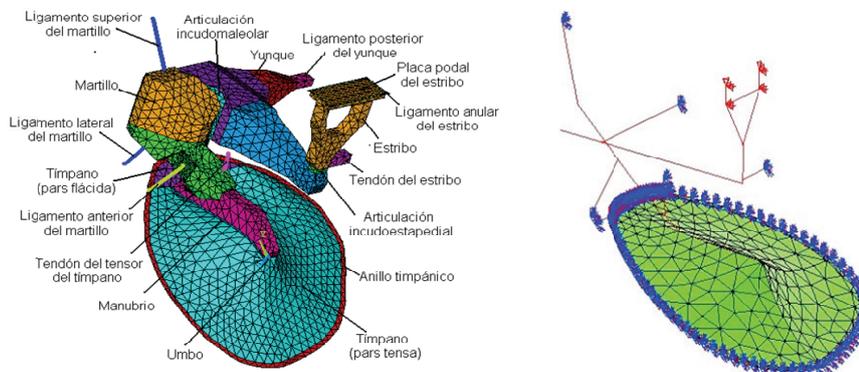
Dpto. de Ingeniería Mecánica. U.N.E.T. Táchira (Venezuela)

Palabras clave: oído medio humano, FEM, mecánica del oído

El modelado numérico por elementos finitos es una herramienta de gran utilidad para el estudio del comportamiento del oído humano. Sin embargo, la gran dificultad a la hora de conocer y estimar las propiedades mecánicas de los distintos elementos componentes del sistema introduce una gran incertidumbre en los resultados.

En este trabajo se presenta un amplio estudio sobre el efecto que tienen diversas desviaciones en la estimación de dichos parámetros en los resultados finales. Se han analizado un gran número de parámetros cubriendo todos los rangos de variación recogidos en la diversa bibliografía. Con ello se ha identificado aquellos parámetros cuya determinación experimental exige mayor precisión. Parámetros como el espesor del tímpano o el módulo de Young, resultan críticos en determinados rangos de frecuencia. Otros en cambio su estimación puede realizarse de manera menos precisa no afectando en gran medida a los resultados.

Para la realización del trabajo se han utilizado varios tipos de modelos de elementos finitos como se muestra en la figura. El estudio se realiza apoyado fundamentalmente en un modelo numérico parametrizado del oído medio (derecha de la figura) [1]. Dicho modelo ha sido reducido y simplificado con el fin de poder realizar una gran cantidad de cálculos sin un coste computacional excesivo. Ha sido desarrollado y validado en base a los resultados obtenidos con otro modelo con un mayor nivel de detalle (izquierda de la figura) [2]. En dicho modelo se incluía el canal auditivo y una cóclea aproximada. Ambos modelos están validados con resultados experimentales publicados.



Referencias

- [1] Bascuñana Pareja, J. Modelo numérico parametrizado del oído medio humano. P.F.C., E.T.S.I.I. U. de Málaga (2011)
- [2] Caminos Gámez, L. Estudio de la influencia de parámetros en el modelado numérico del comportamiento del oído medio y externo humano. Tesis Doctoral. U. de Málaga (2011).

Medición del movimiento de todos los segmentos de la mano mediante videogrametría

J.L. Sancho Bru, M. Vergara, N.J. Jarque Bou, M. C. Mora, A. Pérez González

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I
sancho@emc.uji.es

Palabras clave: mano, movimiento, videogrametría, cinemática

La mano es un sistema complejo, compuesto por multitud de huesos interconectados con diferentes articulaciones que le confieren un total de 25 grados de libertad (GDL). La medición de su movimiento es importante en muchos campos, como la evaluación funcional en el diagnóstico patológico, el seguimiento en rehabilitación, el análisis de la técnica deportiva o la evaluación ergonómica del uso de productos. Es deseable la medición del movimiento mediante el uso de técnicas que no interfieran en el normal desarrollo de las actividades a realizar por la mano. En este sentido, las técnicas de captura de movimiento a partir de imágenes de video y mediante el uso de marcadores pasivos (o videogrametría) son una buena alternativa. Estas técnicas se han usado ampliamente en el análisis de la marcha, pero su aplicación al análisis del movimiento de la mano es todavía escasa [5]. La mayor parte de los trabajos de la literatura presentan su uso sólo para un dedo [4,6], o realizan grandes simplificaciones cinemáticas [1-3]. Hasta la fecha, no se ha descrito en la literatura ningún método que permita la medición simultánea de los 25 GDL de la mano en movimiento, si bien los autores presentaron en un trabajo previo una técnica para su medición en una postura estática mediante fotogrametría y 61 marcadores dibujados sobre la piel [7].

En este trabajo se describe un método para la medición de los movimientos de todos los segmentos de la mano a partir del registro de imágenes de video y el uso de 29 marcadores reflectantes, seleccionados para definir unos sistemas de referencia asociados a cada segmento, que se utilizan para calcular los ángulos de rotación entre cada par de segmentos consecutivos. Se ha tenido especial cuidado en el significado fisiológico de estos ángulos de rotación (25 en total). Así, el movimiento de la mano se describe con ángulos de flexión-extensión en todas las articulaciones interfalángicas y en las metacarpocarpianas de los dedos anular y meñique, y con ángulos de flexión-extensión y de abducción-aducción en todas las articulaciones metacarpofalángicas, en la metacarpocarpiana del pulgar y también en la muñeca. Se describe, asimismo, el experimento y los análisis estadísticos que se han desarrollado para analizar la precisión y repetibilidad del método propuesto. El experimento ha consistido en el agarre de un mismo cono en cinco repeticiones diferentes y por tres sujetos distintos.

Referencias

- [1] D. Brero et al. Desarrollo de un modelo biomecánico multicuerpo de la mano y aplicación a la caracterización de su movimiento con técnicas de estéreo videogrametría, CIBIM 10, (2011), 2515-2526.
- [2] I. Carpinella et al. Experimental protocol for the kinematic analysis of the hand: definition and repeatability, Gait Posture, 23 (2006), 445-454.
- [3] P. Cerveri et al. Finger kinematic modeling and real time hand motion estimation, Ann Biomed Eng, 31 (2007), 1989-2002.
- [4] H. Chiu et al. The use of the motion analysis system for evaluation of loss of movement in the finger, J Hand Surg, 25 (2000), 195-199.
- [5] A. Erol et al. A review on vision-based full DOF hand motion estimation, IEEE CS Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 10.1109/CVPR.2005.395 (2005).
- [6] L.C. Kuo et al. Feasibility of using a video-based motion analysis system for measuring thumb kinematics, J Biomech, 35 (2002), 1499-1506.
- [7] M. Vergara et al. Description and validation of a non-invasive technique to measure the posture of all hand segments, J Biomech Eng, 125 (2003), 917-922.

Indicadores de la calidad del agarre humano. Rangos de variabilidad y análisis de sensibilidad

J.L. Sancho Bru, A. Pérez González

*Dpto. de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I
sancho@emc.uji.es*

B.E. León Pinzón, S. Rodríguez Pérez, A. Morales Escrig

Dpto. de Ingeniería y Ciencia de los Computadores. Universitat Jaume I

Palabras clave: agarre, indicador de calidad, variabilidad, sensibilidad

En la literatura encontramos multitud de modelos biomecánicos de la mano humana desarrollados para proporcionar una herramienta para el estudio de problemas que no pueden ser analizados directamente sobre las personas, o cuyo coste sería elevado. Una de las características principales de la mano humana es su capacidad de agarre. Sin embargo, los modelos desarrollados hasta la fecha están muy limitados en cuanto a la simulación del agarre. En este sentido, los autores disponen de un modelo biomecánico de la mano 3D y escalable, desarrollado en trabajos anteriores, que permite predecir posturas de agarre para un objeto dado, y estimar los esfuerzos de contacto necesarios para el agarre del objeto por la mano, junto con los esfuerzos musculares que los generan [2,3].

La incorporación a los modelos biomecánicos de la posibilidad de calcular indicadores de calidad del agarre que permitan evaluarlo desde diferentes puntos de vista y poder así escoger el más adecuado, es fundamental. Estos indicadores pueden ser utilizados con diferentes propósitos, como puede ser la mejora del diseño de manos protésicas por comparación de la calidad del agarre desarrollado por la mano mecánica en relación a la mano natural.

Por otra parte, el agarre robótico viene siendo estudiado desde hace muchos años, habiéndose propuesto diferentes indicadores que dan idea de la capacidad del agarre para resistir perturbaciones externas o de la destreza que permite. En este sentido, en trabajos recientes [1] los autores han propuesto la adaptación de estos indicadores robóticos junto con la generación de nuevos indicadores biomecánicos y ergonómicos, para poder así evaluar los diferentes aspectos del agarre humano. La variada naturaleza de estos indicadores hace que vengan expresados con unidades dimensionales y rangos de variación bien distintos y poco conocidos. A la hora de poder comparar la bondad de un agarre, sería bueno conocer el rango de la posible variación de estos indicadores y la sensibilidad de dichos indicadores ante pequeñas variaciones en los parámetros que utilizan para su cálculo (puntos de contacto, normales de contacto, posturas, etc). El análisis de dicha información permitirá valorar la viabilidad del uso de estos indicadores para evaluar la ventaja relativa entre diferentes agarres.

En este trabajo presentamos los resultados de las simulaciones realizadas en un barrido de diferentes agarres para cilindros de tres diámetros diferentes. Se presentan los resultados del cálculo de 12 indicadores de calidad diferentes, analizándose los rangos de variabilidad y la sensibilidad a diferentes parámetros de entrada.

Referencias

- [1] B. Leon et al. Evaluation of human prehension using grasp quality measures, IEEE BioRob, (2012), en revisión.
- [2] J.L. Sancho-Bru et al. Modelo de la mano para la evaluación de agarres, CIBIM 10, (2011), 2453-2462.
- [3] J.L. Sancho-Bru et al. Towards a realistic and self-contained biomechanical model of the hand, Theoretical biomechanics, Ed. V. Klika, InTech (2011), 211-240.

Simulación del crecimiento de microgrietas en una osteona mediante elementos finitos

E. Giner Maravilla, A. Vercher Martínez, M. Tur Valiente, F.J. Fuenmayor Fernández

Centro de Investigación de Tecnología de Vehículos-CITV

Dpto. de Ingeniería Mecánica y de Materiales.

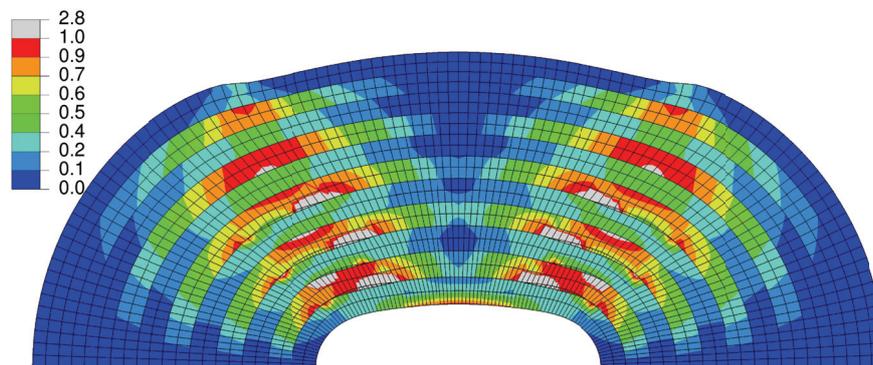
Universitat Politècnica de València, 46022 Valencia, España.

eginerm@mcm.upv.es

Palabras clave: Hueso cortical, microgrietas, elementos finitos.

En este trabajo se modela mediante elementos finitos una osteona (unidad básica de la microestructura del tejido óseo cortical). Las osteonas presentan una estructura lamelar compuesta por fibras de colágeno mineralizadas embebidas en una matriz. El modelo incluye el modelado de estas lamelas, que se organizan de forma concéntrica alrededor del canal de Havers. Cada lamela presenta una dirección preferente de orientación de las fibras mineralizadas, por lo que se pueden considerar como láminas con propiedades ortótropas. La caracterización microestructural de las propiedades elásticas se ha realizado considerando el compuesto de colágeno reforzado por cristales de apatita a través de modelos micromecánicos [1] basados en las ecuaciones de Halpin-Tsai. El modelo incluye la posibilidad de propagación de microgrietas en la interfase entre las lamelas en función del criterio de fallo de delaminación de Brewer y Lagace [2]. En el trabajo, se calibran las propiedades de rotura con los ensayos de tracción, compresión y cortadura de una osteona realizados por Ascenzi y Bonucci [3,4], permitiendo simular numéricamente la aparición de microgrietas circunferenciales en las lamelas longitudinales observadas en los ensayos descritos en [3].

La figura muestra el valor del criterio de fallo de Brewer y Lagace (1 indica iniciación del fallo) en la deformada de media osteona bajo la acción de una carga de compresión diametral y la subsecuente propagación de microgrietas.



Referencias

- [1] H.D. Wagner, S. Weiner. On the relationship between the microstructure of bone and its mechanical stiffness. *J Biomech*, 25 (1992), 1311-1320.
- [2] J.C. Brewer, P.A. Lagace. Quadratic stress criterion for initiation of delamination. *J Compos Mater*, 22 (1988), 1141-1155.
- [3] A. Ascenzi, E. Bonucci, A. Simkin. An approach to the mechanical properties of single osteonic lamellae. *J Biomech*, 6 (1973), 227-235.
- [4] A. Ascenzi, E. Bonucci. The compressive properties of single osteons. *Anat Rec*, 161 (1971), 377-392.

Fuerzas de contacto entre mano y objeto en el agarre cilíndrico: comparación de dos técnicas de medición

A. Pérez González, M. Jurado Tovar, J.L. Sancho Bru,

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

Palabras clave: mano, agarre cilíndrico, sensores de presión

El agarre cilíndrico se emplea habitualmente en actividades de la vida diaria como coger una botella para servir agua o agarrar el volante de un vehículo durante su conducción. La caracterización biomecánica de estos agarres es de interés en diversos ámbitos, como el desarrollo de prótesis de mano, la planificación quirúrgica de la mano o el diseño de productos [1,2]. La caracterización biomecánica del agarre se centra principalmente en dos aspectos: la posición de las diferentes articulaciones de la mano y sus movimientos respecto al objeto y la determinación de las zonas de contacto entre mano y objeto, así como las presiones o fuerzas presentes en dichas zonas durante el agarre. La obtención experimental de estos datos permite también la validación de modelos biomecánicos para el análisis del proceso de agarre [3].

En este trabajo se comparan dos sistemas comerciales diferentes para la medición de las fuerzas de contacto entre mano y objeto: el sistema Grip™ de Tekscan®, y el sistema FingerTPS de Pressure Profile Systems®. Se compara la precisión y repetibilidad de ambos sistemas y se analiza su facilidad y comodidad de uso para el estudio en laboratorio de agarres cilíndricos. Por otra parte, se comparan los resultados obtenidos con ambos sistemas en un experimento de agarre y elevación de un cilindro de diámetro 75 mm y masa 1.5 kg.

Los resultados del trabajo indican algunas ventajas del sistema Grip frente al FingerTPS, ya que permite obtener la distribución de presiones y no sólo las fuerzas totales por zonas, además de ser más repetible y preciso y obtener información de más zonas de la mano. Ambos sistemas resultan invasivos, condicionando en cierta medida el agarre a pesar de su pequeño espesor. La forma de las curvas de fuerza de agarre frente al tiempo obtenidas por ambos sistemas son comparables, así como la distribución de fuerzas entre los diferentes dedos durante el agarre.



Referencias

- [1] A. Kargov et al. A comparison of the grip force distribution in natural hands and in prosthetic hands, *Disability and Rehabilitation*, (2004) Vol. 26, No. 12., pp. 705-711.
- [2] Y. Endo et al., Virtual grasping assessment using 3D digital hand model. 10th Annual Applied Ergonomics Conference: Celebrating the Past - Shaping the Future, 2007.
- [3] J. L. Sancho-Bru et al. Towards a Realistic and Self-Contained Biomechanical Model of the Hand, *Theoretical Biomechanics*, Ed. Intech, (2011). Vaclav Klika (Ed.), pp. 212-240.

Análisis de marcha 3D prequirúrgica en niños con espasticidad sometidos a rizotomía dorsal selectiva

S. Postigo Pozo, M. Prado Novoa

*Dpto. de Ingeniería Mecánica y Mecánica de Fluidos. Universidad de Málaga
spostigo@uma.es*

V.M. Smith Fernández

Dpto. de Anatomía Humana y Medicina Legal. Universidad de Málaga

MJ. Postigo Pozo, VE. Fernández Sánchez, MJ. Núñez Castaín

Servicio de Neurofisiología Clínica. Hospital Regional Universitario Carlos Haya de Málaga

S. Pérez Da Rosa, B. Ros López

Servicio de Neurocirugía Infantil. Hospital Materno Infantil de Málaga

Palabras clave: análisis de movimiento, rizotomía dorsal, espasticidad

Una de las características clínicas que presentan la mayoría de los niños con espasticidad es la presencia de un patrón de marcha alterado, patrón de marcha que implica un mayor gasto energético y que obliga al empleo de ayudas ortopédicas para la marcha. En este patrón de marcha se superponen numerosas alteraciones, algunas ligadas a la espasticidad y otras a la presencia de deformaciones músculo esqueléticas, algunas tienen un carácter primario y otras son mecanismos compensadores desarrollados por el propio paciente. Debido a la complejidad que supone la evaluación clínica de estos pacientes se hace muy interesante el análisis de la marcha 3D, especialmente en niños que se someten a Rizotomía Dorsal Selectiva¹.

Se ha realizado un estudio prequirúrgico a tres pacientes de: 5, 4 y 9 años. Los tres pacientes tenían marcha autónoma con ayuda ocasional de andadores y bastones aunque debido a la ineficacia de su marcha necesitaban del empleo de silla de ruedas para su desplazamiento habitual.

Los estudios prequirúrgicos de marcha autónoma analizaron la cinemática y cinética de la pelvis, caderas, rodilla y tobillo; así como de los segmentos que las unen. Adicionalmente, se midió la electromiografía de superficie (EMG) de los principales músculos agonistas y antagonistas.

En la captura de datos cinemáticos y cinéticos se ha empleado un sistema VICON con 6 cámaras infrarrojas para registrar el movimiento de los marcadores antropométricos colocados a los pacientes y dos plataformas dinamométricas que recogieron la fuerza de reacción de suelo. Para las EMGs se ha utilizado el sistema Biopac modelo MP100 con cuatro canales inalámbricos. Cada paciente se monitorizó en tres etapas sucesivas, registrando primero el grupo flexor-extensor de la extremidad derecha, luego de la extremidad izquierda y finalmente el grupo adductor-abductor de cadera.

Los resultados muestran alteraciones en la cinemática de las articulaciones, alteraciones del tipo flexión plantar mantenida durante la fase de apoyo, ausencia de flexión plantar al final del apoyo, flexos de rodilla, flexos de cadera, caderas en adducción, etc. Aunque estas alteraciones no se producen de manera uniforme en los tres pacientes, ni siempre tienen un carácter bilateral en cada uno de los pacientes.

El estudio de la marcha nos permite saber qué articulaciones y músculos la están alterando, cuándo se genera la respuesta espástica, si se generaliza o no y si existen alteraciones morfológicas asociadas. Además, la comparación de estos resultados con estudios postquirúrgicos permitirá la futura evaluación de la evolución de los pacientes.

1.- Nordmark E, Josenby A, Lagergren J, Andersson G, Stro`mblad L-G, Westbom L. Long-term outcomes five years after selective dorsal rhizotomy. BMC Pediatrics 2008; 8: 54.

2.- Damiano DL, Laws E, Carmines DV, Abel MF. Relationship of spasticity to knee angular velocity and motion during gait in cerebral palsy. Gait Posture. 2006 Jan;23(1):1-8. Epub 2005 Jan 7.

Diseño y fabricación rápida de geometrías biomiméticas fractales en materiales biocompatibles para aplicaciones en ingeniería de tejidos

A. Díaz Lantada, P. Lafont Morgado, P. Ortego García

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación. Universidad Politécnica de Madrid
adiaz@etsii.upm.es

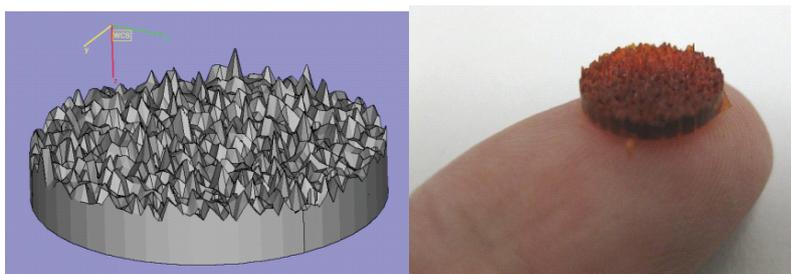
Palabras clave: Biomimesis, fractales, CAD-CAE-CAM, prototipado rápido, fabricación aditiva, procesos sol-gel, copiado rápido de formas, ingeniería de tejidos.

Las tecnologías habitualmente empleadas para fabricar microdispositivos (“scaffolds” o andamios) para ingeniería de tejidos y estudios asociados, presentan dos limitaciones fundamentales: la dificultad de controlar la geometría final desde la etapa de diseño y los problemas asociados a la obtención de prototipos biocompatibles para pruebas. Las tecnologías de fabricación aditiva aportan solución al primero de dichos problemas, al fabricar siguiendo la geometría disponible en archivos CAD 3D. Sin embargo la mayoría de dichas tecnologías aditivas emplean polímeros fotosensibles (resinas epoxi, resinas acrílicas) que resultan tóxicos y no permiten su empleo para tareas de crecimiento y reproducción celular.

Por otro lado, los programas de diseño asistido por computador están orientados al diseño de geometrías suaves, típicas de la industria aeronáutica o de la automoción, que no permiten enfoques biomiméticos, ni diseños que permitan imitar de forma adecuada la complejidad de las superficies biológicas, sobre las que las células presentan un comportamiento óptimo. Para conseguir mimetizar la morfología de los organismos vivos resulta interesante el empleo de texturas y geometrías fractales, por lo que proponemos aquí un proceso de diseño que permite su empleo en programas de diseño asistido por computador.

El presente estudio recoge, tanto el proceso de diseño asistido por computador de diferentes geometrías fractales y microsistemas basados en ellas, como la fabricación aditiva de las mismas por foto-polimerización capa a capa. Se incluye también la obtención de réplicas de dichas geometrías y microsistemas mediante copiado rápido de formas y procesos sol-gel, con la intención de obtener prototipos en materiales biocompatibles, en lo que constituye una novedosa propuesta alternativa para diseñar y fabricar prototipos de microdispositivos con múltiples aplicaciones en ingeniería de tejidos también analizadas.

En la figura, diseño y prototipo de andamio para ingeniería de tejidos con geometría fractal.



Referencias

- [1] A. Díaz Lantada et al. Tissue engineering using novel rapid prototyped diamond-like carbon coated scaffolds, *Plasma Processes and Polymers*, 3 (2012), 290-307.

Estudio, diseño y construcción biomecánica de un emulador de tobillo articulado para prótesis de miembro inferior

C. Borrás Pinilla

*Director del Centro de Investigaciones DICBoT (Dinámica Multifísica, Control y Robótica)
Escuela de Ingeniería Mecánica
Universidad Industrial de Santander
cborras@ou.edu*

C. Gómez Serrano, W. Pinto Hernandez

Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad Industrial de Santander

Palabras clave: Biomecánica, Marcha, Prótesis, LaGrange, Cinemática, Cinética, Tobillo, Emulador.

Este artículo presenta el diseño, construcción y validación de un nuevo emulador de tobillo articulado que logra recrear los movimientos principales del pie en el plano sagital. Se realizó un estudio de la anatomía y fisiología del pie y de los movimientos de la extremidad inferior durante la marcha y se desarrolló un código para manejar la Dinámica Lagrangiana del movimiento en el plano sagital, empleando MATLAB® como plataforma de programación, encargada de hacer el análisis bidimensional de la marcha con técnicas digitales videográficas. Este código -denominado WalkLab v1.0- se programó para ampliar la documentación recogida y realizar la caracterización y validación cinemática y cinética del emulador mediante la comparación de las curvas características del movimiento con las curvas de una marcha natural. Adicionalmente se evalúan las fuerza y los torques aplicados en el tobillo en función del tiempo lo cual permite la obtención y análisis de los valores críticos de esfuerzos para el diseño y construcción del emulador.

Referencias

- [1] BETANCOURT GALLEGO, Silvia Natalia; ZULUAGA PELÁEZ, Natalia Janeth; OSORIO GARCÍA, Maria Isabel. Biomecánica de la marcha. Mc. Graw Hill. 1992.
- [2] BRAIDOT, A. A.; Galardo, D.G. y Spineto, J. Laboratorio de Biomecánica de bajo costo. Desarrollo de un sistema de videografía digital. En CEIC, Biblioteca Digital Universidad Nacional de EntreRios, Argentina. 2000.
- [3] DONATELLI, Robert. The biomechanics of the foot and ankle: F.A. Davis Company, 1990. p. 284.

Evaluación biomecánica de la eficacia de la preparación del injerto en reconstrucción de LCA

M. Prado Nóvoa, F. Ezquerro Juanco, A. Pérez de la Blanca, S. Postigo Pozo

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de Málaga
maria.prado@uma.es

B. Martín Castilla, A. Espejo-Reina

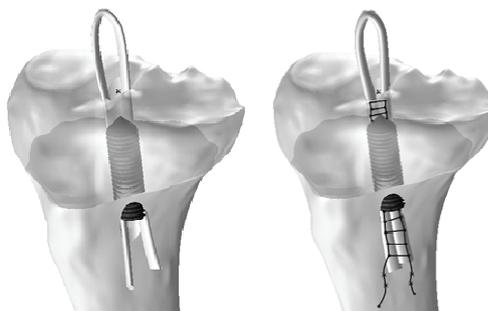
Dpto. Traumatología y Cirugía Ortopédica. Hospital Universitario Virgen de la Victoria. Málaga.

Palabras clave: reconstrucción LCA, fijación tibial, ensayo biomecánico, injerto de tejido blando

Es recomendable y frecuente valorar en estudios previos a su aplicación clínica, la viabilidad y perspectiva de éxito post-operatorio de las técnicas quirúrgicas de reconstrucción de ligamento cruzado anterior (LCA). Los estudios in-vitro evalúan propiedades mecánicas de la reconstrucción que han podido relacionarse con el fallo clínico temprano por rotura o laxitud excesiva, tales como rigidez, carga de fluencia, carga última o resistencia al deslizamiento ante cargas repetitivas.

La fijación tibial del LCA es habitual realizarla mediante tornillos de interferencia bioabsorbibles. La causa más habitual de fallo clínico de esas reconstrucciones deriva del deslizamiento del tendón en el túnel tibial. Existe una clara disparidad en cuanto a la forma de preparar el injerto para la fijación, buscando minimizar su deslizamiento: diversos autores proponen utilizar el injerto en bucle abierto, con lo que existen dos extremos separados a ser fijados por el tornillo, y en otras ocasiones se propone suturar ambos extremos para formar un bucle cerrado.

En este trabajo, con material porcino, se utilizaron 14 tibias y 14 tendones del flexor digitorum profundus, todos de 9mm de diámetro, que fueron aleatoriamente divididos en dos grupos. En la tibia se realizó un túnel de 9mm de diámetro, en el que se insertó el injerto fijándolo con tornillos de interferencia bioabsorbibles de 10mm de diámetro, con el tendón en bucle abierto en un grupo y cerrado en el otro. En este último, el injerto



se situó de forma que la sutura que cierra el bucle se extendía desde el extremo del tendón colocado en el exterior distal de la tibia, hasta más allá de la interface tendón-tornillo. Las reconstrucciones fueron sometidas a ensayo de tracción cíclica seguido de tracción hasta rotura, para determinar sus propiedades estructurales.

De los resultados del trabajo se puede concluir que el comportamiento mecánico de la fijación tibial en reconstrucciones de LCA con tornillos de interferencia bioabsorbibles, en modelo porcino, se ve mejorado cuando el injerto se configura en bucle cerrado suturando sus dos extremos desde el exterior distal de la tibia hasta más allá de la interface tornillo-tendón. Los resultados mostraron que esta técnica puede ser eficaz para ayudar a reducir la laxitud post-operatoria y el fallo clínico temprano de la reconstrucción.

Referencias

- [1] A. Daniel, M.D. Charlick, N.M. David, M.D. Caborn. Alternative soft tissue graft preparation technique for cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 16(8)(2000), E20
- [2] D Johnson. Anterior Cruciate Reconstruction Using Hamstring Graft Fixed with Bioscrews and augmented with the Endopearl. *Tech in Orthop* 20(2005), 264-271.

Caracterización del ángulo de inclinación en los planos sagital y frontal de pacientes enfermos de Parkinson utilizando un acelerómetro triaxial

S. Cardona Foix , E. Zayas Figueras, H. González Rojas

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Politécnica de Cataluña
salvador.cardona@upc.edu

P. Chaná Cuevas

Facultad de Medicina, Universidad de Santiago de Chile USACH-CETRAM

Palabras clave: acelerometría, ángulo de inclinación, Parkinson

Una de las técnicas actuales que se utilizan para caracterizar el movimiento de cuerpo humano, es la medición directa por acelerometría, técnica que se ha perfeccionado y abaratado en los últimos años con la implementación exitosa de sensores electrónicos de bajo costo en entornos clínicos.

Una de las enfermedades que con frecuencia se presenta en la actualidad en personas adultas, es la enfermedad de Parkinson (EP). En el proceso de diagnóstico clínico de la misma, se utilizan diferentes test clínicos, siendo uno de ellos el test Sit to Stand- Stand to Sit. La determinación precisa del estado de una persona, para saber si padece Parkinson o no, y el grado de avance de la enfermedad de un paciente se realiza básicamente mediante diagnósticos clínicos y utilizando las escalas Haen & Yarh y la UPDRS de progresión y severidad de la enfermedad. En estas escalas el diagnóstico se hace a través una valoración visual de los médicos especialistas del comportamiento del paciente.

El presente trabajo expone un estudio de un grupo de diez pacientes enfermos de Parkinson y de cinco controles (personas sanas) utilizando un acelerómetro triaxial colocado en la espalda del paciente, durante la realización del test antes citado. El objetivo de dicho estudio es identificar variables que ayuden a los médicos especialistas en la caracterización clínica de los pacientes, básicamente que les aporte información adicional para identificar personas con la enfermedad y valorar los pacientes según el estado de progresión de su enfermedad.

Se analizan en particular los ángulos de inclinación en los planos sagital y frontal de la persona durante el test clínico. Para la obtención objetiva de dichos ángulos se define un modelo de las señales generadas por el acelerómetro durante las maniobras levantarse (Sit to Stand) y sentarse (Stand to Sit) y se determinan sus parámetros mediante un algoritmo de ajuste de parámetros. Para el análisis y tratamiento de las señales medidas en los pacientes y para la representación gráfica de los resultados se utiliza el programa Scilab 5.3.3. El análisis estadístico de los datos obtenidos se realiza mediante el programa MiniTab 16.

Se exponen gráficas y tablas de resultados obtenidos que facilitan la comprensión de los mismos y fundamentan que el ángulo de inclinación en el plano sagital puede servir como información de apoyo a los especialistas médicos en el diagnóstico de la enfermedad de Parkinson y en la valoración de la evolución de su severidad en los pacientes.

Referencias

- [1] A. Godfrey et al. "Direct measurement of human movement by accelerometry", *Medical Engineering & Physics*, 30 (2008), 1364-1386.
- [2] A. Weiss et al. "Can an accelerometer enhance the utility of the Timed Up & Go Test when evaluating patients with Parkinson's disease?", *Medical Engineering & Physics* 32, (2010), 119-125.



Cinemática Computacional

Parámetros redundantes para rotación y traslación en Cinemática

O. Altuzarra Maestre, A. Hernández Frías, E. Amezua San Martín, V. Petuya Arcocha

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco UPV/EHU

oscar.altuzarra@ehu.es

Palabras clave: Cinemática Teórica, parámetros de Rodrigues, parámetros de Study

El planteamiento de la posición de un sólido en el espacio requiere el uso de seis coordenadas, usualmente las coordenadas de un punto de referencia P y tres ángulos de orientación. Con esos parámetros posicionales se puede construir la matriz de transformación de tal forma que las coordenadas locales de los puntos del sólido en un sistema de referencia con origen en el punto P se proyecten en un sistema fijo de referencia. Esa matriz de transformación contiene la matriz de rotación, donde se emplean los ángulos de orientación, y la posición de P respecto del origen del sistema fijo. El uso de esta matriz requiere trabajar en coordenadas.

En muchas de las aplicaciones de ingeniería mecánica, la matriz de rotación se plantea con los ángulos de Euler por ser una representación de la orientación intuitiva. En otras ocasiones se usan los cosenos directores de los ejes del sistema móvil, en esencia la totalidad de los términos de la matriz de rotación. Estos enfoques tienen algunos hándicaps, los ángulos de Euler presentan situaciones singulares y el empleo de las matrices de rotación completas conlleva un coste computacional importante para algunas aplicaciones.

En la literatura se han desarrollado alternativas a la representación de la orientación que se basan en parámetros redundantes como son los parámetros de Rodrigues, o eventualmente los cuaterniones [1]. Estas técnicas matemáticas se idearon a finales del siglo XIX y se emplean con profusión en aplicaciones como la robótica, control de orientación de satélites, aplicaciones de software... Una de sus ventajas es que el planteamiento de las ecuaciones de posición en mecanismos resulta en sistemas de ecuaciones no lineales polinomiales, que al carecer de funciones trigonométricas son factibles de resolver mediante métodos homotópicos, bases de Groebner o métodos de eliminación.

En cuanto a la expresión del desplazamiento completo, también existe una técnica que emplea parámetros redundantes para su representación y que da generalidad a la representación redundante de la orientación, los parámetros de Study [2]. La aplicación de esta representación a la cinemática data de principios del siglo XX y es menos conocida, pero recientemente se emplea con más frecuencia en el análisis de problemas de posición en mecanismos espaciales de cadena cerrada.

Esta ponencia trata de exponer de una forma ilustrativa las diversas técnicas mencionadas, la relación que existe entre ellas, la forma de aplicarlas a problemas de mecanismos espaciales sencillos, y la ventaja que se puede obtener al emplear estas parametrizaciones tanto en la resolución del problema de posición como en el análisis de singularidades.

Referencias

- [1] W. R. Hamilton. Elements of Quaternions. Cambridge University Press (1899).
- [2] E. Study. Von den Bewegungen und Umlegungen, Math. Ann., 39 (1891), 441-566.

Sobre la Aplicación de la Teoría de Torsores en Cinemática

A. Bilbao Sagarduy, O. Altuzarra Maestre, A. Hernández Frías, E. Amezua San Martín

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco UPV/EHU

oscar.altuzarra@ehu.es

Palabras clave: Cinemática Teórica, torsores cinemáticos, Jacobiana, aceleraciones

El carácter vectorial de las magnitudes cinemáticas y dinámicas permite aplicar las herramientas matemáticas que proporciona el Cálculo Vectorial al estudio del movimiento de los sistemas mecánicos. Este enfoque vectorial es el más extendido tanto en la docencia como en la investigación en el campo de la cinemática de mecanismos. Los vectores a manejar se pueden expresar con sus componentes y su punto de aplicación, o alternatively con el momento que generan respecto a un punto determinado. En este último formalismo se asientan las bases de la denominada Teoría de Torsores. Se sabe que el campo de velocidades de un sólido rígido puede asimilarse al campo de momentos generado por un sistema de vectores, donde la resultante representa la velocidad angular y los momentos las velocidades lineales de los puntos del sólido. Análogamente, el conjunto de fuerzas que actúan sobre un sólido y los momentos que originan siguen las mismas leyes matemáticas que los campos vectoriales. Sin embargo, no es éste el caso del campo de aceleraciones.

El campo de velocidades de un sólido puede ser representado por un torsor que recibe el nombre de torsor cinemático. Análogamente, el campo de momentos engendrado por las fuerzas que actúan sobre un sistema mecánico admite también este tratamiento matemático mediante el denominado torsor dinámico. Así pues, la suma de movimientos y de sistemas de fuerzas, la descomposición de un movimiento y de un sistema de fuerzas en dos o más, y la relación existente entre las fuerzas y los movimientos a que dan lugar, tienen su equivalencia matemática en operaciones análogas realizadas con torsores.

El formalismo de los torsores ha tenido su lugar en los temarios docentes de titulaciones superiores en épocas precedentes, pero ya hace tiempo que no es objeto de atención salvo en cursos especializados. Sin embargo, en el ámbito del análisis cinemático ha experimentado un auge continuo desde que se empezó a aplicar en el estudio de mecanismos de cinemática paralela. Actualmente se aplica a la síntesis de mecanismos espaciales, el análisis del problema de velocidad y del problema cinetostático, el análisis de singularidades, o la identificación de indicadores de destreza o manipulabilidad.

Los autores pretenden en este trabajo hacer un análisis de los principios de aplicación de los torsores al análisis cinemático enlazando estos conceptos con el enfoque vectorial conocido por la comunidad académica. Sobre esa base, se introducirá el tratamiento de las aceleraciones según este formalismo, lo cual requiere una reformulación parcial de los principios empleados en la teoría de torsores y constituye la aportación original de este trabajo.

Referencias

- [1] R.S. Ball. The Theory of Screws. Cambridge University Press (1998)
- [2] J.K. Davidson y K.H. Hunt. Robots and Screw Theory. Oxford University Press (2004).

Simulación del mecanismo molecular con incrementos optimizados en los ángulos diédricos

Mikel Diez Sánchez, Victor Petuya Arcocha, Mónica Urizar Arana, Erik Macho Mier

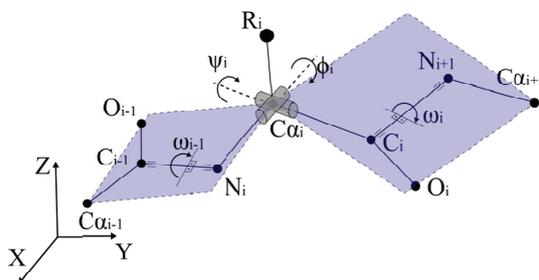
Dpto. Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco (UPV/EHU)

mikel.diez@ehu.es

Palabras clave: Biocinemática, Proteínas, Robot Serie

Muchos de los mecanismos moleculares mediante los cuales las proteínas llevan a cabo sus funciones son todavía desconocidos. Los métodos experimentales no pueden representar más que imágenes estáticas de las proteínas. Por otro lado, los métodos analíticos disponibles en la bibliografía, o bien tienen un alto coste computacional, o no son capaces de representar el movimiento real de los grados de libertad de las proteínas. En este artículo se continúa avanzando en un nuevo enfoque de estudio de las proteínas denominado Biocinemática.

El procedimiento presentado en este artículo es una evolución del trabajo presentado en el CNIM 2010. En este nuevo procedimiento se dota a la proteína de una mayor



libertad de movimiento. El algoritmo desarrollado posee la capacidad de adaptar los incrementos aplicados en los grados de libertad, así como de cambiar su sentido de giro, permitiéndole explorar un mayor espacio configuracional. Estas nuevas habilidades han permitido extender la aplicación a problemas tan complejos como el plegado de proteínas. Como en el trabajo anterior, todos los resultados son validados mediante los tres indicadores biológicos más utilizados, el error cuadrático medio, la evolución de la energía potencial y los Ramachandran plots.

Referencias

[1] Mikel Diez, Víctor Petuya, Luis Alfonso Martínez-Cruz, and Alfonso Hernández. A biokinematic approach for the computational simulation of proteins molecular mechanism. *Mechanism and Machine Theory*, vol. 46 (12) pp. 1854-1868, 2011.

Tratamiento de las restricciones de desigualdad en un método de optimización de síntesis cinemática

P. García, R. Sancibrián, A. de-Juan, F. Viadero, A. Fernández, M. Iglesias

Dpto. de Ingeniería Estructural y Mecánica. Universidad de Cantabria
garciafp@unican.es

Palabras clave: Síntesis cinemática, optimización local, gradiente exacto, restricciones de desigualdad

En el planteamiento de un gran número de problemas de optimización, es frecuente la necesidad de incorporar restricciones de desigualdad de diversa índole. En síntesis cinemática de mecanismos, un caso típico de aplicación consiste en la limitación del tamaño de los elementos para asegurar la funcionalidad del mecanismo. Normalmente, dichos tamaños constituyen las variables de diseño del problema de síntesis. Nos encontramos, entonces, ante uno de los casos más simples de optimización con restricciones, en el que éstas hacen referencia a los límites de las variables de diseño.

El Grupo de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Cantabria ha venido trabajando en los últimos años [1,2] en el desarrollo de un método de síntesis cinemática óptima basada en el cálculo analítico del gradiente. Las restricciones de desigualdad se tratan explícitamente mediante la introducción de las denominadas variables holgura [3,4].

La ventaja del uso de las variables holgura es que permiten tratar todas las restricciones, ya sean de igualdad o de desigualdad, de una manera uniforme. En contrapartida, además de aumentar las dimensiones del problema, la utilización de estas variables implica que las restricciones están siempre activas, y deben ser derivadas en cada iteración. Sin embargo, en el método propuesto, la determinación de las derivadas se realiza de manera analítica, con lo que solamente debe ser calculada una vez.

Por cada ecuación de desigualdad que se añada al problema, se ha de introducir una nueva variable holgura. A este respecto, se plantean dos alternativas: considerar la variable holgura como dependiente, o incluirla en el vector de variables de diseño (independiente). En este trabajo se analizan las ventajas e inconvenientes de estas dos alternativas para el tratamiento de las restricciones de desigualdad mediante unos ejemplos de aplicación.

Referencias

- [1] P. García, Síntesis cinemática dimensional óptima de mecanismos mediante un método general basado en el gradiente exacto. Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria. 2011.
- [2] Sancibrian, R., Garcia, P., Viadero, F., Fernandez, A., De-Juan, A. Kinematic design of double-wishbone suspension systems using a multiobjective optimisation approach. *Vehicle System Dynamics*, 48 (7), pp. 793-813. 2010.
- [3] Nocedal, J. y Wright, S.J., *Numerical Optimization* 2nd edition. Springer. 2006
- [4] Venkataraman, P. *Applied optimization with Matlab programming*. New York. John Wiley & Sons.



Dinámica de Sistemas Multicuerpo

Análisis estructural computacional de sistemas multicuerpo planos con pares inferiores y superiores

M. Saura Sánchez, A. Celdrán Cáceres

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Politécnica de Cartagena
msaura.sanchez@upct.es

D. Dopico Dopico, J. Cuadrado Aranda

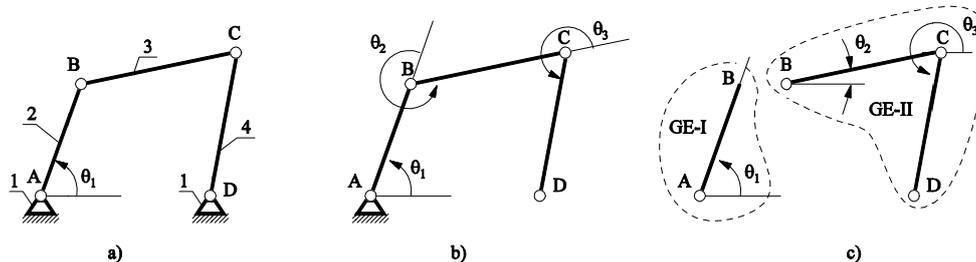
Laboratorio de Ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica Superior. Universidad de la Coruña

Palabras clave: Análisis Estructural Computacional. Sistemas multicuerpo

La modelización cinemática y dinámica de sistemas multicuerpo requiere una fase inicial de reconocimiento topológico o de análisis estructural. Con el uso de formulaciones globales, un sencillo análisis topológico es suficiente para identificar los grados de libertad que restringe cada tipo de par cinemático. Las coordenadas dependientes utilizadas para definir el modelo $[X_B, Y_B, X_C, Y_C, \theta_1]$, Fig.a, se pueden relacionar mediante ecuaciones de restricción de sólido rígido y de par cinemático. En las formulaciones recursivas un análisis estructural más elaborado identifica los lazos cerrados que aparecen en el modelo. Éstos se abren dejando al sistema con estructura de árbol (Fig.b). Las relaciones cinemáticas correspondientes a las uniones entre sólidos, según su tipo y las que garantizan el cierre de cadena, forman las ecuaciones de restricción que relacionan coordenadas dependientes (θ_2, θ_3) e independientes (θ_1).

Métodos más avanzados del análisis estructural permiten dividir un sistema mecánico en Grupos Estructurales (GE). Siguiendo el orden proporcionado por el análisis estructural se pueden utilizar métodos recursivos para analizar el modelo completo. Cada tipo de GE (ej. GE-II, en Fig.c) introduce su propio conjunto de coordenadas dependientes ($[X_C, Y_C]$ ó $[\theta_2, \theta_3]$) y de ecuaciones de restricción que relacionan éstas con el de independientes ($[X_B, Y_B, X_D, Y_D]$), conocidas o ya determinadas de GE anteriores.

En este trabajo se revisa la teoría del análisis estructural [1] y se desarrolla, implementa y evalúa un método computacional que analiza automáticamente la estructura de cualquier sistema multicuerpo plano, con pares inferiores y superiores, cadenas cerradas y abiertas y uno o varios grados de libertad. A partir de la matriz de adyacencia del mecanismo, el algoritmo lo divide en GE y establece el orden en el que se han obtenido. Estos resultados permiten escribir e integrar automáticamente las ecuaciones del movimiento de todo el sistema. El método propuesto introduce, entre otras, las siguientes ventajas: Automatización de la fase inicial de reconocimiento topológico y análisis estructural, selección automática de las ecuaciones de restricción para cada GE, posibilidad de seleccionar diferentes tipos de coordenadas (relativas, de punto de referencia, naturales) y formulaciones dinámicas (matriz R, penalizadores) para definir y resolver el modelo. El algoritmo se ha aplicado a un elevado número de sistemas mecánicos de diferente complejidad, ofreciendo los mismos resultados que los obtenidos mediante la aplicación de técnicas analíticas.



Referencias

[1] Kolovsky, M.Z.; Evgrafov, A.N.; Semenov, Y.A.; Slousch, A.V: Advanced Theory of Mechanisms and Machines. Dordrecht: Springer, 2000.

Validación experimental de un modelo multicuerpo de un prototipo de vehículo automatizado

E. Sanjurjo Maroño, R. Pastorino, D. Dopico Dopico, M.Á. Naya Villaverde

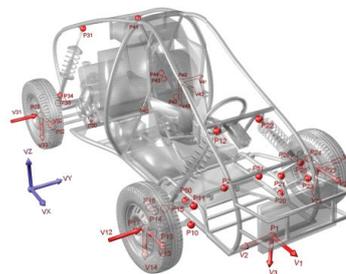
Laboratorio de Ingeniería Mecánica. Universidad de La Coruña
emilio.sanjurjo@udc.es

Palabras clave: simulación multicuerpo, tiempo real, vehículo automatizado

En los últimos años los modelos multicuerpo de automóviles capaces de ejecutarse en tiempo real desarrollados han aumentado. Avances en las formulaciones de la dinámica han extendido el uso de estos modelos a nuevos campos, como son los simuladores de conducción de alta fidelidad o los controladores a bordo del vehículo. Sin embargo, para estos propósitos la dinámica de los modelos debe ser validada con el objetivo de comprobar que tanto el modelo multicuerpo como la formulación empleada sean adecuados para el nivel de precisión requerido en cada aplicación.

En este trabajo se presenta la aplicación de la metodología de validación desarrollada para validar la dinámica de modelos de vehículo del “National Advanced Driving Simulator”, desarrollado por la Universidad de Iowa [1] al modelo multicuerpo de un prototipo de automóvil. El vehículo está instrumentado (acelerómetros, giróscopos, etc.), y automatizado (dirección, acelerador y freno) para que pueda repetir maniobras de forma autónoma. El modelo multicuerpo se ha programado mediante una formulación de Lagrange aumentado de índice 3 con proyecciones ortogonales en velocidad y aceleración [2].

Para empezar el proceso de validación se han seleccionado dos maniobras (línea recta y curva en “J” a bajas velocidades) y cada una de ellas ha sido repetida varias veces con el prototipo. Posteriormente se han promediado los datos experimentales de las múltiples repeticiones. Por último, cada una de las dos maniobras se ha simulado empleando las entradas experimentales promediadas con el modelo multicuerpo y se ha comprobado la precisión de los resultados. En las siguientes imágenes se muestra el prototipo (izquierda) y el modelo desarrollado (derecha).



Este trabajo tiene el objetivo final de emplear este modelo en observadores de estados de tipo filtro de Kalman, que se ejecutan a bordo del vehículo para futuras aplicaciones en tareas de control.

Referencias

- [1] W. Riley Garrott, Paul A. Grygier, Jeffrey P. Chrstos, et al. Methodology for validating the National Advanced Driving Simulator's Vehicle Dynamics (NADSdyna), SAE, 106 (1997), 882-894.
- [2] J. Cuadrado, D. Dopico, M. A. Naya, and M. González. Penalty, semi-recursive and hybrid methods for MBS real-time dynamics in the context of structural integrators, Multibody System Dynamics, 12 (2004), 117-132.

Movilidad/Estabilidad en eslingados de cargas de geometría compleja

M. López Lago, J.A. Vilán Vilán, A. Segade Robleda, J. Collazo Rodríguez

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de Vigo

mllago@uvigo.es, jvilan@uvigo.es, asegade@uvigo.es, joaquincollazo@uvigo.es

Palabras clave: eslingado, movilidad, estabilidad, sistemas multicuerpo

En un número importante de actividades industriales es necesario el movimiento y manipulación de cargas de grandes dimensiones. Un ejemplo clásico es la construcción de buques mediante bloques prefabricados. La manipulación de piezas de gran tamaño suele realizarse mediante grúas. La conexión física entre el elemento de suspensión de la grúa y la pieza a manipular suele realizarse mediante un sistema de elementos flexibles y conexiones llamado eslingado, en muchos casos se trata de eslingas textiles o de cable de acero y utillaje de unión [2].

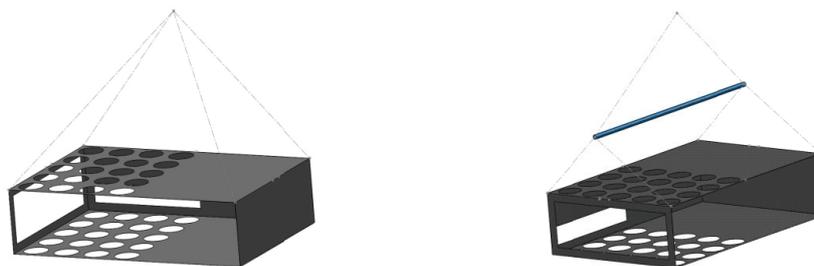
El diseño del eslingado de una determinada carga para una determinada manipulación de la misma, debe garantizar la estabilidad del conjunto en todo momento. Sin embargo, en multitud de casos este diseño está basado en cálculos estáticos, y en ocasiones bidimensionales. Estos modelos pueden ser, en algunos casos, demasiado simples para reflejar el comportamiento o posibles inestabilidades del sistema.

En este trabajo, se modelan diferentes tipos de eslingado como sistemas multicuerpo [1]. El objetivo principal es la predicción de posibles inestabilidades en la manipulación de la carga con el eslingado diseñado, incluso teniendo en cuenta influencias externas.

Con este planteamiento es posible conocer las sollicitaciones que aparecen sobre la carga en su manipulación y las que aparecen sobre los diferentes elementos del eslingado, obteniendo así un profundo conocimiento del comportamiento dinámico del sistema.

Entre las fases del procedimiento empleado destaca el modelado sólido de la carga a manipular, posteriormente es necesario el diseño del eslingado dentro del sistema multicuerpo. El modelo final puede ser muy representativo del sistema real, ya que es posible tener en cuenta la elasticidad de las eslingas y la influencia de elementos auxiliares como balancines.

En este trabajo se ha utilizado un software comercial para la resolución dinámica y obtención de los resultados más importantes de los diferentes sistemas multicuerpo definidos.



Referencias

- [1] R. Jazar. *Advanced Dynamics: Rigid body, Multibody, and Aerospace Applications*, Wiley (2011).
- [2] H. Shapiro. *Cranes and derricks*, McGraw-Hill (2010).



Educación en Ingeniería Mecánica

Soporte dinámico para el material docente del profesorado. Teoría de Máquinas y Mecanismos

L. Jordi Nebot, S. Cardona Foix, J. Puig-Ortiz

Departament d'Enginyeria Mecànica. Universitat Politècnica de Catalunya
lluisa.jordi@upc.edu

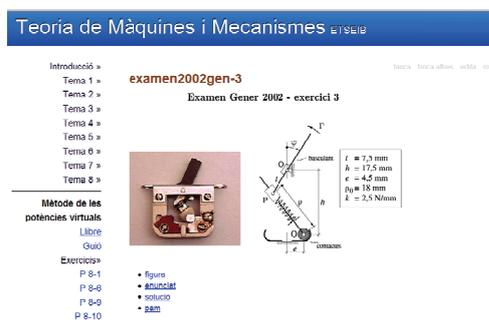
Palabras clave: material docente, teoría de máquinas y mecanismos, TiddlyWiki

Es usual que el material docente para las clases tenga procedencia diversa: publicaciones, material de elaboración propia, acceso a la red, etc. y que varíe en mayor o menor grado de un curso a otro, e incluso que tenga que reelaborarse o reorganizarse durante el curso para hacer frente a situaciones no previstas. Todo ello hace deseable un soporte dinámico de este material. Por estas razones se ha buscado un soporte adecuado para el material utilizado en la impartición de la materia de Teoría de Máquinas y Mecanismos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona.

Se ha optado por una aplicación TiddlyWiki –aplicación tipo wiki libre y autocontenida en un único archivo que puede editarse mediante de un navegador web [1] lo que la hace fácil de gestionar, usar y actualizar.

El contenido se ha estructurado en una introducción más los temas que se corresponden con los capítulos del libro de texto utilizado [2]. Cada tema tiene tres apartados: libro (versión electrónica prevista para el uso del profesorado), guión del contenido y ejercicios para realizar en clase.

Tanto el guión como los ejercicios se despliegan en la parte central de la pantalla y a partir del despliegue se puede acceder directamente a los contenidos previstos: sitios web, documentos pdf con texto, gráficos y animaciones, ejemplos basados en el Programa de Análisis de Mecanismos (PAM) [3] y otras aplicaciones de cálculo y representación gráfica.

La utilización de este soporte, almacenado en un dispositivo de memoria portátil, que contiene la mayor parte de material escrito generado para la asignatura permite acceder al contenido de manera ordenada y sistematizada y en cualquier momento tanto de la preparación de las clases como durante su impartición.

Referencias

[1] <http://es.wikipedia.org/wiki/Wiki> (26 de enero de 2012)
 [2] Cardona, S., Clos, D. Teoría de Màquines. Edicions UPC, 2008. Barcelona.
 [3] D. Clos, J. Puig, PAM, un programa de anàlisis de mecanismes plans de n graus de llibertat enfocad a la docència universitària, *Anales de Ingeniería Mecánica*, vol 15 (1), pp. 757-765, 2004.

Proyecto de Ingeniería Mecánica integrador de conocimientos. Cuarto cuatrimestre del Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales

S. Cardona Foix, L. Jordi Nebot, J. Puig-Ortiz

Departament d'Enginyeria Mecànica. Universitat Politècnica de Catalunya
lluia.jordi@upc.edu

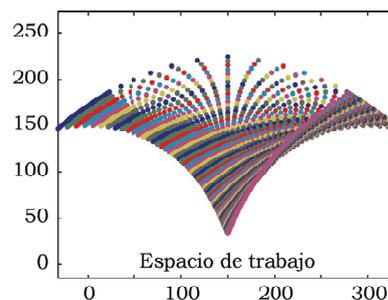
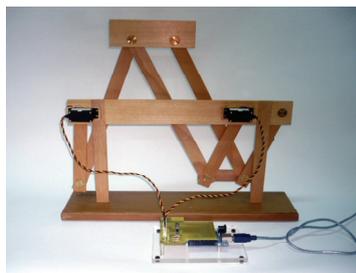
Palabras clave: proyecto, ingeniería mecánica, mecatrónica

El plan de estudios del grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales en la ETSII de Barcelona [1] incluye en el cuarto cuatrimestre la asignatura Proyecto I cuyo objetivo es que el alumnado aprenda a plantear correctamente un problema de ingeniería concreto y encuentre una solución que pueda resolverlo a partir de los conocimientos básicos que posee de matemáticas, dibujo, programación y mecánica. En paralelo, está cursando Teoría de Máquinas y Mecanismos y Dinámica de Sistemas.

A partir de este entorno, se ha considerado que los alumnos con un cierto sesgo hacia la mecánica pueden realizar un proyecto [2] cuya base científica sea el estudio de un manipulador plano paralelo de pantógrafo que incluye el estudio cinemático, el diseño y la implantación del accionamiento. Se dispone de un prototipo construido en el Laboratorio de Máquinas.

Para focalizar la dificultad en los puntos de interés y abordables por el alumnado, el accionamiento se realiza mediante servomotores de modelismo, de par y rigidez elevados. El control de los motores se realiza mediante una placa Arduino, plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar; se programa en un lenguaje muy parecido al C en un entorno simple mediante el cual también se carga del programa, vía bus USB, a la placa para su funcionamiento autónomo.

Las tareas básicas que debe realizar el alumnado son: realización de un análisis comparativo de los manipuladores serie y paralelo; estudio cinemático, determinación del espacio de trabajo y diseño de una trayectoria contenida en éste; elección de sensores e implementación del control del prototipo con un microcontrolador Arduino [3]; ejecución de la representación gráfica y de los planos del prototipo; diseño y materialización de un soporte para realizar una tarea concreta.



Referencias

- [1] <http://www.etsiib.upc.edu/ca/cursactual/portal-dassignatures> (31-enero-2012)
- [2] Singhose, W., Donnell, J. Introductory Mechanical Design Tools, 2009, Georgia Institute of Technology.
- [3] <http://www.arduino.cc> (31-enero-2012).

Utilización de modelos virtuales de máquinas-herramienta en formato de fácil acceso para la docencia en asignaturas relacionadas con fabricación mecánica

I. Cambero Rivero, R. González Andrino, D. Rodríguez Salgado, J. M. Herrera Olivenza
Dpto. de Ingeniería Mecánica, Energética y de los Materiales. Universidad de Extremadura
icambero@unex.es

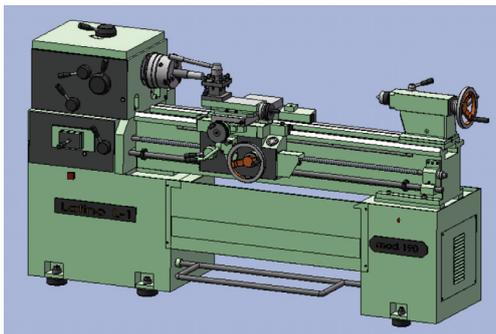
Palabras clave: virtualización 3D

En trabajos precedentes al que ahora se presenta, se ha realizado la caracterización dimensional y modelado 3D de varias máquinas-herramienta, con el fin de ser utilizadas como material docente en la impartición de las asignaturas relacionadas con el Área de Conocimiento de Ingeniería de los Procesos de Fabricación.

Tras la primera oferta a los estudiantes para utilizar el material mediante el software nativo de modelado 3D o en otro formato de fácil difusión como son los PDF, se decidió utilizar solo la segunda posibilidad. Esta decisión se tomó ante la necesidad de adaptar los programas de las asignaturas al EEES y por la obligación de tener en cuenta el tiempo de estudio del alumno como parte de las enseñanzas a evaluar.

Como resultado se ha ofrecido al alumno modelos virtuales, que a diferencia de videos o imágenes, pueden ser fácilmente manipulados, permitiendo el acceso a un conocimiento virtual de la material que posteriormente en clase o en laboratorios será tomado como conocido.

Entre las conclusiones se presentarán los resultados obtenidos con esta experiencia, tras la utilización de los medios durante varios cursos académicos.



Referencias

- [1] Wang Hao-Chuan, Chang Chun-Yen, Li Tsai-Yen, The comparative efficacy of 2D-versus 3D- based media design for influencing spatial visualization skills, *Computers in Human Behavior*, 23-4 (2007), 1943-1957.
- [2] S. Gago Masagué, J. Lloveras Macia, ¿Ingeniería de diseño o ingeniería artística?, XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, (2009).
- [3] Gabriel Songel, Valores del Diseño: diseño, visión, innovación, *Círculo de Bellas Artes*, (2008).
- [4] I. Cambero Rivero, R. González Andrino, D. Rodríguez Salgado, F. J. Alonso Sánchez, Virtualización de máquinas-herramienta para uso docente en asignaturas relacionadas con fabricación mecánica, XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, (2010).

Fomento de la actitud creativa como herramienta de mejora continua en asignaturas de Ingeniería

J.A. Yagüe Fabra, J.J. Aguilar Martín, J. Velázquez Sancho
Dpto. de Ingeniería de Diseño y Fabricación. Universidad de Zaragoza
jyague@unizar.es

Palabras clave: calidad, creatividad, mejora continua

En esta comunicación se describen las experiencias llevadas a cabo y los resultados obtenidos en una asignatura de la titulación de Ingeniería Industrial de la Universidad de Zaragoza con el objetivo de lograr fomentar la actitud creativa en los estudiantes de últimos cursos. Para ello, se han diseñado y puesto en práctica diversas actividades de aprendizaje basadas en el análisis y resolución de casos, trabajo en equipo, técnica puzzle y varias metodologías que persiguen implicar mucho más a los estudiantes en su aprendizaje mediante su participación activa y creativa constante. Además de ello, se han reconfigurado las clases magistrales transformándolas en mucho más participativas para los estudiantes, haciendo que sean ellos los que tomen el control.

Todo ello se ha aplicado en la asignatura “Calidad Industrial”, optativa de último curso de Ingeniería Industrial. Se trata de una asignatura muy adecuada, dado que entre los objetivos que se persiguen en ella se incluye el desarrollo de capacidades relacionadas con trabajo en equipo, mejora continua y otras que precisan de creatividad para ser exitosas. Se trata de una asignatura que prepara al estudiante para su labor profesional en empresa mediante su aprendizaje de diversas técnicas y herramientas que permiten el trabajo de manera estandarizada y ordenada, así como la mejora continua. No obstante, la Calidad es una idea transversal en las empresas, que implica a todos los trabajadores. Por ello, también se forma a los estudiantes en actitudes de relación interpersonal.

La innovación propuesta pretende mejorar los siguientes aspectos del aprendizaje de los estudiantes:

- Fomento de la actitud creativa e innovadora: los estudiantes reciben por parte del profesor una formación en la que se aplicará la creatividad en el modo de transmitir contenidos. Este es el primer paso. El siguiente consistirá en que los propios estudiantes lleven a cabo trabajo creativo que se aplicará al grupo completo.
- Actitud y aptitud ante el trabajo en equipo: la mayoría de las actividades a llevar a cabo suponen trabajo en grupos pequeños precedido por trabajo individual de preparación. En algunos casos se realiza un trabajo posterior en grupo grande.

Las actividades desarrolladas están enmarcadas en temática relacionada con la Calidad Industrial, como por ejemplo: Sistemas de Gestión de la Calidad (ISO 9001), Sistemas de Gestión Integral (incluyendo Gestión Medioambiental, etc.), Responsabilidad Social Empresarial, Modelo EFQM, Herramientas Calidad, etc.

En la comunicación se describen las actividades realizadas, así como los resultados de la evaluación posterior realizada por profesores estudiantes, así como la planificación de mejoras futuras

Referencias

- [1] J.A. Yagüe, J. Santolaria, J.A. Albajez, J.J. Aguilar, M.A. Lope. Experiencias de aprendizaje activo y mejora continua en dos asignaturas técnicas con grupos reducidos. V Congreso Iberoamericano de Docencia Universitaria, Castellón (2008).

Estudio sobre la baja presencia de mujeres en los estudios de ingeniería mecánica

F. Ferrando, P. Paleo, S. De la Flor, C. Urbina,

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universitat Rovira i Virgili
f.ferrando@urv.net

M. Gutiérrez-Colón

Dpto. de Filología Anglogermánica. Universitat Rovira i Virgili

Palabras clave: perspectiva de genero en ingeniería .

El Proyecto presente ha sido desarrollado en la Universitat Rovira i Virgili para evaluar las causas de la baja presencia de mujeres en las enseñanzas de Ingeniería Mecánica de la propia Universidad y establecer las bases para una mejor difusión de la enseñanza entre las alumnas de bachillerato tecnológico.

Después del análisis de los datos de matrícula en distintos centros tanto nivel estatal como extranjero, podemos afirmar que en campo de la Ingeniería Mecánica no se ha producido todavía una incorporación suficientemente significativa de mujeres que haya permitido el cambio y el enriquecimiento que han tenido otros ámbitos del conocimiento y de la tecnología. [1], [2].

Los objetivos operativos generales consisten al diagnosticar las causas que provocan esta baja demanda entre las alumnas de nuestro entorno y concretamente, identificar la imagen que tienen las estudiantes de bachillerato que escogen la rama científico-técnica, pero que finalmente no se decantan hacia los estudios de Ingeniería Mecánica.

El proyecto incorpora una fase inicial de entrevistas semiguías a distintas mujeres del colectivo de la ingeniería mecánica, desde estudiantes de primer curso hasta profesionales con dilatada experiencia laboral.

A partir de la información obtenida en la primera fase se ha procedido en la segunda fase a evaluar hasta qué punto las distorsiones respecto a la imagen están presentes en las alumnas de bachillerato tecnológico. Para hacer esto se ha generado un cuestionario para poder acceder a un elevado número de alumnos de los centros de las comarcas de Tarragona.

Los resultados de los cuestionarios han puesto de manifiesto diversos aspectos que deben formar parte del plan de mejora en la captación de alumnos en los centros de bachillerato.

El proyecto ha contado con una subvención del DASC - Departament d'Acció Social i Ciutadania, Institut Català de les Dones de la Generalitat de Catalunya dentro del programa "Subvencions per a treballs de recerca en matèria d'estudis de gènere i de les dones." Ref U-52/10.

Referencias

- [1] Pastor, I. Cent Anys de dones a la Universitat. Publicacions URV. 2011
- [5] López-Sáez, M.; Lisbona, A; Sáinz M. (2004), Mujeres ingenieras: percepciones sobre su vida profesional. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 57 (2), 161-180

Desarrollo de una carrocería de material compuesto de fibra de carbono para un coche de radiocontrol mediante la metodología de aprendizaje PBL

A. Gomendio Ruiz, J. Aurrekoetxea Narbarte

Dpto. de Mecánica y Producción Industrial. Mondragon Unibertsitatea
agomendio@mondragon.edu

Palabras clave: Ingeniería Industrial, PBL, Automoción, Diseño y cálculo, Fabricación, Ensayos

La estrategia de la Escuela Politécnica Superior de Mondragon Unibertsitatea (EPS-MU) para implementar la metodología PBL (*Problem or Project Based Learning*) en el segundo semestre de quinto curso de Ingeniería Industrial se articula alrededor de un proyecto multidisciplinar que integra asignaturas de diferentes áreas de conocimiento (Gestión de Proyectos, Materiales Poliméricos, Mecánica Estructural, Diseño y Cálculo de Elementos Estructurales e Ingeniería de Producto). Los equipos de trabajo están formados por estudiantes de las dos especialidades de las que dispone EPS-MU, *Mecánica Estructural* y *Materiales y Procesos*. El proyecto tiene dos vertientes complementarias, una académica en la que se evalúan las competencias científico-técnicas, y otra de competición que fomenta la motivación del alumnado y se utiliza para difundir al público el resultado del trabajo.

El objetivo consiste en desarrollar una carrocería en material compuesto reforzado con fibra de carbono para un coche de radiocontrol eléctrico a escala 1/18. El punto de partida es una plataforma estándar para todos, la cual incluye todo el sistema de tracción y dirección. Los aspectos que se deben desarrollar son:

- *Organización del equipo* de trabajo. Si bien hay hitos impuestos debido a la disponibilidad de los laboratorios de fabricación y ensayo, la concepción de las fases, responsabilidades de cada componente y mecanismos de coordinación deben ser definidos por cada equipo.
- *Styling* del coche, atendiendo a aspectos estéticos, ergonómicos, estructurales y de fabricación. Como resultado final de esta tarea cada equipo debe generar un modelo CAD 3D.
- *Diseño y cálculo estructural* de la carrocería. Los alumnos disponen de dos tipos de tejidos de fibra de carbono (unidireccional y bidireccional) y una resina epoxi para el diseño del material atendiendo a aspectos de rigidez específica. Deberán utilizar principios de micromecánica y el método de los elementos finitos para optimizar la rigidez a torsión y el peso.
- *Fabricación* de la carrocería. El proceso de fabricación consta de tres hitos diferentes; 1) la fabricación del molde mediante una impresora 3D, 2) el diseño de las preformas de los tejidos de fibra de carbono para su acoplamiento al molde sin desviarse del laminado definido en la fase de diseño, y 3) la fabricación mediante infusión de los prototipos. En esta fase se evalúan los costes asociados a la utilización de materias primas y tiempos de ciclo.
- *Ensayos* de verificación. Para clasificar todas las carrocerías se utiliza el BSE (*Body Structure Efficiency index*), que pondera la rigidez a torsión y la masa de la carrocería. La aerodinámica se caracteriza en el túnel el viento instrumentado, de tal forma que se pueden deducir los coeficientes C_x y C_y . Por último, tras el ensayo de impacto, se evalúa la seguridad en función de la deceleración y el nivel de intrusión en el habitáculo.

Por último, el día de San Pancracio, fiesta patronal de EPS-MU, se organizarán dos actos; 1) la exposición de los prototipos con sus fichas técnicas, durante la cual se realizará una encuesta de preferencia de compra entre el público asistente, y 2) una carrera entre todos los equipos participantes en el proyecto.

La Ingeniería de Protección contra Incendios a través de la Ingeniería Mecánica

A. Cantizano González, P. Ayala Santamaría, J.R. Jiménez-Octavio

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Pontificia Comillas de Madrid (ICAI)
Alexis.Cantizano@upcomillas.es

A. Rojo Garrido

Asociación de Profesionales de Ingeniería contra Incendios (APICI)

Palabras clave: Combustión, Mecánica de Fluidos, Estructuras, Resistencia de Materiales

La Universidad Pontificia Comillas junto a la Asociación de Profesionales de Ingeniería contra Incendios (APICI) ofrecen un máster en Ingeniería de Protección contra Incendios dada la necesidad de profesionales debidamente formados en este sector.

Desde el Departamento de Ingeniería Mecánica se pretende incluir los fundamentos académicos de este campo como parte de asignaturas como la Mecánica de Fluidos o la Transmisión de Calor, así como en la Resistencia de Materiales o la Teoría de Estructuras.

Asimismo, se ha creado una nueva línea de investigación en la Universidad para realizar estudios sobre el comportamiento del humo en grandes espacios como centros comerciales, aeropuertos o halls de edificios singulares. El humo es la principal causa de muerte en los incendios y además, en este tipo de espacios el número posible de afectados es muy elevado.

Hoy día existen numerosas herramientas de simulación numérica de fluidos (CFD) que permitirían el modelado del problema descrito. Sin embargo, se han desarrollado algunas más específicas para la resolución de este tipo de problemas de forma más precisa y fiable, tales como FDS (Fire Dynamics Simulator) o el módulo de FireFoam de OpenFoam.

El diseño y cálculo de estructuras bajo cargas de fuego conforma indudablemente un área tan complementaria como sinérgica a las líneas expuestas previamente. Desde esta perspectiva también se han iniciado: por una parte el estudio de la interacción fuego-estructura y concretamente el modelado de cargas térmicas bajo las características dinámicas del fuego aplicando MEF (modelos de elementos finitos); y por otra parte el desarrollo de algoritmos metaheurísticos para el diseño óptimo de estructuras sencillas sometidas a las cargas mencionadas.

La Universidad, de esta forma, a través del Departamento de Ingeniería Mecánica pretende colaborar en la difusión del conocimiento de este sector muy poco reconocido en los diversos programas de Ingeniería. Y así junto con APICI, pretende contribuir al impulso del sector de la Protección contra Incendios, mediante este máster único en España, desde la aportación de profesionales con una formación eficiente y de calidad.

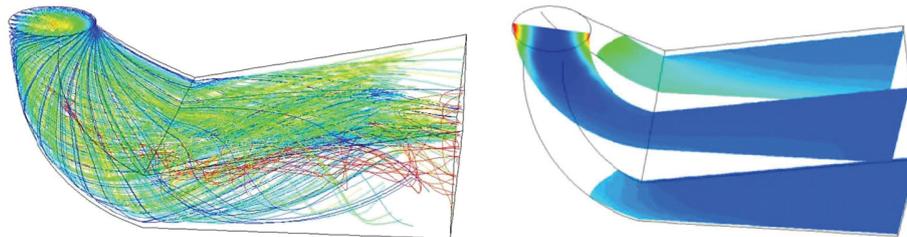
Procedimiento didáctico para el análisis de los difusores en las turbinas hidráulicas, mediante la utilización de Matlab y de herramientas CFD

J.L. Vicéns Moltó, B. Zamora Parra, A. Sánchez Kaiser

Dpto. de Ingeniería Térmica y de Fluidos. Universidad Politécnica de Cartagena
blas.zamora@upct.es

Palabras clave: CFD, MATLAB, Educación en Ingeniería, Turbinas hidráulicas, Tutor facilitador

En este trabajo, se expone parte de la experiencia alcanzada en la docencia de la asignatura *Energía Hidráulica y Maremotriz* en el *Máster de Energías Renovables* de la Universidad Politécnica de Cartagena. Los alumnos proceden de diversas titulaciones técnicas, y presentan por tanto conocimientos dispares en disciplinas tales como la *Mecánica de Fluidos*. Suelen inclinarse hacia Trabajos Fin de Máster con una fuerte componente numérica o computacional, lo que a menudo deriva hacia una utilización de códigos que son tratados como auténticas “cajas negras”. Se presenta un procedimiento didáctico encaminado a propiciar un acercamiento amistoso de los estudiantes a la Energía Hidráulica, centrando la atención en el estudio y en el diseño de las *turbinas hidráulicas* [1] utilizando herramientas CFD [2]. Se pretende así abrir una vía para la investigación en este campo, que pueda desarrollarse a través del Trabajo Fin de Máster, y posteriormente con el Doctorado. En concreto se analiza el comportamiento del *tubo de aspiración* o *tubo difusor*, como elemento típico de las turbinas hidráulicas, de cuyo buen funcionamiento depende en buena medida la optimización energética del recurso hidráulico.



El profesor debe convertirse en este procedimiento en una figura clave: el *Tutor Facilitador*. En primer lugar, el Tutor debe exponer una introducción a la CFD con el objetivo de homologar conceptos. Se presta especial atención en promover la utilización articulada de códigos; se omite el “estudio de los tutoriales” de estas aplicaciones (se evita de esta manera el consumo de ECTS del alumno en un “conocimiento general” que en ocasiones termina no aplicándose). A continuación, MATLAB se utiliza para el cálculo de los parámetros de diseño, mediante programas tipo *script* (abiertos, para que el alumno identifique los pasos argumentales). El Tutor facilita la exportación a un programa mallador (por ejemplo, Gambit), para la confección razonada, paso a paso, de la malla de cálculo. Finalmente, el Tutor presenta unas “hojas de ruta” para el manejo puramente instrumental del código ANSYS-FLUENT, estructurado como respuesta operativa al esquema teórico del pre-proceso, proceso y post-proceso. El alumno puede elegir entre un catálogo de mallas y simulaciones ya efectuadas, para poder explorar distintas posibilidades de simulación, orientadas al estudio paramétrico del comportamiento del tubo difusor.

Referencias

- [1] H. C. R. Krishna, Hydraulic design of hydraulic machinery, Avebury, Aldershot, 1997.
- [2] B. Zamora, A.S. Kaiser, P.G. Vicente. Improvement in learning on fluid mechanics and heat transfer courses using computational fluid dynamics, Int . J. Mech. Eng. Educ., 38 (2010), 147-166.

Experiencia Didáctica en el Laboratorio de Materiales del Centro de Asimilación Tecnológica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

M. Pineda Becerril, A. Aguilar Márquez, J. Axotla García, O. García León

*Dpto. de Matemáticas. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM
mnazarethp@fesc.unam.mx*

F. León Rodríguez

*Dpto. de Química. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM
fridam@unam.mx*

Palabras clave: ciencia de los materiales, dureza, superficie de respuesta

Consideramos que hacer uso de diferentes estrategias metodológicas promueve la aceptación por parte de los estudiantes de utilizar métodos distintos a los tradicionalmente utilizados, es por ello que resulta de mayor importancia desarrollar los cursos de materiales, presentando aplicaciones a asignaturas del área profesional que paralelamente estén cursando los estudiantes. En este contexto se seleccionó un grupo de estudiantes que cursaban ciencia de los materiales y también la materia de diseño experimental, a los que se les planteó el problema de determinar cuales serían las condiciones de un tratamiento de temple para un determinado tipo de acero, que permita aumentar su dureza y determinar ésta en todo el rango experimental, es decir modelar su respuesta.

Se les solicitó que antes de realizar cualquier prueba, indicaran las variables de interés para alcanzar el resultado óptimo, propusieron los materiales y métodos a utilizar a fin de que los resultados sean válidos. De acuerdo al conocimiento generado en clase, los alumnos determinaron fácilmente que las variables de interés eran el tiempo de permanencia del acero en la mufla, que debería estar entre 5 y 35 horas y la temperatura debería estar entre 300 y 1050°C, por lo que decidieron realizar el trabajo experimental a 4 niveles de tiempo (5, 15, 25 y 35 horas) y 4 niveles de temperatura (300, 550, 800 y 1050°C), por lo que se tuvieron 16 puntos experimentales y decidieron repetir tres veces cada tratamiento experimental para cada uno de los puntos, con la finalidad de poder medir la variabilidad experimental, por lo cual se prepararon 48 probetas. La secuencia de prueba en el durómetro Vickers fue al azar, para repartir en forma aleatoria la variación experimental. A partir de los 16 puntos experimentales, se realizaron ajustes polinomiales para conocer la respuesta en todo el rango experimental. Dentro de los aspectos relevantes producto de la experiencia resalta el hecho de que los estudiantes consideran haber realizado un trabajo con mayor profundidad y claridad en comparación de las ocasiones cuando habían resuelto prácticas solamente demostrativas; ya que entre ellos pudieron resolver la mayor parte de sus dudas y retroalimentar cada uno de los conceptos incluidos en la misma.

Exposiciones orales como propuesta de mejora de la competencia lingüística en Ingeniería Mecánica

José Martínez-Casas, Francisco D. Denia, Luis Baeza, Eugenio Giner

*Centro de Investigación de Tecnología de Vehículos, Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022-Valencia
jomarc12@mcm.upv.es*

Palabras clave: Metodología activa, exposición oral, autoevaluación, competencia lingüística, rúbrica, trabajo en grupo

Actualmente en la universidad se están llevando a cabo grandes cambios educativos con el fin de desarrollar un espacio europeo de educación superior (EEES) [1]. Con estos cambios se pretende fundamentalmente transformar las metodologías tradicionales de enseñanza-aprendizaje en metodologías activas en las que el profesor ceda parte del protagonismo al alumnado, asumiendo éste un rol más activo y participativo. Para llevar a cabo esta convergencia educativa, el profesorado se encuentra inmerso en un proceso de cambio en todas sus actividades docentes, que va desde la planificación de las asignaturas y actividades según competencias [2] hasta sistemas de evaluación formativa que ofrezcan posibilidad de realimentación al alumnado, pasando por metodologías activas de enseñanza-aprendizaje que garanticen un aprendizaje significativo.

Teniendo presente que una de las mayores necesidades del mercado laboral actual es que se mejore la competencia de la oratoria en los titulados universitarios, en el presente trabajo se ha desarrollado una innovación docente basada en exposiciones orales por parejas sobre el temario de la asignatura [3]. Todas las presentaciones orales serán grabadas con la finalidad de proporcionar a los alumnos una herramienta de *feedback* que les ayude a retroalimentarse para mejorar sus competencias orales a la vez de promover la autocritica y la autoreflexión. La evaluación de las exposiciones se llevará a cabo mediante autoevaluación entre compañeros a partir de rúbricas. La metodología propuesta ha sido implementada en las asignaturas de Integridad Estructural de Sistemas Mecánicos (5º curso de la titulación de Ingeniero Aeronáutico) y en Comportamiento Mecánico de Materiales – Plasticidad (1º curso de la titulación de Ingeniero de Materiales). Los objetivos perseguidos con la metodología propuesta son hacer la clase más dinámica y participativa, activar al alumnado, promover que lleven la asignatura al día, mejorar su competencia lingüística, fomentar el trabajo en grupo e incentivar una actitud crítica y reflexiva.

Una vez implementada la innovación se evalúan el grado de cumplimiento de cada uno de los objetivos y los recursos con los que se han conseguido, finalizando con una serie de aspectos positivos y de mejora referentes a la innovación.

Referencias

- [1] M. A. Zabalza Beraza. Innovación en la Enseñanza Universitaria: el proceso de convergencia hacia un Espacio Europeo de Educación Superior, *Educação*, (2008), 199-209.
- [2] C. Y. Álvarez de Eulate, L. V. Gallego. Planificar desde competencias para promover el aprendizaje. El reto de la sociedad del conocimiento para el profesorado universitario, Cuadernos monográficos del ICE, Universidad de Deusto (Bilbao), (2006).
- [3] A. Bados. Hablar en público: Guía práctica para lograr habilidad y confianza, Pirámide, Madrid, (1991).

La asignatura Metodología de la Investigación Tecnológica. Una experiencia cubana en la formación del Ingeniero Mecánico

Ing. F. Cavas-Martínez

Dpto. de Expresión Gráfica. Universidad Politécnica de Cartagena
francisco.cavas@upct.es

Dr. A. Iznaga Benítez

Decano. Facultad de Ingeniería Mecánica. CUJAE
icznaga@mecánica.cujae.edu.cu

Dra. M^a C. Pérez Lazo de la Vega, Dr. F. Acosta Ruiz

Dpto. Gráfica de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Mecánica. CUJAE
mperez@mecanica.cujae.edu.cu, facosta@mecanica.cujae.edu.cu

Palabras clave: metodología de la investigación, tecnológica, ingeniería, asignatura, formación

Aunque con diferencia de enfoque y de nombres, existe hoy una marcada tendencia a considerar necesaria la inclusión de ciertos contenidos de Metodología de la Investigación, en el currículo de los estudios de postgrado para la titulación de Magister o Doctorado. Sin embargo, resulta un tanto contradictorio que una asignatura de semejantes objetivos no se incluya en el currículo de pregrado de las universidades, en concordancia con la presencia de la componente investigativa que se declara en los planes de estudio.

Este trabajo tiene como objetivo propiciar el intercambio de experiencias en torno a la introducción de la asignatura “Metodología de la Investigación”, en sus componentes Científica y Tecnológica”, incluida en el currículo de las carreras de ingeniería en Cuba, tomando como referencia los resultados en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, de La Habana, conjugada con la disciplina integradora denominada “Proyecto de Ingeniería Mecánica” (PIM), que se imparte en los años 3º y 4º de la carrera, hasta concretarse en el Trabajo de Diploma de culminación de estudios.

La investigación tiene su génesis en el curso 2002-03 y se desarrolló según las siguientes etapas: aplicación del programa de la asignatura MIC indicado por la Comisión de Carrera; diagnóstico para valorar su aplicación; elaboración de la estrategia didáctica para la formación y desarrollo de habilidades investigativas; puesta en práctica y valoración de resultados; análisis de las transformaciones a considerar en la asignatura, incluyendo su concreción actual, bajo la denominación de Metodología de la Investigación Tecnológica (MIT).

La puesta en práctica ha permitido evidenciar la formación y desarrollo de estas habilidades, a un nivel básico, en las asignaturas PIM I y PIMII, así como en el trabajo de diploma, y toma en consideración los cursos 2002 al 2011, siendo la planificación de la investigación que desarrolla el estudiante en estos proyectos, el principal logro alcanzado.

Finalmente, contando con la colaboración de colegas españoles, ha sido posible realizar un análisis de las Guías Docentes de la mayoría de las universidades españolas –consideradas como modelo referente– con el objetivo de conocer si existían resultados de experiencias similares, y esto permitió constatar que la inclusión de asignaturas homólogas (MIC o MIT) no se relacionan en los currículos vigentes de los cursos 2010 al 12. En este sentido, la ponencia propicia que en el marco del evento sea posible debatir e intercambiar opiniones respecto a esta experiencia.

Formación en competencias a través de la evaluación formativa de informes de prácticas en asignaturas de ingeniería mecánica

Paloma Vila, José Martínez-Casas, Ana Vercher, Luis Baeza

Centro de Investigación de Tecnología de Vehículos, Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022-Valencia
mavitor2@upvnet.upv.es

Palabras clave: formación en competencias, informe técnico, evaluación formativa, aprendizaje significativo, aprendizaje cooperativo, rúbricas holísticas y analíticas

Las nuevas tendencias en la educación superior, surgidas a raíz de la declaración de Bolonia y de El Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), ponen mayor énfasis en la formación en competencias y atribuyen al alumno el papel principal en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Adicionalmente, obligan al profesorado universitario a la búsqueda de nuevas estrategias dirigidas a que el alumno desarrolle tanto las competencias específicas propias de su perfil profesional como competencias genéricas. Una de las competencias genéricas comunes a todas las titulaciones de ingeniería es la capacidad de comunicar eficazmente, tanto a nivel oral como escrito. Sin embargo, tradicionalmente, la adquisición de competencias genéricas por parte de los alumnos se ha dado por supuesta, sin que se incidiera en una adecuada formación y evaluación de las mismas. Un ejemplo de formación y evaluación de competencias es el que ofrecen numerosas universidades estadounidenses que han acreditado sus titulaciones de ingeniería a través de la agencia de calidad *ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology)*, cuyos criterios generales para otorgar la acreditación a programas de ingeniería incluyen la competencia de comunicar eficazmente [1].

En este artículo, reflejamos la experiencia de los autores en la evaluación formativa [2] de las prácticas de laboratorio informático a través de la redacción de informes técnicos de prácticas de las asignaturas Integridad Estructural de Sistemas Mecánicos y Diseño de Máquinas II, de las titulaciones Ingeniero Aeronáutico e Ingeniero Técnico Industrial (especialidad Mecánica), respectivamente. Ambas asignaturas, pertenecientes al último curso, emplean el programa informático de elementos finitos *ANSYS* en las sesiones de prácticas. La evaluación de informes de prácticas rara vez proporciona información valiosa al alumnado sobre la evolución de su proceso de aprendizaje. Sin embargo, en la innovación docente propuesta, la evaluación formativa mediante rúbricas holísticas y analíticas diseñadas por los autores permite que el alumno reciba información (*feedback*) referente al grado de cumplimiento de los objetivos de aprendizaje a lo largo del curso. De tal modo, los objetivos de la innovación docente que se describe son los siguientes: en primer lugar, formar a los alumnos en la competencia de comunicar eficazmente a nivel escrito mediante la elaboración de informes técnicos; fomentar la estructuración de ideas, el razonamiento crítico y aprendizaje significativo al obligar al alumno a pensar acerca del problema resuelto en la sesión de prácticas informáticas como paso previo al proceso de escritura; identificar las deficiencias de aprendizaje y las posibilidades de corrección durante el curso mediante la realimentación de la evaluación formativa; y finalmente, promover el aprendizaje cooperativo, al plantear la redacción de informes de prácticas como un trabajo en grupos de dos alumnos.

Referencias

- [1] L. J. Shuman, M. Besterfield-Sacre, J. McGourty. The ABET “Professional Skills”—Can they be taught? Can they be assessed?, *Journal of Engineering Education*, 94 (1) (2005), 41-55.
- [2] B. S. Bloom, G. F. Madaus, J. T. Hastings. *Evaluation to Improve Learning*, New York: McGraw-Hill, (1981).

Método de control dimensional en la fabricación de una célula de troquelado como experiencia educativa en entorno e-Manufacturing

J.M. Herrera Olivenza, D. Rodríguez Salgado, I. Cambero Rivero

*Dpto. de Ingeniería Mecánica Energética y de los Materiales. Universidad de Extremadura
jherrera@unex.es*

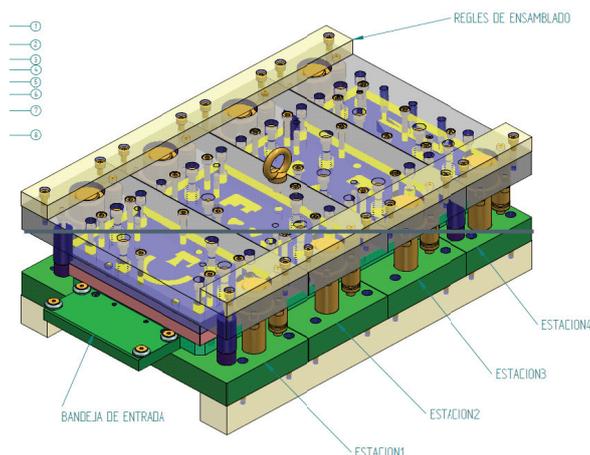
F. Morillo Tena

C.I.P.F.P. Ciudad del Aprendiz, Valencia

Palabras clave: Formación, Control, Inspección, STL, Troquelado

En el marco de un proyecto colaborativo y formativo participado por diversos centros de formación profesional, universidad y empresas, el presente trabajo pretende plantear, como experiencia educativa, un método de control dimensional partiendo de la definición de puntos críticos de control. La finalidad es establecer estándares de ajuste que permitan la realimentación de información entre los participantes del proyecto, en el marco de la fabricación de una célula de troquelado en varias etapas.

La sistemática consiste en la detección de estos puntos de control, valores que surgen del modelo CAD. Posteriormente se captura información, de la propia célula de troquelado o de las piezas resultantes del proceso. El método de captura es la digitalización 3D con y sin contacto.



Los resultados de la digitalización son los ficheros STL de los puntos de control. A continuación se inicia un proceso de inspección y medición entre el fichero STL procedente del patrón, esto es, el modelo CAD, y el fichero STL procedente de la digitalización.

Referencias

- [1] J.C. Ferreira, A. Mateus, A Numerical experimental study of fracture in RP stereolithography patterns and ceramic shells for investment casting. Journal of Materials Processing Technology, Volume 134, Issue 1, (2003), 135-144.
- [2] W.X. Li and L.D. Mitchell. Laser scanning system testing—errors and improvements. Measurement 16 (1995) (2), pp. 91-101.



Historia de las Máquinas y los Mecanismos

Recopilación de documentación histórica sobre Ingeniería Mecánica para el Proyecto Europeo thinkMOTION

J. Aginaga García, V. Petuya Arcocha, O. Altuzarra Maestre, Ch. Pinto Cámara, A. Hernández Frías

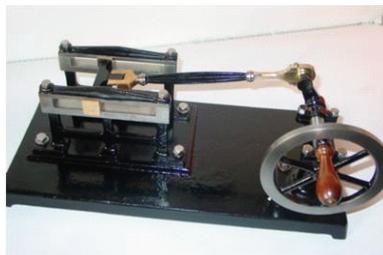
*Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco
jokin.aginaga@ehu.es*

J.C. Pérez Cerdán, M.A. Lorenzo Fernández

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de Salamanca

Palabras clave: Ingeniería Mecánica, Librería Digital, Restauración de Mecanismos

El proyecto thinkMOTION (www.thinkmotion.eu), como parte de Europeana, tiene como objetivo crear la mayor biblioteca digital de libre acceso del mundo sobre contenidos en el campo de las máquinas y mecanismos. Su objetivo es mantener y hacer accesible la herencia tecno-cultural y la evolución actual de máquinas y mecanismos a una amplia gama de grupos de usuarios europeos, como ingenieros, científicos, profesores y estudiantes. El material recogido será procesado y almacenado en una base de datos mediante una aplicación informática [1] y se presentará de inmediato en un portal multilingüe interactivo a través de Europeana. De este modo, se pretende realizar la primera publicación de tesoros olvidados en honor al genio creativo de innumerables inventores e ingenieros europeos, que han permitido el progreso técnico y nuestro alto nivel de vida. Es tiempo de aceptar que el patrimonio cultural europeo no sólo se define por las obras de arte o los ensayos filosóficos y religiosos, sino también por la evolución técnica. En la base de datos se está introduciendo tanto documentación actual como pueden tesis doctorales o publicaciones en congresos o revistas, como documentación histórica sobre el desarrollo de la tecnología de máquinas y mecanismos o biografías de personalidades relevantes. También se incluyen modelos cinemáticos de mecanismos, que pueden incluir fotos, videos e incluso modelos interactivos. Una de las universidades participantes es la Universidad del País Vasco (UPV-EHU), que debe encargarse de la recopilación concerniente a máquinas y mecanismos en España, Portugal y Latinoamérica. De cara a la recopilación de información, se ha contactado con diferentes universidades españolas que pudieran ofrecer documentación de interés para el portal digital. Una fuente muy interesante de información ha sido la obtenida a través de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial (Béjar) de la Universidad de Salamanca, en la que se están restaurando mecanismos fabricados por Max Kohl hace aproximadamente un siglo. Tal como se ve en la imagen, se trata de mecanismos cuya finalidad es fundamentalmente didáctica, pues ilustran con claridad y sencillez el movimiento y las relaciones cinemáticas de los distintos eslabones.



Referencias

[1] U. Döring, T. Brix, M. Reeßing. Application of computational kinematics in the digital mechanism and gear library DMG-Lib, *Mechanism and Machine Theory*, 41(8) (2006), 1003-1015.

Las herramientas de Ingeniería Asistida aplicadas a la Historia de las Máquinas y Mecanismos. Recuperación virtual de un molino hidráulico

R. López-García, R. Dorado-Vicente, J. Vasco-Olmo, E. López-Alba
Dpto. de Ingeniería Mecánica y Minera. Universidad de Jaén
rlgarcia@ujaen.es

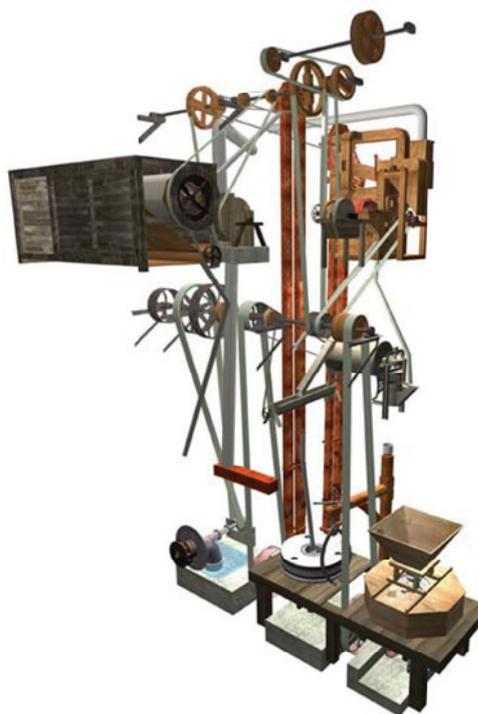
Palabras clave: Arqueología Industrial, Historia de Máquinas y Mecanismos, molino hidráulico, modelo geométrico, animación por ordenador, diseño mecánico.

La aplicación de las modernas herramientas de Diseño e Ingeniería Asistida por Ordenador, en el estudio de la Historia de las Máquinas y Mecanismos, para su recuperación y análisis, permite no solo el modelado y reconstrucción gráfica para su simulación y recuperación virtual, sino que puede servir de partida para su análisis tecnológico mediante los módulos de diseño mecánico que incorpora.

De esta manera se puede hacer una aproximación a los parámetros de diseño empleados y los medios y técnicas de fabricación de que disponían sus artesanos y maestros “ingenieros”.

El presente artículo muestra un recorrido histórico-gráfico por los ingenios hidráulicos desarrollados desde la época romana hasta mediados del siglo XX que transformaban la energía del agua en energía mecánica útil para accionar las piedras de moler de los antiguos molinos harineros de accionamiento hidráulico.

A continuación, se realiza la reconstrucción gráfica y animación por ordenador de un caso concreto, utilizando herramientas de diseño e ingeniería asistida, que ayuden al análisis funcional, hidráulico, resistente y cinemático del ingenio y nos permitan obtener, parámetros de diseño y funcionamiento, tipologías, técnicas empleadas, medios y materiales utilizados y planos de detalle y del conjunto, de un típico molino hidráulico harinero del sur de España que estuvo funcionando hasta mediados del siglo XX.



Referencias

- [1] Bautista, E.; Bernardos, R.; Ceccarelli, M.; Díaz Lantada, A.; Díaz López, V.; Echávarri, J.; Lafont, P.; Leal, P.; Lorenzo, H.; Muñoz García, J.; Muñoz Guijosa, J.; Muñoz Sanz, J.L.; Breve historia ilustrada de las máquinas. ETSII, UPM, 2007
- [2] R. López-García. Molinos Hidráulicos. Apuntes de Historia y Tecnología. Alcalá grupo editorial y distribuidor de libros. Alcalá la Real. (2006)
- [3] Rojas-Sola, J.I., López-García, R. Engineering Graphics and Watermills: Ancient technology in Spain. Renewable Energy, Vol. 32 pp. 2019-2033. 2007.



Ingeniería de Fabricación

Análisis del Efecto Tamaño en el microfresado

P. Rodríguez Mateos, J. Labarga Ordóñez

Dpto. de Ingenierías Mecánica, Informática y Aeroespacial. Universidad de León
pablo.rodriguez@unileon.es

Palabras clave: Microfresado, Modelo de Fuerzas, Efecto Tamaño

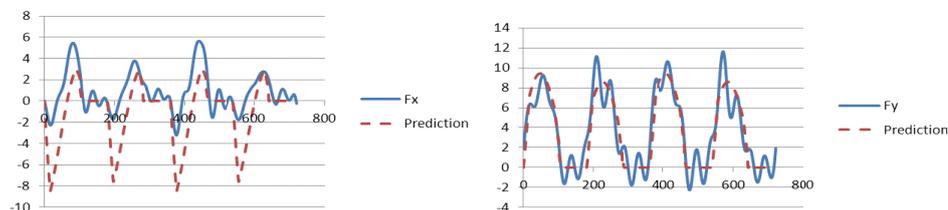
En el presente trabajo se pretende iniciar el desarrollo de un modelo analítico de fuerzas en operaciones de microfresado considerando los factores más relevantes que influyen en el proceso. Se considera que el efecto tamaño es un factor importante, ya que en este tipo de operaciones el espesor de viruta es comparable al radio de redondeo del filo. Este efecto modifica los ángulos de entrada y salida de los fillos en la pieza y a su vez modifica las fuerzas en comparación con los valores que tienen lugar en el proceso convencional. El factor se ha analizado para dos tipos de microfresado: en contraposición y en concordancia. Los resultados experimentales muestran un buen ajuste con el modelo. El modelo propuesto en este trabajo es de aplicación a la monitorización del proceso, así como a su control adaptativo.

La microfabricación ha sido ampliamente utilizada para la obtención de dispositivos neurovasculares, micro-engranajes y micromoldes, entre otras aplicaciones [1]. Muchas de estas piezas son metálicas, por lo que el microfresado es uno de los métodos más adecuados para obtenerlas [2].

El efecto tamaño provoca que los fillos no empiecen a cortar hasta que el espesor de viruta alcanza un cierto valor. Este valor puede calcularse multiplicando el radio del filo por una constante de proporcionalidad experimental λ_c , como se indica a continuación:

$$t_{c\min} = \lambda_c \cdot r_e$$

Esto hace que los ángulos de entrada o salida del filo en la herramienta sean diferentes de los que tienen lugar en fresado convencional. El modelo incluye, por tanto, un algoritmo para el cálculo de los ángulos de entrada y salida de los distintos fillos de la herramienta.



En la figura se muestran los resultados de la predicción de fuerzas y mediciones experimentales con los siguientes parámetros: $D = 0.6$ mm, $\lambda_s = 30^\circ$, $f_z = 0.004$ mm, $a_e = 0.3$ mm, $a_p = 0.15$ mm, $n = 21221$ r.p.m. Material Acero AISI 1015. Fresado en concordancia.

Referencias

- [1] H. Pérez, A. Vizán, J.C. Hernandez, M. Guzmán, Estimation of cutting forces in micromilling through the determination of specific cutting pressures, *J. Mater. Process. Technol.* 190 (2007) 18-22.
- [2] E. Brousseau, S. Dimov, D. Pham, Some recent advances in multi-material micro- and nano-manufacturing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* 47 (2010) 161-180.

Modelo de Deflexión de herramienta en el Microfresado

P. Rodríguez Mateos, J. Labarga Ordóñez

Dpto. de Ingenierías Mecánica, Informática y Aeroespacial. Universidad de León
pablo.rodriguez@unileon.es

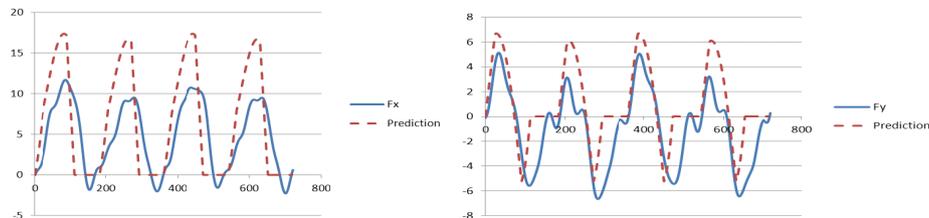
Palabras clave: Microfresado, Modelo de Fuerzas, Deflexión de herramienta

En el presente trabajo se inicia el desarrollo de un modelo analítico de fuerzas en operaciones de microfresado considerando los factores más relevantes que influyen en el proceso como la deflexión de la herramienta. Este factor ya se ha estudiado en el fresado convencional, pero su no inclusión hasta el momento en el microfresado limita la validez de los modelos mecanísticos. Se propone un modelo para la consideración de la deflexión de herramienta de una manera sencilla y computacionalmente asequible. Se ha aplicado a dos tipos de fresado frontal: en contraposición y en concordancia. Los resultados experimentales muestran un buen ajuste con la predicción de fuerzas. El modelo propuesto en este trabajo es de aplicación a la monitorización del proceso, así como a su control adaptativo.

La microfabricación ha sido ampliamente utilizada para la obtención de dispositivos neurovasculares, micro-engranajes y micromoldes, entre otras aplicaciones [1]. Muchas de estas piezas son metálicas, por lo que el microfresado es uno de los métodos más adecuados para obtenerlas [2].

Para el cálculo de la deflexión de herramienta se considerará que es un elemento elástico sujeto mediante un empotramiento en su parte superior y sometido a una fuerza uniformemente distribuida a lo largo del tramo final, correspondiente a la profundidad axial de corte a_p . La fuerza situada en esa posición provocará un perfil de deformación lineal en la herramienta, del que el valor máximo corresponderá al extremo inferior. La siguiente expresión, tomada del análisis elástico de una viga en las condiciones indicadas, proporciona la desviación que tiene lugar en ella bajo la acción de una fuerza F_T :

$$d(z) = \left(1 - \frac{1-C}{a_p} \cdot z \right) \cdot \frac{F_T}{M}$$



En la figura se muestran los resultados de la predicción de fuerzas y mediciones experimentales con los siguientes parámetros: $D = 0.6 \text{ mm}$, $\lambda_s = 30^\circ$, $f_z = 0.004 \text{ mm}$, $a_e = 0.3 \text{ mm}$, $a_p = 0.20 \text{ mm}$, $n = 26526 \text{ r.p.m.}$ Material Aluminio 7075. Fresado en contraposición.

Referencias

- [1] H. Pérez, A. Vizán, J.C. Hernandez, M. Guzmán, Estimation of cutting forces in micromilling through the determination of specific cutting pressures, J. Mater. Process. Technol. 190 (2007) 18-22.
- [2] E. Brousseau, S. Dimov, D. Pham, Some recent advances in multi-material micro- and nano-manufacturing, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 47 (2010) 161-180.

Comparativa del proceso de bruñido con bola en máquinas de 3 y 5 ejes en piezas de aluminio A92017 y A96351

J.A. Travieso Rodríguez, G. Gómez Gras, A.E. Nápoles Alberro, A.J. Sánchez Egea, H.A. González Rojas

*Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universitat Politècnica de Catalunya
antonio.travieso@upc.edu*

J.L. Huertas Talón

Dpto. de Ingeniería de Diseño y Fabricación. Universidad de Zaragoza

Palabras clave: Bruñido con bola, rugosidad superficial, mecanizado

La fuerte competencia y exigencias del mercado en la industria general y concretamente en el ámbito de la fabricación mecánica hacen cada vez más necesario el uso de tecnologías avanzadas y el estudio de métodos de trabajo más efectivos y precisos. En este sentido, el mecanizado de superficies con geometrías complejas se ve claramente afectado, ya que la mayor parte de componentes mecánicos, especialmente en los sectores de la automoción, aeroespacial, de los moldes y las matrices, están diseñados con alguna superficie difícil de tratar por los sistemas habituales de fabricación, como el rectificado, además de exigir un elevado grado de calidad superficial y unas buenas propiedades mecánicas. Estas dificultades se pueden solventar mediante un proceso de bruñido con bola [1].

En este trabajo se estudiarán las aplicaciones de este proceso para el mecanizado de superficies complejas [2] partiendo de una serie de experimentos que se realizarán sobre probetas cóncavas y convexas de dos aluminios (A92017 y A96351). Para ello, se han bruñado las piezas en dos fresadoras CNC una de 3 ejes y otra de 5 ejes. El objetivo de este artículo es comparar los resultados obtenidos tras el mecanizado en ambas máquinas, donde la relación de perpendicularidad entre la aplicación de la fuerza de bruñido y la superficie de la pieza cambia. Las circunstancias cinemáticas no afectan el poder utilizar la herramienta de bruñido en ningún caso puesto que se bruñen superficies pequeñas para que esto no sea una limitación. A partir de aquí se recomiendan valores óptimos de los parámetros a utilizar así como una estrategia de procesado. Se concluye que los resultados de la rugosidad superficial obtenidos con el proceso de bruñido realizado en la máquina de 5 ejes son al menos un 30% mejor respecto a una máquina de 3 ejes.

Referencias

- [1] López de la calle, L. N.; Lamikiz, A.; Sánchez, J.A; Arana, J.L. The effect of ball burnishing on heat-treated steel and Inconel 718 milled surfaces, (2007), Int. J. Adv. Manuf. Technol, Vol.30, 958-968.
- [2] Travieso-Rodríguez, J. A.; Dessenin, G.; González-Rojas, H. A., 2011. Improving the Surface Finish of Concave and Convex Surfaces Using a Ball Burnishing Process. Materials and Manufacturing Processes, Vol. 26, Iss. 12 (2011), 1494-1502.

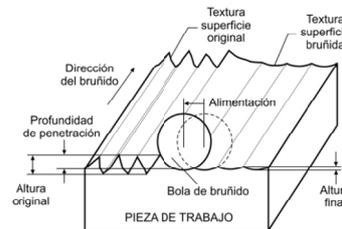
Influencia de la altura de cresta del mecanizado previo sobre la rugosidad obtenida con el bruñido

H.A. González Rojas, J.A. Travieso Rodríguez, A.J. Sánchez Egea
G. Gómez Gras, A.E. Nápoles Alberro,

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universitat Politècnica de Catalunya
antonio.travieso@upc.edu

Palabras clave: Bruñido con bola, rugosidad superficial, mecanizado

Moldes, matrices, piezas para la industria aeronáutica y de automoción y muchas otras con importantes prestaciones, enfrentan continuamente a los ingenieros con la problemática de conseguir calidades superficiales que minimicen la fricción, optimicen los ajustes, mejoren la dureza superficial y las tensiones superficiales a compresión. Dentro de los múltiples procedimientos existentes para mejorar el acabado superficial destaca el bruñido con bola, con el que se han podido obtener valores de rugosidad recomendables en usos diversos, así como altos valores de dureza y tensiones residuales en capas más o menos profundas. El proceso de Bruñido, como se muestra en la siguiente figura, es una operación tecnológica que consiste en deformar plásticamente las irregularidades de una superficie para mejorar el acabado superficial, por la acción de la fuerza ejercida por un cilindro o bola (Travieso-Rodríguez, J.A. et al, 2011).



El objetivo es realizar un análisis de la influencia de la altura de cresta del fresado previo en la rugosidad superficial resultante del proceso de bruñido con bola en piezas cóncavas y convexas de dos aluminios (A92017 y A96351). El fresado se realiza con una fresa de bola de 8mm que gira a una velocidad de 3000min^{-1} , con una profundidad de corte de 1mm y 3 valores de avance para 3 condiciones diferentes, que dejan una altura de cresta de: 0,02mm; 0,06mm y 0,10mm. La aportación fundamental del estudio son las recomendaciones en cuanto a estrategias para bruñir este tipo de piezas. El trabajo se basa en datos experimentales, donde a través de técnicas de DOE, se realizan diferentes experimentos en los que se mide la rugosidad en las direcciones paralela y perpendicular al fresado previo. Se comparan los resultados y se realiza un análisis de cómo incide la altura de la cresta dejada por el mecanizado previo, sobre los valores de rugosidad obtenidos. Al final se pudo concluir que la altura de cresta del mecanizado previo al bruñido influye sobre la rugosidad dejada por dicho proceso. Las mejoras están entre un 33 y un 71% dependiendo de la estrategia seguida en el bruñido y de la geometría de la pieza, pero la influencia no es precisamente lineal como se podría pensar. Además se dan recomendaciones sobre los parámetros de corte óptimos a utilizar en las geometrías estudiadas.

Referencias

- [1] Travieso-Rodríguez, J. A.; Dessein, G.; González-Rojas, H. A., 2011. Improving the Surface Finish of Concave and Convex Surfaces Using a Ball Burnishing Process. *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 26, Iss. 12 (2011), 1494-1502.
- [2] Fang-Jung Shiou & Cuhien-Hua Chen. Freeform surface finish of plastic injection mould by using ball-burnishing process. *Journal of Materials Processing Technology* (2003), 140, 248-254.

Caracterización del movimiento de un escáner 2D para el guiado de un haz láser

E. Ukar, A. Lamikiz, S. Martínez, I. Tabernero

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco UPV/EHU
Eneko.ukar@ehu.es

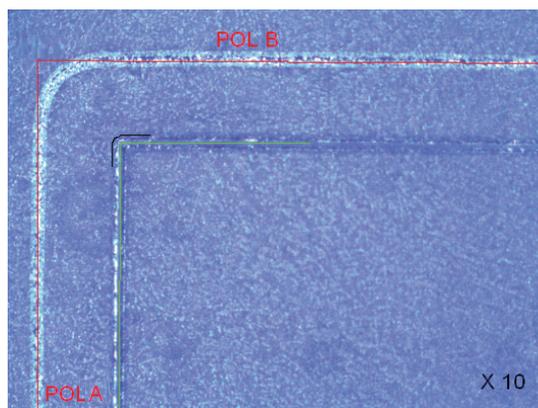
F. Liébana, J.M. Etayo

TECNALIA Corporación Tecnológica. Parque Tecnológico Bizkaia. Derio-Bizkaia

Palabras clave: Láser, escáner, tratamientos superficiales

Actualmente, los fabricantes emplean una serie de ensayos estandarizados destinados a la calibración de los escáneres de marcado, sin embargo, no proporcionan información acerca de la precisión de posicionamiento del escáner para distintas velocidades y trayectorias. En aplicaciones concretas de elevada precisión, o cuando es importante conocer la velocidad real del haz, la información facilitada por los fabricantes resulta insuficiente.

En el trabajo aquí presentado se ha llevado a cabo una completa caracterización de un escáner ScanLab HurryScan 25 en combinación con un haz láser de 50 μ m de diámetro. Para ello, se han realizado diversos ensayos experimentales, orientados a identificar las distintas fuentes de error por un lado y a relacionar las mismas con la velocidad de avance teórica y el tipo de trayectoria. En la imagen se muestra la diferencia entre la trayectoria real y la teórica para una trayectoria con un ángulo de 90° y dos velocidades de avance distintas. En la imagen se aprecia un redondeo significativo que ha de ser tenido en cuenta para aplicaciones de precisión.



Asimismo, se han llevado a cabo ensayos sobre distintas zonas dentro del área de trabajo para caracterizar la influencia del ángulo de incidencia del haz con el grado de precisión alcanzado. Como resultado del trabajo presentado se ha generado una tabla que relaciona la velocidad de avance con la precisión para diversas trayectorias que generan niveles de aceleración y deceleración máximos.

Referencias

[1] S.L. Chen. Analysis and modelling of high power laser beam position sensing, *Optics & Laser Technology*, 29 Issue8 (1998), 475-488.

Optimización de las condiciones de proceso del taladrado láser

S. Martínez, I. Arrizubieta, A. Lamikiz, I. Tabernero, E. Ukar,
Dpto. de Ingeniería Mecánica de la Universidad del País Vasco UPV/EHU
aitzol.lamikiz@ehu.es

Palabras clave: taladrado láser, acero inoxidable, Inconel 718, láser de fibra

El taladrado láser es uno de los procesos láser más antiguos [1] y que se está aplicando con más éxito en diversos sectores como alternativa a otros procesos de taladrado. En ocasiones, y debido a la velocidad de proceso y a la calidad de los agujeros obtenidos, se ha conseguido sustituir o complementar otros métodos de taladrado como la electroerosión, el taladrado electroquímico o los ultrasonidos [2]. La aplicación más importante del taladrado láser es en la industria aeroespacial, en la que se realizan miles de taladros muy próximos entre sí y con una relación de aspecto muy elevada para permitir el flujo de gases a través de los álabes, mejorando así el rendimiento de los motores [3]. Una de las principales necesidades en este proceso es conseguir un diámetro de agujero del orden de 500 - 600 μm en el caso más típico. Por otro lado, es imprescindible conseguir una alta calidad de estos agujeros para garantizar el flujo de gases a través de los mismos.

Las ventajas de aplicar el taladrado láser se basan fundamentalmente en combinar un método sin contacto y de alta velocidad. Además, se trata de un método muy flexible, ya que se puede aplicar a una amplia gama de materiales. Para ello, tradicionalmente se han utilizado láseres pulsados con capacidad de concentrar una energía muy alta en un pulso muy corto. Este tipo de láseres son diferentes a los utilizados en operaciones de corte o soldadura (los cuales son los más extendidos en la industria). Por otro lado, el desarrollo de láser industriales como los láser de fibra, con más calidad de haz y la posibilidad de trabajar en regímenes pulsados con pulsos del orden de 1-2 ms, permiten aplicar este tipo de láser en algunas operaciones de taladrado en las que no se requieran diámetros excesivamente pequeños.

Así, el presente trabajo pretende analizar los límites y el campo de trabajo de los láseres de fibra, como los que se utilizan actualmente en la industria en procesos de corte o soldadura, para su uso en el proceso de taladrado láser. Para ello se realizarán pruebas de taladrado láser en diferentes materiales y espesores de chapa, con el objeto de cuantificar el mínimo diámetro perforado, máxima relación de aspecto de los agujeros, velocidades de proceso y precisión de los taladros.



Referencias

- [1] Y.X. Chen, W.Z. Zhang; High speed drilling by YAG laser; Optics & Laser Technology, 17, (1985) 205-207.
- [2] L. Lia, C. Diverb, J. Atkinsona, R. Giedl-Wagnerc, H.J. Helmlc, Sequential Laser and EDM Micro-drilling for Next Generation Fuel Injection Nozzle Manufacture, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 55, (2006) 179-182.
- [3] Laser Fabrication and Machining of Materials, N. B. Dahotre, S. P. Harimkar, Springer (2008). ISBN: ISBN 978-0-387-72343-3.

Laser cladding en 5 ejes continuos para la fabricación de piezas de alto valor añadido

I. Tabernero Campos, A. Calleja Ochoa, E. Ukar Arrien, L. N. López de Lacalle Marcaide

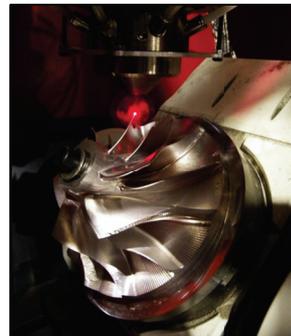
Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco (UPV/EHU)

ivan.tabernero@ehu.es

Palabras clave: Láser, Aporte de Material, 5 ejes, CAD/CAM.

En la actualidad, las industrias enfocadas a la fabricación de piezas de alto valor añadido, están buscando procesos innovadores que representen una apuesta más económica y sostenible frente a procesos convencionales de fabricación. Dentro de estos nuevos procesos van tomando mayor importancia aquellos basados en la aplicación industrial de la tecnología láser debido a su fácil automatización, a la ausencia de fuerzas y a la rapidez de procesado. Entre ellos, el aporte de material es el que posee una mayor polivalencia, extendiéndose su aplicación desde la generación de recubrimientos hasta la fabricación directa de piezas. Este proceso se basa en la utilización de la alta concentración de energía del haz láser para la creación de un baño de material fundido donde se inyecta el material de aporte, generando así cordones de alta calidad con los que se van formando capas de material, y geometrías 3D capa a capa [1]. De este modo, es posible reducir el alto consumo de material del mecanizado por arranque, y además, conseguir una reducción de la zona afectada térmicamente en comparación con la soldadura convencional. El proceso de aporte está relativamente generalizado en la obtención de recubrimientos duros de zonas sometidas a desgaste en sectores tales como el de automoción ó el aeronáutico [2]. En este último también es utilizado para la reparación de alabes de turbinas desgastados [3]. La aplicación del aporte de material mediante láser se suele llevar a cabo utilizando trayectorias generadas con una estrategia de 3+2 ejes debido a que la generación de trayectorias en 5 ejes continuos resulta de gran complejidad debido a las características del proceso y a la ausencia de software específico para este fin.

El presente artículo estudia la aplicación del proceso de aporte de material mediante láser para piezas complejas del sector aeronáutico. Para ello, se tiene en cuenta todo el proceso de puesta a punto, desde la obtención de los parámetros a usar, hasta la generación de una geometría real utilizando trayectorias en 5 ejes. En primer lugar se obtendrán experimentalmente los parámetros óptimos en base a dos criterios: la productividad y la eficiencia másica. Posteriormente, se estudiarán las estrategias adecuadas para el tipo de proceso estudiado utilizando un software comercial de mecanizado (NX[®] 7.5). Este punto es de gran interés ya que los programas actuales de CAM están dirigidos a la sustracción de material del tocho inicial, por lo que el trabajo hará hincapié en los aspectos a tener en cuenta para su utilización en el proceso de aporte de material. Por último, se presentarán las etapas de mecanizado final de la pieza y su posterior validación dimensional.



Referencias

- [1] E. Toyserkani, A. Khajepour, S. Corbin. Laser Cladding, CRC Press LLC (2005).
- [2] A.S. Khanna, S. Kumari, S. Kanungo, A. Gasser. Hard coatings on thermal spray and laser cladding, Int. Jour. of Refractory Metals & Hard Materials 27 (2009).
- [3] K.-H. Ritcher, S. Orban, S. Nowotny, Laser cladding of the Titanium alloy Ti6242 to restore damaged blades, Proceedings of 23rd ICALEO (2004).

Aproximación al proceso de temple por láser remoto

S. Martínez Rodríguez, E. Ukar Arrien, I. Taberero Campos, A. Lamikiz Mentxaka

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco UPV/EHU
silvia.martinez@ehu.es

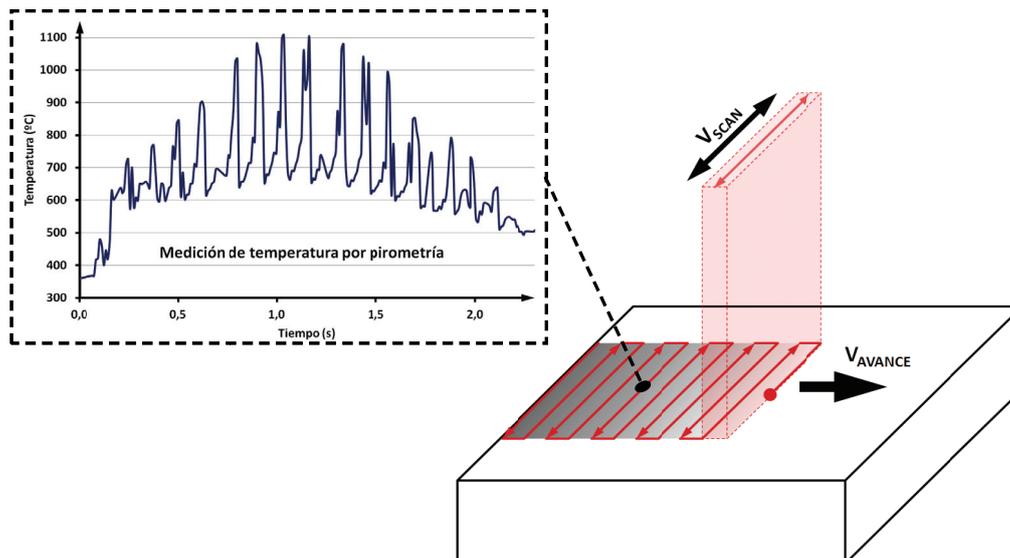
J. Figueras Puig

Centro Tecnológico IDEKO - IK4

Palabras clave: temple por láser, ópticas móviles, láser de fibra, DIN Ck45

En los últimos años se están desarrollando e industrializando sistemas basados en ópticas móviles, también denominados escáneres [1], para dotar de movimiento al haz láser con velocidades lineales superiores a 7000mm/s. Estos sistemas son muy versátiles y abren la puerta a nuevos procesos de tratamiento superficial por láser además de variantes *remotas* en otro tipo de procesos láser como es el corte ó la soldadura. Por otro lado el temple, o endurecimiento, por láser es un tratamiento superficial que se usa en una gran variedad de aplicaciones industriales en su versión convencional, pero en cambio su variable remota es muy poco conocida.

Así, en el presente trabajo se pretende estudiar el proceso de temple por láser remoto que por tratarse de un tratamiento térmico necesita un control y un conocimiento preciso del registro térmico que se ha dado durante el proceso. Para ello, se analizarán las distintas variables que intervienen y se compararán con el proceso de temple convencional. También se estudiarán las estrategias que se pueden seguir en cuanto al barrido del área a templar y se evaluará el registro térmico de una serie de ensayos medidos por métodos sin contacto. Además, se estudiará el área de material templado mediante medición de microdurezas, ya que el principal problema de la superposición de trayectorias en el proceso de temple por láser es el reblandecimiento parcial de las zonas solapadas [2].



Referencias

- [1] <http://www.dmg.com/en>
- [2] J. D. Kim, M.H. Lee, S.J. Lee, W. J. Kang. Laser transformation hardening on rod-shaped carbon by Gaussian beam, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 19 (2009), 941-945.

Simulación de los ciclos de temperatura en el proceso de estampación en caliente

I. Iglesias Valle, A. Lamikiz Mentxaka, A. Gorriño Vicandi, S. Martínez Rodríguez,
Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco UPV/EHU
aitzol.lamikiz@ehu.es

M. Muro Larisgoitia, J. Izaga Maguregi
Centro Tecnológico AZTERLAN

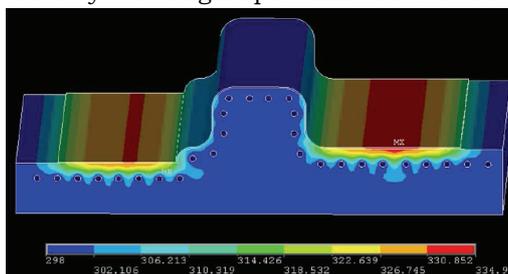
Palabras clave: Estampación en caliente, simulación térmica, diseño de canales de refrigeración.

La tecnología de Estampación en Caliente se está convirtiendo en uno de los procesos de fabricación que más interés y desarrollo está generando en la construcción de componentes estructurales para los *body in white*. Las claves de los productos fabricados mediante esta tecnología responden, de forma satisfactoria, a las actuales exigencias del Sector de Automoción: Reducción de peso, mejoras en seguridad, optimización del comportamiento en las pruebas de crash, minimización de emisiones de CO₂, etc.

Se basa en deformar/templar una chapa de acero, que previamente se ha calentado a temperaturas de dominio austenítico, siendo habituales 850-900°C. Para desarrollar esa doble función, se necesita un utillaje con capacidad de conformado y de enfriamiento, ya que el mecanismo de endurecimiento que se pone en juego es de naturaleza martensítica [1].

Las principales ventajas que plantea esta tecnología son, por un lado, la reducción de las fuerzas de conformado, debido al incremento de plasticidad a elevadas temperaturas y, en segundo lugar, el incremento de resistencia, ya que se superan, ampliamente tensiones últimas de 1.200 MPa (los actuales valores de resistencia se multiplican por cuatro), lo que permite reducir el peso de los diferentes componentes manteniendo su resistencia global. El desarrollo de nuevos productos está permitiendo la incorporación masiva a vehículos de diferentes segmentos de mercado, siendo ya habituales en componentes estructurales tales como pilares A y B, refuerzo lateral, parachoques, travesaños, refuerzo taconera, etc.

Esta ponencia se orienta hacia la etapa de “enfriamiento en troquel”, ya que para garantizar un rápido enfriamiento de la pieza ya conformada y conseguir estructuras martensíticas, los útiles de conformado deben estar convenientemente refrigerados. Para dar respuesta a esta imperiosa necesidad, se recurre al diseño de los conductos de refrigeración de los útiles, basados en simples taladrados, cuyo diseño se basa en la, aún, corta experiencia. Este trabajo, propone un método de simulación térmica de los ciclos de conformado en caliente de una “pieza test”, de forma que pueda evaluarse la evolución de la temperatura de la pieza y el troquel. La metodología de análisis desarrollada permite evaluar diferentes geometrías de conductos de refrigeración, a la vez que se define la posición y morfología óptima de los mismos.



Referencias

[1] Karbasian, H., Tekkaya, A.E. A review on hot stamping. *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 210, Issue 15, 19 November 2010, Pages 2103-2118.

Apoyo de gran amortiguamiento basado en fluidos magnetoreológicos para la eliminación de vibraciones en la industria aeroespacial

E. Díaz Tena, L. N. López de Lacalle Marcaide
Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco
estibaliz_diaz@ehu.es

D. L. Chaires Bocanegra,
Dpto. de Ingeniería. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

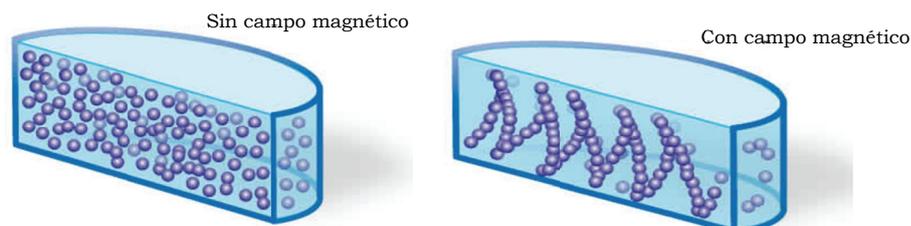
Palabras clave: Suelos delgados, Chatter, Magnetoreológico

Este trabajo está enfocado en el estudio del mecanizado de suelos delgados, partes de gran aplicación en componentes de fuselaje en la industria aeroespacial. Durante el mecanizado de este tipo de piezas, llamados *componentes monolíticos*, elevadas cantidades de material han de ser removidas utilizando altas velocidades de corte y avances con el riesgo de llegar a un proceso inestable.

Estos componentes por tener baja rigidez pueden presentar problemas de vibraciones auto-excitadas durante el proceso de corte, debido a la excitación de los modos de vibración producida por las fuerzas de corte. El fenómeno conocido como *chatter* ha sido estudiado a través del tiempo, sin haber encontrado una solución contundente, pero se han encontrado sus causas, a partir de las cuales se proveen distintos medios para su control.

Para llevar a cabo el estudio, se ha empleado como material de corte Aluminio de la serie 7050-T6 y herramientas de geometría tórica. En el presente trabajo, se recogen tanto los resultados obtenidos durante la fase experimental realizada en el Taller del Departamento de Ingeniería Mecánica de la ETSI de Bilbao en la UPV-EHU como la solución al problema del chatter en fresado por medio del cálculo de lóbulos de estabilidad utilizando métodos en el dominio de la frecuencia.

Existen diversas metodologías propuestas a lo largo de los años con el objetivo de suprimir el chatter en suelos delgados [1,2,3]. En este estudio, para tal fin se propone utilizar un amortiguador basado en fluido magnetoreológico, material inteligente cuya viscosidad varía mediante un campo magnético externo y por consiguiente su comportamiento reológico puede ser controlado. Este comportamiento se puede observar en la siguiente figura.



Referencias

- [1] S. Smith, D. Dvorak, Tool path strategies for high speed milling aluminium workpieces with thin webs, *Mechatronics* 8, 291-300, 1997.
- [2] W.R. Winfough, Issues of dynamics in high-speed milling of aluminum aircraft structures, *Philosophical Dissertation*, University of Florida, 1998.
- [3] Campa, F. Metodología para la predicción de la Estabilidad dinámica en el mecanizado de alta velocidad de suelos delgados, *Tesis Doctoral*, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao, UPV/EHU, 2009.

Adaptadores trigonales para máquinas multitarea fabricados en máquinas multitarea

A. Calleja Ochoa, A. Fernández Valdivielso, L.N. López de Lacalle
Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco (UPV/EHU)
amaia_calleja@ehu.es

U.J. Ugalde Martínez, I. Okariz Legorburu
Susensa S.A.

Palabras clave: Adaptadores trigonales, Máquinas multitarea.

La situación actual, coincidente con la reciente liberación de la patente a la que estaban sometidos los adaptadores trigonales [1], supone una perspectiva de futuro ideal para este tipo de producto, que presenta una previsión ascendente en su uso. Este tipo de acoplamiento se utiliza cada vez más en máquinas de alta velocidad, máquinas multiproceso, tornos y centros de mecanizado de grandes dimensiones, cuya demanda ha aumentado en gran número, principalmente por parte de países emergentes. Por lo tanto, se plantea una oportunidad de fabricación de este tipo de acoplamientos para muchas empresas de producción y mecanizado que a su vez necesitan realizar mejoras en el proceso de diseño [2] y fabricación, produciendo portaherramientas poligonales de bajo coste.

El amarre poligonal ofrece unas características idóneas para responder a los más exigentes requisitos de la producción metal mecánica por arranque de viruta. El sistema, permite un cambio de amarre rápido que responde eficientemente a las necesidades de automatización de la producción contribuyendo así a la reducción de los tiempos y costes de no operatividad de máquinas. Además, se caracteriza por la precisión y la elevada rigidez que se confiere a la herramienta. Por lo tanto, es la respuesta tecnológica cuando se busca un cambio de herramienta rápido, de alta repetibilidad, gran rigidez y versatilidad [3]. En cuanto a su uso, es un sistema de sujeción compatible con todo tipo de operaciones de mecanizado, sin hacer distinciones entre máquinas (tornos o fresadoras) ni herramientas (rotativas o estáticas). Por este motivo, es el sistema idóneo a introducir en la totalidad de las máquinas multitarea actuales, que realizan operaciones que involucran tanto a herramientas rotativas como operaciones con herramienta estática. Este tipo de amarre no presenta limitaciones de uso sea cual sea la operación de mecanizado a realizar.

En el presente artículo se estudia el proceso de fabricación de adaptadores trigonales para máquinas multitarea que a su vez son fabricados en máquinas multitarea. Para ello, se tiene en cuenta todo el proceso, desde el diseño y la fabricación, hasta la medición final del porta-herramientas.



Referencias

- [1] Sandvik (2009) Coromant Capto Modular Tooling System (catalogue). <http://www2.coromant.sandvik.com> (última entrada 5/02/2012).
- [2] B. Bossmanns, J.F. Tu, Conceptual design of machine tool interfaces for high-speed machining, *J. of Manufacturing Processes*, 4/1 (2002), 16-27.
- [3] I. Eugene, N. Charlotte, M. Tokyo, Tooling structure: Interface between cutting edge and machine tool, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 49/2 (2002), 591-634.

Análisis de estrategias de mallado para modelizar en 3D procesos de taladrado en Ti6Al4V

J. De La Cruz Hernández, J.L. Cantero Guisández, J. Díaz Álvarez, M.H. Miguélez Garrido

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid

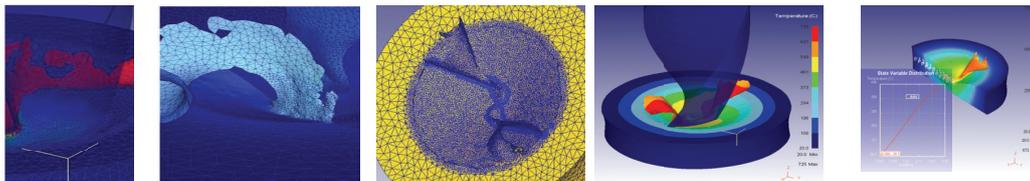
jlacruz@ing.uc3m.es

Palabras clave: Modelización numérica, taladrado, Ti6Al4V.

El taladrado en seco de la aleación Ti6Al4V provoca daño superficial en el material debido al mecanizado, que se incrementa con el desgaste de la herramienta (1). El desarrollo de modelos numéricos de mecanizado permite obtener magnitudes difíciles de medir, de interés para el análisis del efecto de considerar distintas condiciones de trabajo. Los modelos de mecanizado existentes son mayoritariamente bidimensionales (2D). Dichos modelos bidimensionales son adecuados para procesos con condiciones de corte ortogonal y por tanto no permiten analizar en su totalidad las magnitudes implicadas en los procesos de taladrado. Las simulaciones de modelos numéricos en 3D requieren grandes tiempos de cálculo que dependen principalmente de la longitud a taladrar, densidad de mallado y parámetros de incremento de tiempo por paso. Por ese motivo es fundamental realizar un análisis previo exhaustivo para determinar la configuración del mallado (especialmente de la pieza) que permite obtener los mejores resultados.

Este trabajo se centra en el desarrollo de una estrategia de mallado de un modelo tridimensional basado en el Método de los Elementos Finitos del taladrado del material Ti6Al4V. Se consideraron varios mallados del material determinándose el más adecuado en base a la estabilidad de las componentes de la fuerza, la morfología de la viruta, las distribuciones térmicas en la superficie mecanizada y menores tiempos de simulación.

Los modelos considerados emplean mallados del material con un máximo de 190.000 elementos tetraédricos con densidades de mallado variables. Para el análisis de optimización de mallas utilizando tamaños de elementos homogéneos de 0,07mm, 0,128mm y 0,3mm en la zona de corte estableciéndolos por ventanas de mallado. Asimismo se hizo con mallados con densidades variables con tamaño de elementos mínimo de 0,02mm. Se ha definido como malla óptima la de densidad variable con tamaño de elemento mínimo 0,02mm y hasta 0,128mm en la zona de corte. Esta malla permite obtener valores de fuerza con buena correlación experimental y con oscilaciones pequeñas (2), una mejor morfología de la viruta, gradientes térmicos de temperatura en el material más realistas y tiempos de simulación óptimos. Los autores agradecen la financiación de este trabajo al Ministerio de Ciencia y Tecnología, la Comunidad de Madrid y la Universidad Carlos III de Madrid mediante los proyectos CCG08-UC3M/DPI-4494 y DPI 2008-06746.



Referencias

- [1] J.L. Cantero, M.M. Tardío, J.A. Canteli, M. Marcos, M.H. Miguélez, Dry Drilling of Alloy Ti-6Al-4V. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* (2005), 45 (11), pp. 1246-1255.
- [2] Rodrigo Zeilmann and Walter Weingaertner, "Analysis of temperature during drilling of Ti6Al4V with minimal quantity of lubricant", *Journal of Materials Processing Technology*, 179 (2006), 124-127.

Tiempo de corte estimado en operaciones de vaciado

R. Dorado Vicente, P. Romero Carrillo, E. López Alba, R. López García

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Minera. Universidad de Jaén
rdorado@ujaen.es

Palabras clave: vaciado, tiempo de corte, simulación

El vaciado, entendido como la eliminación de un volumen de material en una región plana mediante un fresado, tiene una gran aplicación en la fabricación de componentes mecánicos [1]. La eficiencia de una determinada trayectoria de vaciado se mide mediante el tiempo necesario para su mecanizado.

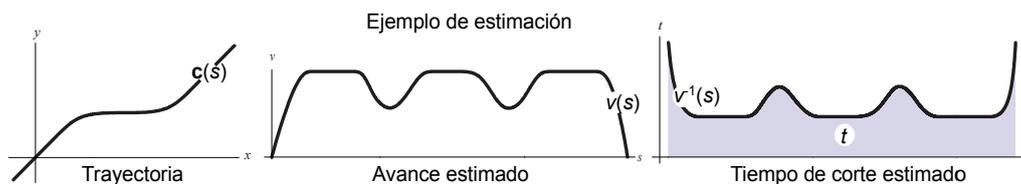
El anterior tiempo suele calcularse teóricamente suponiendo una velocidad de avance constante, y multiplicando su inversa por la longitud total de la trayectoria. Sin embargo, esta estimación no considera los efectos de la aceleración y deceleración de la fresa, que pueden incrementar su valor cuando la trayectoria se compone de muchos tramos rectos de pequeña longitud o en el caso de mecanizados a alta velocidad [2]. En ambos casos se producirán deceleraciones/aceleraciones para mantener la estabilidad de la operación [3].

Por lo anterior, resulta interesante disponer de una estimación más realista del tiempo de corte, que permita comparar estrategias de vaciado sin necesidad de realizar ensayos reales. Las soluciones existentes, numéricas (como el método de Bieterman y Sandstrom [4]) o heurísticas (como la definida por Kim et al. [2]), suelen ser complejas y/o tener limitaciones geométricas.

Este trabajo presenta un modelo geométrico para la estimación del tiempo de corte. Si s es el parámetro longitud de arco, y $\mathbf{c}(s)$ la trayectoria de vaciado, la idea es definir, a partir de la curvatura de la trayectoria $k(s)$ (de la que depende la aceleración [3]), la velocidad de avance $v(k(s))$. El tiempo de corte t se calcula así:

$$t = \int_0^L \frac{1}{v(k(s))} ds$$

La técnica es sencilla y puede extenderse a cualquier trayectoria paramétrica plana sea cual sea su continuidad. Pese a su atractivo se trata de una propuesta preliminar, y aunque los ensayos virtuales realizados demuestran un buen comportamiento, su utilidad debe validarse frente a ensayos reales.



Referencias

- [1] M. Held, Ch. Spielberger. A smooth spiral tool path for high speed machining of 2D pockets, *Computer-Aided Design* 41 (2009), 539-550.
- [2] Bo H. Kim, B. Young, K. Choi. Machining Efficiency Comparison Direction-Parallel Tool Path with Contour-Parallel Tool Path, *Computer-Aided Design*, 34 (2002), 89-95.
- [3] H. Wang, P. Jang, J.A. Stori. A metric-based approach to 2D tool-path optimization for high-speed machining, *ASME IMECE 2002-MED-33610*.
- [4] M.B. Bieterman, D.R. Sandstrom. A Curvilinear Tool-Path Method for Pocket Machining, *Journal of manufacturing science and engineering*, 125 (2003), 709-715.

Estudio de la forma de la fuente de calor en un modelo FEM 3D para rectificado cilíndrico

U. Alonso, N. Ortega, J.A. Sánchez, I. Pombo, S. Plaza, B. Izquierdo.

*Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea
unai.alonso@ehu.es*

Palabras clave: rectificado, modelización FEM, dañado de pieza

El rectificado cilíndrico es un proceso de mecanizado de elevada precisión empleado en piezas de revolución. La importancia de su estudio radica en su amplia aplicación, que supone el 75% de las aplicaciones del rectificado. Sin embargo, el carácter estocástico del proceso unido a la compleja cinemática asociada al rectificado cilíndrico hacen que su estudio y su puesta a punto sea más compleja que en otras variantes como el rectificado plano. No obstante, la problemática fundamental es similar y se encuentra unida al rechazo de piezas y pérdida de productividad por daños, principalmente térmicos, sobre las piezas rectificadas. Con el objetivo de estudiar esta generación excesiva de calor y su repercusión sobre las piezas rectificadas, se ha realizado un modelo FEM en 3 dimensiones comparándolo con un modelo plano para rectificado convencional. La correcta concepción de este tipo de modelos implica una definición adecuada de la fuente de calor. En este artículo se estudian y comparan dos tipos de fuentes para conocer cuál de ellas reporta mayor similitud con el proceso real. Los resultados muestran que ambas fuentes son adecuadas para obtener las temperaturas máximas, pero no para obtener la distribución completa en 3D, donde sí se han encontrado importantes diferencias. Del mismo modo, se estudia la influencia en la precisión de los resultados del tamaño de los elementos en diferentes direcciones de la pieza.

Mejora de las condiciones de fricción pieza-muela mediante la aplicación de mínimas cantidades de lubricante a bajas temperaturas

E. García Gil, J.A. Sánchez Galíndez, I. Pombo Rodilla, N. Ortega Rodríguez, B. Izquierdo Aramburu, S. Plaza Pascual

*Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco/ Euskal Herriko Unibertsitatea.
eduardojose.garcia@ehu.es*

Palabras clave: rectificado, MQL, refrigeración, lubricación, eficiencia de proceso.

El uso de fluidos refrigerantes está muy extendido en rectificado. Con ellos se consigue un proceso más eficiente, en cuanto a energía consumida y volumen de muela gastado, y más preciso; las tolerancias dimensionales son más ajustadas al disminuir la distorsión térmica [1]. Sin embargo, el coste económico y ecológico que el uso de estos fluidos conlleva hace que la tendencia actual sea hacia procesos de rectificado en los que se reduzca al mínimo el uso de estos fluidos, e incluso se elimine [1, 2].

En otros procesos de arranque de viruta como el fresado o el torneado se ha conseguido disminuir el consumo de fluidos al mínimo, y está muy extendido el uso de técnicas como “*Minimum Quantity of Lubricant*” (MQL) o incluso el mecanizado en seco [3]. No es éste el caso del rectificado. Al ser un proceso abrasivo las temperaturas generadas son más altas, por lo que la necesidad de refrigeración es más acusada. Además la zona de contacto es mayor lo que hace más difícil el acceso del fluido al contacto entre pieza y muela [1, 4]. Para dar respuesta a esta necesidad industrial se está llevando a cabo un importante esfuerzo investigador orientado a reducir drásticamente la cantidad de fluido utilizado en rectificado [5, 6, 7].

Este artículo presenta el desarrollo de una tecnología de lubricación-refrigeración para rectificado, “*Minimum Coolant Grinding* (MCG)”. En ella se reduce al mínimo el consumo de fluido gracias a la aplicación de bajas temperaturas. El estudio incluye la optimización de la tecnología así como una aplicación exitosa del MCG en un caso industrial real de rectificado cilíndrico en penetración.

Referencias

- [1] E. Brinksmeier, C. Heinzel, M. Wittmann. Friction, Cooling and Lubrication in Grinding. CIRP Annals - Manufacturing Technology, (1999) 48(2), 581-598.
- [2] F. Jovane, H. Yoshikawa, L. Alting, C. Boer, E. Westkamper, D. Williams, M. Tseng. The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing. CIRP Annals - Manufacturing Technology, (2008) 57(2), 641-659.
- [3] J.P. Davim. Machining: fundamentals and recent advances. (2008) 10, XIV, 361 p. 222. Springer.
- [4] R. Alberdi, J.A. Sanchez, I. Pombo, N. Ortega, B. Izquierdo, S. Plaza, D. Barrenetxea. Strategies for optimal use of fluids in grinding. International Journal of Machine Tools and Manufacture, (2011) 51(6), 491-499. Elsevier.
- [5] L. M. Barczak, D. L. Batako, M. N. Morgan. A study of plane surface grinding under minimum quantity lubrication (MQL) conditions. International Journal of Machine Tools and Manufacture, (2010) 50(11), 977-985. Elsevier.
- [6] J. A. Sanchez, I. Pombo, R. Alberdi, B. Izquierdo, N. Ortega, S. Plaza, J. Martinez-Toledano. Machining evaluation of a hybrid MQL-CO2 grinding technology. Journal of Cleaner Production, (2010) 18(18), 1840-1849. Elsevier.
- [7] T. Tawakoli, M. Hadad, M.H. Sadeghi, A. Daneshi, B, Sadeghi. Minimum quantity lubrication in grinding: effects of abrasive and coolant-lubricant types. Journal of Cleaner Production, (2011) 19, 2088-2099.

Generación de trayectorias de mecanizado con un número mínimo de puntos

Huertas Talón, J.L.

Dpto. de Fabricación Mecánica del C.P.I.F.P. "Corona de Aragón"
jhuertas@unizar.es

Gella Marín, R., López Gómez, C.

Dpto. de Ingeniería de Diseño y Fabricación de la Universidad de Zaragoza

Palabras clave: trayectoria, algoritmo, optimización

Hay varios métodos para evaluar los puntos que se deben enviar a una máquina CN para mecanizar la geometría en cuestión. En todos los casos, cuando el número de puntos escaneado o calculado es muy alto, conviene realizar un filtrado de los mismos para descartar aquellos que aportan menor peso para la identificación de la trayectoria de mecanizado.

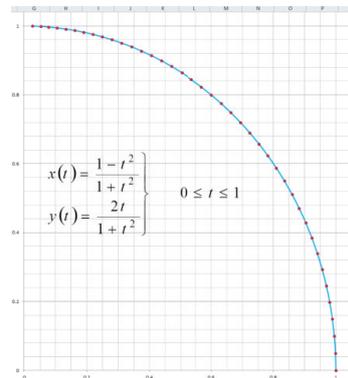


Fig. 1. Aproximación de una ecuación paramétrica (círculo) en forma de fracción de polinomios.

El método aquí seguido permite llegar a la realización de un algoritmo que elimine los puntos que aportan información de inferior calidad. Para ello se parte del máximo error cordal permitido e . Dicho error se relaciona con el ángulo que forman los segmentos adyacentes al punto por la expresión:

$$\cos\alpha = 2\left(1 - \frac{e}{r}\right)^2 - 1$$

De esta forma, es posible preparar un algoritmo que estudie los puntos tres puntos consecutivos. Si el coseno evaluado por la expresión anterior es superior a un valor, se puede descartar el punto intermedio. Si no se descarta este punto, se pasa a verificar la triada formada por los dos últimos de los tres anteriores y el siguiente a éstos. En el caso de desechar el punto intermedio, se pueden dar varias posibilidades de continuar con el algoritmo.

Referencias

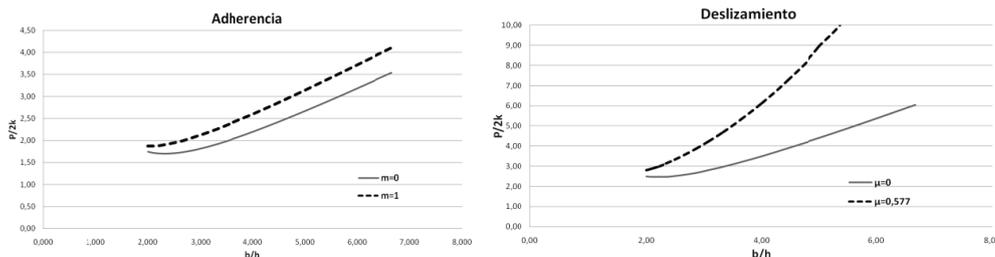
- [1] Athulan Vijayaraghavan, Angela Sodemann, Aaron Hoover, J. Rhett Mayor, David Dornfeld. Trajectory generation in high-speed, high-precision micromilling using subdivision curves. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 50 (2010) 394-403.
- [2] Huertas Talón José Luis, López Gómez Carmelo, Pérez Florencio Tabuenca, de Pedro Herrera Florencio, Royo Vázquez Emilio Julián, Armañac Joaquín Lasierra. Optimización del número del número puntos para interpolar una función. *IMHE*/octubre 2003.

Influencia del rozamiento en la aplicación del Teorema del Límite Superior en procesos de indentación

Bermudo Gamboa, C^(a), Martín Fernández, F^(b), Sevilla Hurtado, L^(c).
Dpto. de Ingeniería Civil, de Materiales y fabricación. ETSII-EPS, Universidad de Málaga
bgamboa@uma.es^(a); fdmartin@uma.es^(b); lsevilla@uma.es^(c)

Palabras clave: Teoría Límite Superior, Indentación, Rozamiento

La aplicación del Teorema del Límite Superior (TLS) se presenta como una fiable alternativa a los métodos numéricos en el estudio de las potencias necesarias para alcanzar una determinada deformación plástica sobre una pieza de trabajo en procesos de forja bajo la consideración de deformación plana. En el presente trabajo se aplica este estudio a procesos de indentación. Estos procesos son asimilables, bajo ciertas condiciones geométricas, a procesos de deformación plana, por lo que posibilitan el tratamiento analítico mediante el TLS. Implementando el modelo de Bloques Rígidos Triangulares (BRT), existen distintos planteamientos en cuanto al establecimiento de la configuración geométrica a adoptar, así como a su tratamiento matemático, siendo la distribución Modular [1] la que se aborda en este análisis. Se elaboran los diferentes hodógrafos correspondientes a un campo de velocidades cinemáticamente admisible, estudiándose la influencia de la incorporación del rozamiento en su doble vertiente: rozamiento por adherencia (m) y por deslizamiento (μ).



Al Aplicar el TLS mediante BRT para cada disposición Modular, considerando en cada caso la distribución adecuada y diferenciando entre ambos tipos de rozamiento, se obtienen resultados en concordancia con los obtenidos en otros procesos de conformado plástico, tanto estacionarios [2] como no estacionarios. Su evolución presenta, para ambos tipos de rozamiento, la forma característica de curvas de carga, como se muestra en las gráficas anteriores, respecto a diferentes situaciones del proceso, con la aparición de valores mínimos de la relación adimensional $P/2k$ (donde P es la presión ejercida y k la tensión a cizalladura del material).

Concluido el análisis del modelo e introduciendo ambos tipos de rozamiento para distintos factores de forma, se muestra la ventaja del menor coste computacional que ofrece este método de cálculo, así como el hecho de tener identificado en todo momento la evolución física del problema planteado.

Referencias

- [1] C. Bermudo; F. Martín, L. Sevilla. *Application of the Upper Bound Element Technique with Triangular Rigid Blocks in Indentation*. MESIC Conference Proceeding 978-84-615-6973-1 (2011).
- [2] E.M. Rubio, R. Domingo, C. González, A. Sanz: *Análisis comparativo de modelos de bloques rígidos triangulares en el estudio mecánico de procesos de estirado por límite superior*. Revista de Metalurgia. Madrid, 40 (2004) 1-10.

Determinación de fuentes de incertidumbre en la sujeción de piezas en el torno

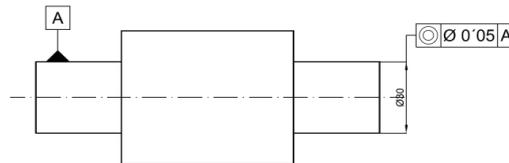
P.X. Aristimuño Osoro, G. Arrizabalaga Arizti, P.J. Arrazola Arriola

Dpto. de Mecánica y Producción Industrial. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Mondragón
paristimuno@mondragon.edu

Palabras clave: mecanizado, sujeción, incertidumbres

En el diseño de procesos de fabricación, el diseñador tiene que decidir los tipos de sujeción de pieza empleado para fabricar la pieza. El tipo de sujeción empleado puede limitar la precisión del mecanizado obtenido o las condiciones de corte empleadas por el nivel de vibración generado.

En el torneado de piezas es bastante habitual tener que fabricar superficies con requerimientos de concentricidad o coaxialidad en diferentes amarres de pieza, tal y como se aprecia en la siguiente figura:



En estos casos, la calidad del amarre es el principal factor limitante de la coaxialidad de las superficies mecanizadas.

Para el amarre de piezas en tornos de CNC es ampliamente utilizado el plato hidráulico de 3 garras autocentrantes. En este plato de garras se pueden emplear garras de acero templado que mantienen sus dimensiones a lo largo del tiempo (excepto por el desgaste o deterioro sufrido por el uso prolongado), o garras de acero suave que se tornean en la propia máquina.

Debido a que las superficies de amarre de las garras blandas se tornean en la propia máquina, las superficies de amarre tienen una gran coaxialidad con el eje de giro. Sin embargo, la coaxialidad del eje de giro y las superficies de amarre de las garras templadas depende además de la calidad de fabricación de las garras del estado de desgaste de las mismas.

En este trabajo se ha estudiado el nivel de concentricidad que se obtiene tanto con garras blandas como con garras duras en condiciones determinadas, haciendo variar la fuerza de amarre, la longitud de amarre, y la distancia desde el amarre al punto donde se mide la concentricidad.

Cada ensayo se ha repetido 10 veces, y en los resultados se muestran tanto los valores medios como la desviación estándar de las concentricidades medidas.

Cabe destacar que los amarres realizados con garras blandas muestran un nivel de concentricidad más elevado que las garras duras. A su vez, cuanto mayor es la longitud de amarre mayor es la concentricidad.

Por otro lado, los resultados obtenidos ponen de manifiesto la dificultad de obtener concentricidades menores de 0.02 mm a una distancia desde el amarre igual al diámetro.

Referencias

[1] A. Chevalier, J. Bohan, Tecnología del diseño y fabricación de piezas metálicas, Libro ISBN 968-18-3735-5, (2004).

Caracterización numérico-experimental de tensiones residuales en soldadura multipasada del acero S275JR

A. Lopez, M. Sáez, D. Ugarte, I. Ulacia, J.A. Esnaola

Dpto. de Mecánica y Producción Industrial, Mondragon Unibertsitatea, Loramendi 4, 20500, Arrasate-Mondragon, Guipúzcoa, España.
alopezj@mondragon.edu

I. Martinez

Fagor Arrasate S. Coop., San Andres Auzoa 20, 20500, Arrasate-Mondragon, Guipúzcoa, España.

A. Garro

Koniker S.Coop., Polígono Industrial Baintxe 5A, 20550, Aretxabaleta, Guipúzcoa, España.

Palabras clave: Soldadura multipasada, tensiones residuales, método de elementos finitos

La soldadura por arco con protección de gas (*MIG*) es uno de los métodos de unión más empleados en la industria [1]. Sin embargo, una de las principales problemáticas del proceso es la generación de tensiones residuales (TR) que repercuten de forma directa en la vida a fatiga del componente soldado [2]. A día de hoy predecir las TR requiere realizar la simulación del proceso de soldadura. En la actualidad, uno de los modelos numéricos más empleados a la hora de predecir las TR durante el proceso de soldadura *MIG*, es el método de Goldak [3]. La principal limitación de este método es que requiere medir la *weld pool*, con el coste experimental que ello conlleva. Como alternativa, en el presente trabajo se ha desarrollado un modelo numérico basado en la energía empleada en el proceso de soldadura. Para ello, se ha desarrollado una ley que relaciona la energía a aportar en el proceso de soldadura en función de variables de proceso como son la sección del cordón y la velocidad de soldeo. Para validar el modelo propuesto en este estudio, se han realizado las mediciones experimentales del campo térmico y de las TR. En cuanto al campo térmico, se ha observado una correlación positiva entre los resultados de la simulación y del experimental (error < 5%). Con respecto a las TR, cabe mencionar que la medición de las TR resulta imprecisa, ya que incluso midiendo con la misma técnica los resultados pueden variar hasta en ± 60 MPa [4]. Además, cada método de medición de TR (*hole-drilling*, difracción de rayos X, difracción de neutrones,...) miden las TR de manera diferente (mediciones globales, locales, directas y/o indirectas) y por lo tanto los resultados que se obtienen con cada método difieren [5]. Por esta razón, se ha realizado una correlación cualitativa de los resultados de TR. Mediante el método de simulación propuesto en este trabajo se podrán obtener los parámetros idóneos del proceso de soldadura para optimizar los resultados en cuanto a las TR y la vida a fatiga.

Referencias

- [1] D.S. Naidu, S. Ozcelik and K. L. Moore. Modeling, sensing and control of gas metal arc welding, Ed. Elsevier Science, (2003).
- [2] S. J. Maddox. Fatigue strength of welded structures, Ed. Woodhead Publishing, (1991).
- [3] J. Goldak, A. Chakravarti and M. Bibby. A new finite element model for welding heat sources, Metallurgical and Materials Transactions B, 15(2) (1984), 299–305.
- [4] V. García Navas. Optimización de procesos de mecanizado mediante control de tensiones residuales y otros parámetros de integridad superficial, PhD thesis, Tecnun-Universidad de Navarra, (2006).
- [5] A. Kortabarria, A. Madariaga, E. Fernandez, J. A. Esnaola and P. J. Arrazola. A comparative study of residual stress profiles on Inconel 718 induced by dry face turning, Procedia Engineering, 19 (2011), 228–234.

Proyección laser como soporte al proceso de montaje del ala del Airbus A400M

J. Serván, J. M. Rubio, F. Mas

PLM, Process and Tool Solutions. AIRBUS Military
fernando.mas@airbus.com

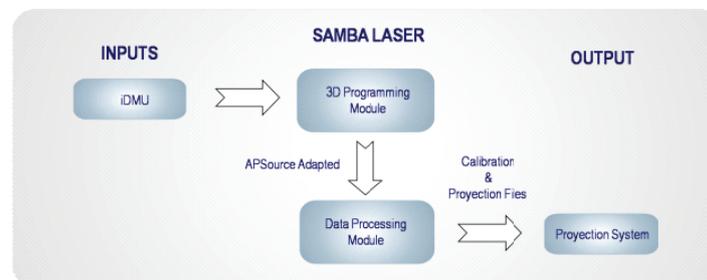
J. Ríos

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación. Universidad Politécnica de Madrid

Palabras clave: Laser Projection, Augmented Reality, iDMU, Assembly Process

Los montajes aeronáuticos son procesos complejos que requieren gran precisión y trazabilidad. La documentación de montaje nos ayuda a garantizar el correcto ensamblaje de componentes aeronáuticos, ya que, no solo proporciona información relativa a los elementos a montar, sino también acerca del utillaje y de la secuencias de tareas a realizar. Actualmente esta documentación es generada en formato 'papel digital'. Airbus Military ha desarrollado un nuevo sistema, SAMBA-Laser que permite usar la información de la industrial Digital Mock Up (iDMU) para, mediante proyección laser, superponer la información necesaria para el montaje, directamente sobre las piezas del avión. El sistema ha sido implementado en la estación de montaje de alas, en la línea de montaje final (FAL) del A400M.

En el montaje aeronáutico, tareas tales como el taladrado, la colocación de soportes o la colocación manual de telas de fibra de carbono, requieren que estas sean ejecutadas en una localización específica. En estos casos, para garantizar la correcta realización del proceso, es necesario utilizar plantillas, las cuales incluyen tanto la secuencias de las operaciones, como parámetros críticos, tales como dimensión de componentes, torques de apriete, características tecnológicas de los sellantes aplicados, etc. El sistema SAMBA-Laser permite sustituir dichas plantillas por proyecciones laser con información del proceso, directamente sobre las superficies del avión. Para poder realizar esto, se ha desarrollado una aplicación que posibilita la explotación la información contenida en la iDMU del avión. El desarrollo, que está perfectamente integrado con las herramientas PLM de Dassault Systems, mejora la trazabilidad de los procesos reduciendo el tiempo requerido para generar y mantener la documentación de montaje.



Referencias

- [1] B. Schwerdtfeger, D. Pustka, A. Hofhauser, G. Klinker, Using laser projectors for augmented reality, in Proceedings of the 2008 ACM symposium on Virtual reality software and technology VRST 08 (2008).
- [2] M Kanbara, A Nagamatsu, Augmented reality guide system using mobile projectors in large indoor environment in Ubiprojection Workshop on Personal Projection at the Pervasive 2010 (2010).
- [3] J. L. Menéndez, F. Mas, J. Serván, J. Ríos, Virtual verification of the Airbus A400M FAL industrialization, Proc. MESIC 2011, Cádiz (SPAIN), 2011.

Soluciones avanzadas para la creación de instrucciones de montaje aeronáutico mediante herramientas PLM

J. L. Menéndez, M. Oliva, F. Mas

Dpto. de PLM, Process and Tool Solutions. AIRBUS Military
fernando.mas@airbus.com

J. Ríos

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación. Universidad Politécnica de Madrid

Keywords: Shopfloor documentation, iDMU, Mixed reality, Augmented reality, Digital Factory.

En una línea de montaje aeronáutico, el volumen de información que hay que proporcionar a los operarios sobre los materiales, el proceso, los requerimientos de calidad y los elementos que se montan en cada operación es muy elevado. Esta información se define en un documento llamado Instrucción Técnica de montaje (IT), que se junta a la orden de trabajo. La IT es un documento de texto con ilustraciones. Inicialmente las ilustraciones se obtenían de los planos. Actualmente las ilustraciones son capturas de imagen de la maqueta digital del producto (Digital Mock-Up - DMU). La creación y puesta al día de la IT es un proceso costoso que se realiza después de terminar el diseño industrial de la línea de montaje.

Las herramientas de gestión del ciclo de vida (Product Lifecycle Management - PLM) ofrecen un potencial muy grande de mejora del proceso de creación y puesta al día de las IT, así como del propio documento. Como se muestra en la figura, en la visión de Airbus Military sobre la utilización de las herramientas PLM, el diseño industrial se centraliza alrededor de la maqueta digital industrial (iDMU). La iDMU contiene todos los modelos digitales del producto y de los recursos, integrados con la definición virtual de los procesos de montaje y toda la información asociada a ellos. Dentro de esta visión las IT se obtienen a partir de los modelos e información contenida en la iDMU. De esta manera el documento puede editarse mediante herramientas PLM específicas y tecnologías de Realidad Aumentada y procedimientos tan automatizados como sea posible.

Airbus Military realizado varios proyectos de investigación y desarrollo para demostrar la creación de diferentes tipos de IT mediante técnicas de Realidad Aumentada.



Referencias

- [1] J. L. Menéndez, F. Mas, J. Servan, J. Ríos, Virtual verification of the Airbus A400M FAL industrialization, Proc. MESIC 2011, Cádiz (SPAIN), 2011.
- [2] J. Servan, F. Mas, J. L. Menéndez, J. Ríos, Using Augmented Reality in AIRBUS A400M Shopfloor Assembly Work Instructions, Proceedings of the 4th Manufacturing Engineering Society Intl. Conf. (MESIC 2011), Cadiz (SPAIN), 2011.
- [3] D. Mizell, Augmented Reality Applications in Aerospace, IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR'00), 2000.

Biomecanizado con microorganismos extremófilos: aplicación al cobre libre de oxígeno

A. Rodríguez-Ezquerro, L.N. López de Lacalle

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco UPV/EHU
adrian.rodriguez@ehu.es, norberto.lzlacalle@ehu.es

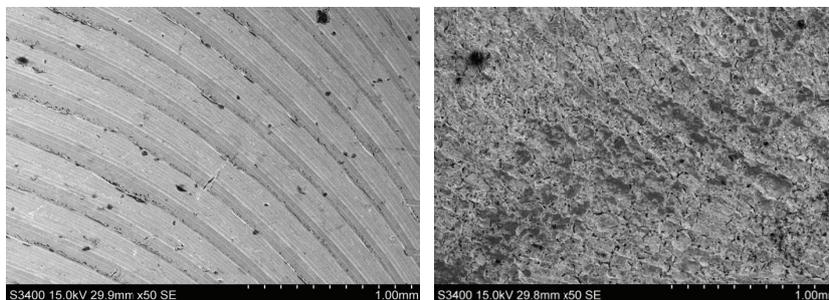
A. Elias Saenz

Dpto. de Ingeniería Química y del Medio Ambiente. Universidad del País Vasco UPV/EHU
ana.elias@ehu.es

Palabras clave: Biomecanizado, Bacterias, Cobre

La prospectiva a futuro del uso de cobre y sus aleaciones para componentes relacionados con I+D, instalaciones científicas y diseño técnico muestra una tendencia de crecimiento exponencial. Proyectos actuales como el acelerador de iones del ESS-Bilbao (ESSB), cuyos componentes funcionales son mayormente fabricados en cobre, son un ejemplo claro de la necesidad de controlar el mecanizado de cobre. La fabricación de este tipo de componentes requiere de operaciones de gran precisión que minimicen el daño térmico y estructural en el material.

En otros países ya existen datos de investigaciones relacionados con el micromecanizado y pulido de cobre utilizando microorganismos [1-2]. Esta técnica puede ser de gran utilidad a la hora de obtener superficies pulidas o zonas micromecanizadas, evitando el dañado térmico y estructural de los componentes. En este trabajo se presenta una serie de ensayos realizados en las aguas de Río Tinto (Huelva), la cual está perfectamente caracterizada y se tiene constancia de la existencia de numerosas bacterias, entre ellas *Acidithiobacillus ferrooxidans*. El objetivo de estos ensayos es estudiar el efecto que produce este tipo de bacterias sobre probetas de cobre con superficies mecanizadas. De esta forma se analizaron topografías 3D de la superficie, así como imágenes obtenidas por SEM. Los resultados obtenidos muestran que el pulido de superficies mecanizadas es posible utilizando esta técnica, sin embargo es preciso un control absoluto sobre el proceso de cara a garantizar la calidad superficial requerida.



Referencias

- [1] J. Istiyanto, M.Y. Kim, T.J. Ko. Profile characteristics of biomachined copper, *Microelectronic Engineering* 88 (2011) 2614–2617.
- [2] H. Hocheng, J. Chang, U.U. Jadhav. Micromachining of various metals by using *Acidithiobacillus ferrooxidans* culture supernatant experiments, *Journal of Cleaner Production* 20 (2012) 180–185.

Análisis numérico 3D de las magnitudes termomecánicas relacionadas con el desgaste de mella en procesos de mecanizado en seco de Inconel 718

J. Díaz Álvarez, J.L. Cantero Guisández, J.A. De La Cruz Hernández, M.H. Miguélez Garrido
Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid.
jodiaz@ing.uc3m.es

Palabras clave: Modelización numérica, torneado, Inconel 718.

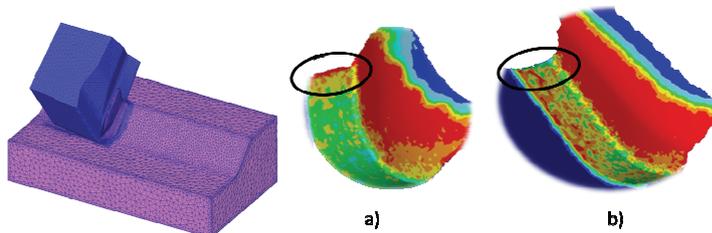
El uso de Inconel 718 se ha extendido rápidamente en aplicaciones de alta responsabilidad debido a sus excelentes propiedades mecánicas, especialmente a alta temperatura. Este material presenta una muy baja maquinabilidad, especialmente en procesos de mecanizado en seco. En ensayos de desgaste realizados por los autores de este trabajo se ha observado que en muchas condiciones de trabajo el desgaste de mella es predominante y determina el fin de vida de la herramienta. Asimismo se ha verificado que la utilización de herramientas con ángulo de posición del filo principal elevado permite reducir la evolución de dicho tipo de desgaste [1].

En este trabajo se desarrolla un modelo de elementos finitos 3D de torneado en seco de Inconel 718. El principal objetivo del estudio es buscar la influencia del ángulo de posición de la herramienta en las variables termomecánicas del proceso relacionadas con el desarrollo del desgaste de mella observado en este tipo de procesos.

Para ello, se han desarrollado modelos de elementos finitos empleando el código comercial DEFORM-3D. Las simulaciones realizadas son del tipo Lagrangiano incremental. Debido al coste computacional, el número de elementos empleados en pieza y herramienta se ha limitado a 130000 y 150000 respectivamente. En las zonas de mayor interés los elementos tienen un tamaño de $10\mu\text{m}$ [2].

Se han modelizado herramientas con ángulos de posición del filo principal 0° y 45° , considerando velocidades de corte 400m/min y 50m/min , avance 0.1mm/rev y profundidad de pasada 0.5mm (ver figura). Los modelos se validaron experimentalmente.

Los resultados obtenidos para la herramienta con ángulo de posición 0° muestran mayores deformaciones y temperaturas en las zonas de la superficie mecanizada correspondientes al final



de la profundidad de pasada. Estos gradientes no se observan en los modelos con ángulo de posición 45° . Estos resultados son coherentes con la influencia del ángulo de posición en la aparición del desgaste de mella observada experimentalmente.

Los autores agradecen la financiación de este trabajo al Ministerio de Ciencia y Tecnología, la Comunidad de Madrid y la Universidad Carlos III de Madrid mediante los proyectos CCG08-UC3M/DPI-4494 y DPI 2008-06746.

Referencias.

- [1] M. Rahman, W.K.H. Seah and T.T. Teo, The Machinability of Inconel 718, J. of Materials Processing Technology, Volume 63, Issues 1-3, Jan. 1997, pp 199-204.
- [2] A. Muñoz-Sánchez, J.A. Canteli, J.L. Cantero and M.H. Miguélez, Numerical analysis of the tool wear effect in the machining induced residual stresses, Simul. Model. Pract. Theory. Vol. 19, (2011) p. 872, DOI: 10.1016/j.simpat.2010.11.011.

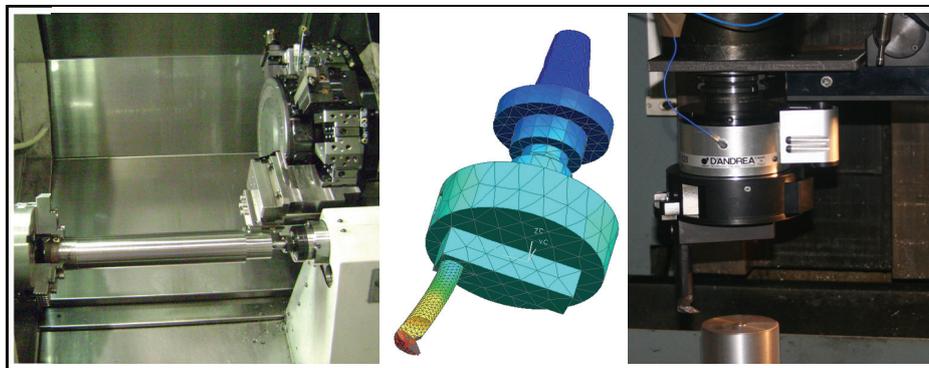
Monitorización en línea del proceso en el mandrinado de componentes de gran tamaño

**M. Arsuaga Berrueta, R. Lobato González, A. Gorriño Vicandi, I. Sanz Achurra,
L.N. López de Lacalle Marcaide**

*Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea
mikel.arsuaga@ehu.es*

Palabras clave: mandrinado, sensor, telemetría

En este trabajo se presenta un sistema innovador para el control de calidad en el proceso de mandrinado de grandes componentes con el objetivo de obtener cero piezas con defecto. En los sistemas tradicionales, el control de calidad se realiza al final de la línea de fabricación de forma que un defecto producido en un estadio inicial se propaga a lo largo de todo el proceso. El impacto de las piezas defectuosas en la producción es especialmente importante en sectores como el eólico, aeronáutico, químico, etc debido al gran tamaño y elevado coste de producción de las mismas. Por otra parte, el ajuste de la producción mediante el control estadístico del proceso resulta poco eficiente debido a la complejidad de las piezas, alto número de parámetros a controlar y al tamaño de las series generalmente cortas.



La nueva metodología está basada en la modelización del proceso de corte y en su monitorización en línea mediante hardware de telemetría desarrollado específicamente e integrado en el cabezal de mandrinado. Mediante las lecturas de los diferentes sensores y la modelización previa del proceso, el sistema reajusta la estrategia de mecanizado y los parámetros de trabajo para corregir posibles desviaciones debidas a desgastes de herramienta, flexiones de componentes mecánicos y vibraciones.

Referencias

- [1] R. Teti, K. Jemielniak, G. O'Donnell, D. Dornfeld. Advanced monitoring of machining operations, CIRP Annals - Manufacturing Technology 59 (2010) 717-739.
- [2] G. Totis, G. Wirtz, M. Sortino, D. Veselovac, E. Kuljanic, F. Klocke. Development of a dynamometer for measuring individual cutting edge forces in face milling, Mechanical Systems and Signal Processing, 24(2010)1844-1857.

Análisis comparativo de herramientas avanzadas para el torneado de superaleaciones

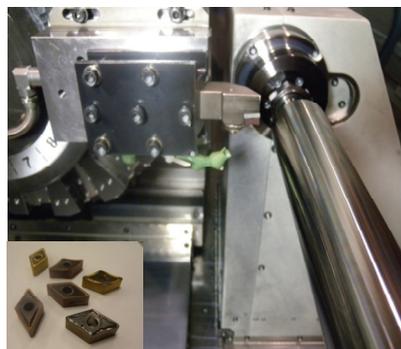
A. Fernández Valdivielso, A. Rodríguez, G. Urbicain, L.N. López de Lacalle

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco (UPV/EHU)
asier.fernandezv@ehu.es

Palabras clave: Torneado, Inconel 718, Materiales termoresistentes

El mecanizado de aleaciones termoresistentes supone uno de los mayores retos para el mecanizador puesto que se trata de materiales de alta energía específica de corte. Esta baja maquinabilidad resulta muy agresiva para la herramienta de corte por lo que las condiciones de corte deben ser cuidadosamente seleccionadas de cara a optimizar el compromiso entre productividad y vida de herramienta. Entre sus características más importantes figura una alta resistencia frente a cargas elevadas y, especialmente, su capacidad para mantener dicha propiedad frente a ambientes hostiles como altas temperaturas, oxidación y corrosión [1]. Gracias a ello, estas aleaciones base níquel-cromo son muy apreciadas en la fabricación de motores destinados al sector aeroespacial, industria petrolífera y gas, turbinas de gas o energía nuclear.

En el siguiente estudio, se aborda el torneado de la superaleación Inconel 718, una vez sometida a tratamiento de precipitación. Este Inconel precipitado resulta muy difícil de mecanizar debido a que el calor generado durante el corte no se evacúa en forma de viruta sino que se transmite a la herramienta. Además, el material sufre endurecimiento por deformación plástica lo que hace que el corte requiera mayor cantidad de energía a medida que se desarrolla el corte. Por último, la presencia de carburos en la microestructura del material da como resultado un rápido deterioro de la herramienta de corte por abrasión y adhesión [2-3].



A diferencia de otros materiales, el desgaste de herramienta en este tipo de materiales resulta decisivo y sus consecuencias deben controlarse dentro de un rango para mantener la pieza final en tolerancias. Como consecuencia del desgaste experimentado por la herramienta en el proceso de torneado, se producen cambios en su geometría que afectan a distintos aspectos del proceso como son el vector de fuerzas, la rugosidad de la pieza o la formación y evacuación de la viruta.

En el presente artículo, se estudian, bajo idéntica geometría de corte, diversas calidades de herramientas de las marcas comerciales más populares con objeto de evaluar su comportamiento ante el desgaste y cómo éste afecta a otros parámetros de torneado.

Referencias

- [1] Rolls Royce, plc (1986). *The Jet Engine*. 5th ed. England: The Technical Publications Department. 278
- [2] Dudzinski D, Devillez A, Moufki A, Larrouquère D, Zerrouki V, Vigneau J. A review of developments towards dry and high speed machining of Inconel 718 alloy. *Int. J. Mach. Tools Manufact.* 2004, 44, 439-56.
- [3] Bhatt A, Attia H, Vargas R, Thomson V. Wear mechanisms of WC coated and uncoated tools in finish turning of Inconel 718. *Tribology International*. 2010, 43, 1113-1121.

Estudio comparativo de dos sistemas de monitorización del desgaste de la herramienta y de la rugosidad superficial basados en LS-SVM y redes neuronales

D. Rodríguez Salgado, I. Cambero Rivero, J.M. Herrera Olivenza

Dpto. de Ingeniería Mecánica, Energética de y de los Materiales. Universidad de Extremadura
drs@unex.es

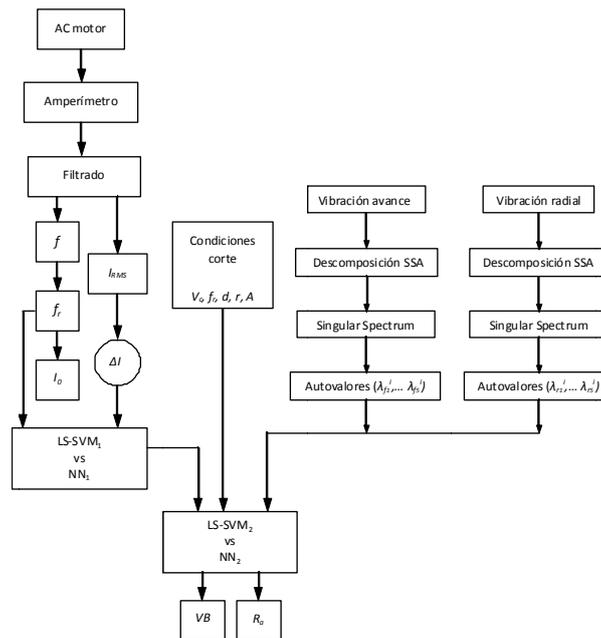
P.J. Núñez López, E. García Plaza

Mecánica Aplicada e Ingeniería de Proyectos. Universidad de Castilla La Mancha

Palabras clave: LS-SVM, Red neuronal, rugosidad superficial, desgaste herramienta

Los sistemas de monitorización del desgaste de la herramienta (VB) y de la rugosidad superficial (Ra) están siendo ampliamente estudiados con el objetivo de conseguir el denominado mecanizado desatendido. En este artículo se analizan dos sistemas de monitorización de estos parámetros mediante dos técnicas de predicción que han demostrado ser interesantes para estas aplicaciones y que son: el método Least-Square Vector Machine y las redes neuronales.

Las señales monitorizadas son las vibraciones en las direcciones de avance y radial y la intensidad de corriente consumida por el motor de avance del torno en ambos sistemas. Antes de predecir los dos parámetros VB y Ra , las señales monitorizadas son previamente procesadas para extraer la información más correlacionada con estos parámetros. En la figura 1 se muestra un esquema de los sistemas analizados.



Los resultados obtenidos presentan ventajas e inconvenientes para ambos sistemas de predicción, siendo interesante su análisis para futuros trabajos.

Referencias

- [1] F. J. Alonso, D.R. Salgado. Analysis of the structure of vibration signals for tool wear detection, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 22(3) (2008) 735-748.

Estudio comparativo de la maquinabilidad de las aleaciones de titanio Ti6Al4V y Ti10.2.3

I. Sacristán Pérez, A. Garay Araico, L.-M. Iriarte, P.-J. Arrazola

Línea de Investigación de mecanizado de Alto Rendimiento, Mondragon Goi Eskola Politeknikoa
pjarrazola@mondragon.edu

Palabras clave: Maquinabilidad, aleaciones de titanio, fuerzas, temperatura

Con el desarrollo de nuevos modelos de avión en los últimos años, se ha producido un importante aumento en la demanda de las aleaciones de titanio. Su elevada resistencia específica, excelente resistencia a la corrosión, y buen comportamiento a fatiga, que además se mantienen a elevadas temperaturas, hacen que sean muy adecuadas para su uso en el sector aeronáutico, con el fin de reducir el peso de los componentes y, a su vez, minimizar el consumo de combustible.

A pesar de sus excelentes propiedades mecánicas, su uso se ve limitado por el elevado coste de la materia prima y la fabricación de los componentes. Debido a su baja conductividad térmica, elevada reactividad química y bajo límite elástico, las aleaciones de titanio se clasifican entre los materiales más difíciles de mecanizar. Los escasos avances logrados en el desarrollo de nuevas herramientas de corte, y el desconocimiento del propio material a la hora de trabajarlo, dan lugar a problemas de productividad, algo impensable en un sector tan competitivo como el aeronáutico. Hasta ahora, el 50% de la producción de titanio correspondía a la aleación Ti-6Al-4V, del tipo $\alpha+\beta$. Pero el uso de aleaciones de titanio β y near- β , como el Ti-10V-2Fe-3Al, está aumentando de forma importante, reemplazando al Ti-6Al-4V en muchos componentes.

La aleación Ti-10V-2Fe-3Al, es una aleación β -metaestable que mejora las propiedades mecánicas con respecto al Ti-6Al-4V, ya que pueden ser térmicamente tratadas para conseguir diferentes combinaciones de resistencia y tenacidad a la fractura. Por ser una aleación relativamente nueva, hasta ahora son pocos los estudios realizados. Existen estudios de caracterización mecánica del material [1, 2], que intentan relacionar las propiedades mecánicas con las diferentes microestructuras [3, 4]. A pesar de la mejora en cuanto a propiedades mecánicas el Ti-10V-2Fe-3Al es más difícil de mecanizar. Las elevadas temperaturas en la zona de corte y mayores fuerzas específicas al mecanizar hacen que deba trabajarse con bajas velocidades de corte y pequeños avances para evitar el desgaste prematuro de la herramienta.

En este estudio se realiza un análisis comparativo de la maquinabilidad de las aleaciones Ti-6Al-4V y Ti-10V-2Fe-3Al, en corte ortogonal. Para ello se han medido las fuerzas de corte durante el mecanizado y las temperaturas en el filo de la herramienta, manteniendo constante la profundidad de pasada y modificando velocidad de corte y avance. El estudio se ha completado con un análisis de la microestructura, y con un análisis de las virutas extraídas durante los ensayos. Con este trabajo se pretende determinar una relación entre las propiedades mecánicas del material, la microestructura, las fuerzas de corte, la temperatura del filo de la herramienta y las características de la viruta, con el objetivo de comprender mejor y optimizar la maquinabilidad de estas nuevas aleaciones.

Referencias

- [1] H. Al-Salihi, G.J. Bettles, B.C. Muddle. The Ageing Behavior of Titanium Alloy Ti-10V-2Fe-3Al. *Materials Science Forum*, 645-656 (2010), 843-846.
- [2] S.K. Jha, K.S. Ravi Chandran, An unusual fatigue phenomenon: duality of the S-N fatigue curve in the β -titanium alloy Ti-10V-2Fe-3Al, *Scripta Materialia*, 48 (2003), 1207-1212.
- [3] D. Luquiau, X. Feugas, M. Clavel. Cyclic softening of the Ti-10V-2Fe-3Al titanium alloy. *Scanning Electron Microscopy*, 224 (1997), 146-156.

Modelización y validación de las tensiones residuales inducidas por aleaciones de aeronáutica

I. Izeta Lizarralde, P.-J. Arrazola Arriola

Facultad de ingeniería. Universidad de Mondragón, Mondragón, España
pjarrazola@mondragon.edu

J.C. Outeiro

Facultad de ingeniería. Universidad Católica de Portugal, Lisboa, Portugal

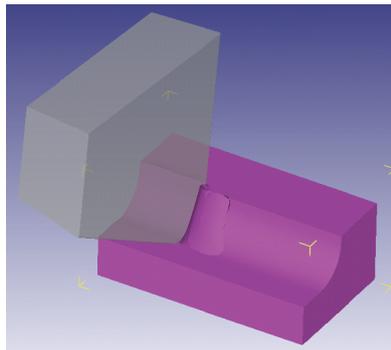
Palabras clave: tensiones residuales, titanio, mecanizado

Hoy en día el proceso de mecanizado tiene un gran significado, especialmente en sectores de alta competencia como la aeronáutica o la automoción. Aunque en los últimos años se hayan hecho grandes avances, uno de los problemas más difíciles de entender es el de las tensiones residuales que se generan en la superficie debido a los diferentes procesos de mecanizado.

La tensión residual es uno de los parámetros más importantes utilizados para evaluar la calidad de la superficie mecanizada. Actualmente, estos procesos de optimización se realizan sobre piezas reales utilizando costosos métodos de prueba y error.

Este proyecto busca desarrollar y validar modelos para la predicción de tensiones residuales en un proceso de torneado de una aleación de titanio, Ti-6Al-4V.

El trabajo se ha dividido en dos fases: la primera fase, se centra en el desarrollo de modelos para la predicción de tensiones residuales en el proceso de torneado del material antes mencionado. Para ello, se va utilizar el software DEFORM 3D, a fin de simular mediante el método de elementos finitos.



La segunda fase, se centra en la determinación experimental de las fuerzas, las temperaturas, la geometría de la viruta, el desgaste de la herramienta y las tensiones residuales inducidas por el proceso de torneado de la aleación antes mencionada.

Referencias

- [1] Woei-Shyan Lee, Chi-Feng Lin. Plastic deformation and fracture behavior of Ti-6Al-4V alloy loaded with high strain rate under various temperatures, *Materials Science and Engineering*, A241 (1998), 48-59.
- [2] J. C. Outeiro, J. C. Pina, R. M'Saoubi, F. Pusavec, I. S. Jawahir, Analysis of residual stresses induced by dry turning of difficult to machine materials, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 57 (2008), 77-80.
- [3] Durul Ulutan, Tugrul Ozel, Machining induced surface integrity in titanium and nickel alloys: A review, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 51(2011), 250-280.



Máquinas y Mecanismos

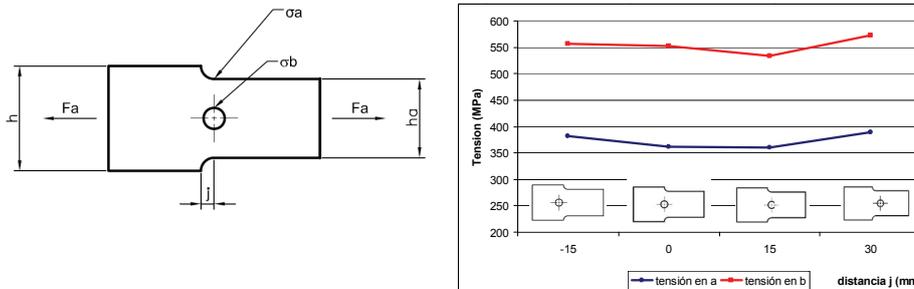
Diseño optimizado por minimización de las tensiones localizadas en una placa plana con orificio circular y cambio de ancho sometida a carga axial

R.M. Amé, D. Lezama

Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Lomas de Zamora.
Prov. de Buenos Aires. República Argentina
ingricardoame@gmail.com

Palabras clave: concentración de tensiones, elementos de máquinas, FEA.

Por la necesaria existencia de discontinuidades geométricas, muchas veces coincidentes, los componentes mecánicos presentan tensiones localizadas de alto valor [1]. Los textos no ofrecen información que vincule las tensiones localizadas con las discontinuidades geométricas combinadas y algunos investigadores han obtenido la distribución de tensiones en placas planas con varios orificios circulares [2-3]. El diseño debe estar dirigido a reducirlas, y en algunas oportunidades, reubicando adecuadamente una de las discontinuidades, sin afectar su funcionalidad, produce un efecto aliviador de las tensiones. El objetivo es determinar las variaciones de las tensiones σ_a y σ_b en función de la ubicación -dada por la cota j - de una perforación central respecto del cambio de sección, en un componente mecánico plano sometido a carga axial. constante.



Los resultados obtenidos indican que las tensiones se incrementan para $j \neq 0$, lo que permite plantear la hipótesis: “las discontinuidades geométricas combinadas, coincidentes en una misma sección transversal, en placas delgadas sometidas a cargas axiales, generan valores bajos de tensiones concentradas, respecto de otras ubicaciones relativas no coincidentes en la misma sección transversal”.

Referencias

- [1] Dasso, Gabriel M., Amé, Ricardo M., Lezama, D. “Tensiones localizadas por discontinuidades geométricas combinadas”. Xº Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Porto, Portugal. (2011). Pp 3103-3106.
- [2] Ting, K.; Chen, K. T.; Yang, W. S. “Applied alternating method to analyze the stress concentration around interacting multiple circular holes in an infinite domain”. *International Journal of Solids and Structures*, 1999, vol. 36, Issue 4, pp 533-556.
- [3] Monroy, Héctor A.; Godoy, Luis A., “Un sistema computacional para la simulación de interacción de defectos estructurales”. Sexto Congreso Argentino de Mecánica Computacional, MECOM 99. 1999. Mendoza, Argentina.

Modelos matemáticos para la determinación de fuerzas de amarre en mandriles expansibles

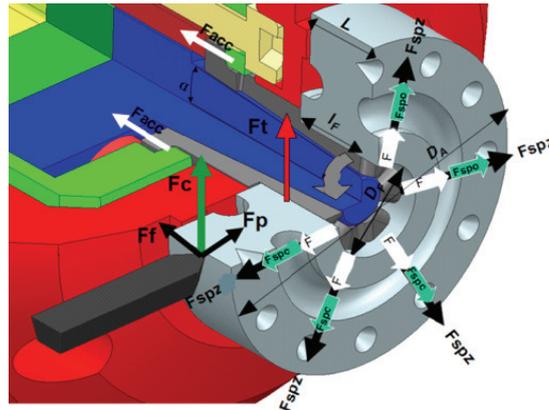
E. Soriano Heras, M.B. Ramírez Berasategui, H. Rubio Alonso

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid
esoriano@ing.uc3m.es

Palabras clave: mandril expansible, fuerza de amarre, método de los Elementos Finitos.

La fabricación moderna no puede prescindir del uso de mandriles expansibles en el campo del mecanizado, torneado, rectificado, fabricación de engranajes y control de calidad. En estos procesos, el mandril juega un papel muy importante, para lo cual se le exigen prestaciones muy elevadas. Los diferentes campos de aplicación de los mandriles requieren diseños amplios y variados, que van, desde versiones manuales, hasta sistemas automáticos con variaciones tanto en su acoplamiento a máquina como en sus campos de amarre, además de otras posibilidades no menos importantes como la detección de presencia de pieza, vulcanizados contra viruta, etc. El principal problema de los elementos de amarre en los procesos de alta velocidad de mecanizado es el desamarre provocado por la fuerza centrífuga [1].

En este artículo, se propone un nuevo modelo analítico para mandriles expansibles automáticos. En el modelo analítico se explicarán los mecanismos de amarre\desamarre de piezas, se calculará la fuerza de amarre y desamarre así como la deformación en la pinza, teniendo en cuenta las fuerzas debidas al proceso de mecanizado. Los resultados del modelo analítico se comprobarán con otro modelo virtual de elementos finitos, de dimensiones realistas, realizado con el software comercial ANSYS.



Se estimará el error relativo entre ambos modelos considerando una solución aceptable una diferencia inferior al 10%. En ambos modelos, analítico y de elementos finitos, se debe demostrar el comportamiento lineal de la pinza [2], en comparación con otros elementos de amarre (platos de garras) que no lo son [1]. También se abordará el análisis de la fuerza centrífuga y se verificará que su efecto no produce un desamarre significativo

Referencias

- [1] P.F.Feng, D.W.Yu, Z.J.Wu, E.Uhlmann. Jaw-chuck stiffness and its influence on dynamic clamping force during high-speed turning. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 48, 1268-1275. 2008.
- [2] Norma DIN-6343 Collet-dead length type. Deutsches Institut Fur Normung E.V. (German National Standard) / 01-Feb-1993 / 5 pages.

Capacidad de carga estática generalizada en rodamientos de vuelco de contacto angular de 4 puntos. Influencia de la precarga.

J. Aguirrebeitia, M. Abasolo, J. Vallejo

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco
josu.aguirrebeitia@ehu.es

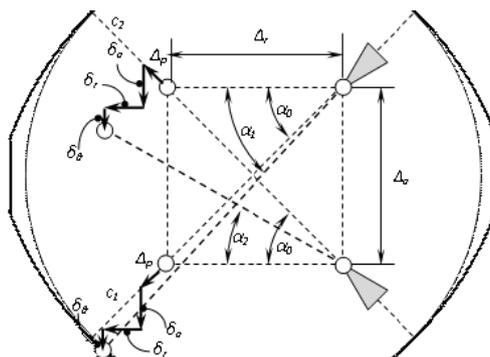
J. Plaza

Dpto. de Tecnología Mecánica. Gamesa Innovation and Technology
jplaza@gamesacorp.com

Palabras clave: Rodamientos de vuelco, capacidad de carga, precarga

En este trabajo se presenta la generalización del desarrollo teórico publicado en [1,2], donde se deducía una expresión para el cálculo de la capacidad estática generalizada en rodamientos de vuelco de contacto angular de 4 puntos. En esos trabajos se consideraba que no existía precarga alguna entre pistas y bolas, además de que se asumía la constancia del ángulo de contacto con la carga aplicada.

El presente desarrollo incluye dichos efectos de variabilidad de ángulo de contacto y de precarga suministrada a los contactos bola-pista de tal forma que los resultados se adecúan más a las casuísticas reales que se manejan en la práctica. Dichos resultados se presentan de forma gráfica, normalizada y paramétrica de tal manera que son aplicables a cualquier rodamiento de vuelco de contacto angular de 4 puntos. En la figura se muestra el modelo de interferencia geométrica entre bola y pista considerado en este trabajo, que es una generalización del propuesto en [1,2].



Asimismo, se presentan también algunos resultados numéricos del modelo de elementos finitos empleado en [3] y modificado para dar cabida al fenómeno de precarga, que atestiguan la adaptación del acercamiento teórico.

Referencias

- [1] J. Aguirrebeitia, R. Avilés, I. Fernandez de Bustos, M. Abasolo, Calculation of the General Static Load-Carrying Capacity for the Design of Four Contact Point Slewing Bearings. *Journal of Mechanical Design*, 132, 064501. 2010.
- [2] J. Aguirrebeitia, J. Vallejo, M. Abasolo, R. Avilés, I. Fernandez de Bustos, Capacidad de carga estática generalizada en rodamientos de vuelco de contacto angular de 4 puntos, XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Ciudad Real, Noviembre 2010.
- [3] J. Aguirrebeitia, M. Abasolo, R. Ansola, J. Vallejo, I. Fernandez de Bustos, Modelo detallado para análisis estático de conjuntos de rodamiento de vuelco, XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Ciudad Real, Noviembre 2010.

Síntesis estructural de las familias de manipuladores paralelos de 3 grados de libertad

J.I. Ibarreche Mendía

Aernnova Engineering, Parque tecnológico de Álava.

C. Pinto Camara, V. Petuya Arcocha, A. Hernández Frías

*Dpto. de Ingeniería Mecánica, Universidad del País Vasco
a.hernandez@ehu.es*

Palabras clave: manipulador paralelo, síntesis estructural, grupos de desplazamientos, ligadura cinemática, patrón de movimiento

La síntesis estructural (también denominada morfológica) tiene por objeto determinar la topología del manipulador paralelo, de forma que su plataforma móvil siga un determinado patrón de movimiento [1]. Hay varios métodos que pueden utilizarse para realizar la síntesis estructural; uno de ellos es la teoría de grupos de desplazamientos, la cual se encarga de obtener diferentes alternativas para las cadenas cinemáticas que constituyen el robot. La teoría de grupos de desplazamientos emplea las propiedades matemáticas de Grupo de Lie que poseen los desplazamientos de sólido rígido. Estos conceptos matemáticos no fueron introducidos en el ámbito de la síntesis estructural de mecanismos hasta los primeros trabajos de J. Hervé [2]. De esta manera, la cinemática del sólido rígido se plantea a partir del grupo general de desplazamientos de sólido rígido de dimensión 6 y de sus 12 Subgrupos. El grupo de desplazamientos del elemento terminal de una cadena abierta, se obtiene a partir del producto de subgrupos de dimensión inferior, materializados mediante pares cinemáticos simples.

A partir de los conceptos anteriores, se pretende obtener de una forma sistemática todas las familias de manipuladores paralelos de 3 grados de libertad. Sólo se considerarán manipuladores paralelos con un número de cadenas cinemáticas (patas) igual al número de grados de libertad de su elemento terminal (manipulador completamente paralelo). Además, se incluirá la condición de que todas las patas del manipulador sean estructuralmente iguales, estando ubicadas de forma simétrica preferentemente. Los patrones de movimiento del elemento terminal a estudiar son 3T, 2T1R, 1T2R y 3R, donde T y R hacen referencia al carácter de traslación y rotación de los grados de libertad. La metodología que se va a seguir es básicamente la expuesta en la referencia [3] y que en síntesis es la siguiente: 1) identificar las premisas y fundamentos que van a guiar la síntesis, 2) obtener todas las posibles familias de ligaduras cinemáticas, 3) materialización de las ligaduras mediante pares cinemáticos, 4) intersección de los desplazamientos generados por cada pata de forma que verifiquen el patrón de movimiento de la plataforma móvil.

Las arquitecturas resultantes serán identificadas como existentes en caso de que hayan sido referenciadas en trabajos previos, o como novedosas en caso contrario. De esta manera, estas últimas podrían constituir una fuente de nuevos diseños.

Referencias

- [1] O. Altuzarra, Y. San Martín, E. Amezua, A. Hernández. Motion pattern analysis of parallel kinematic machines: A case study”, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 25 (2009), 432– 440.
- [2] J. M. Hervé. Analyse structurelle des mécanismes par groupe des déplacements, Mechanism and Machine Theory, 13 (1978), 437–450.
- [3] O. Salgado. Síntesis, Análisis y Diseño de Manipuladores Paralelos de Baja Movilidad, Tesis Doctoral, Depto. Ingeniería Mecánica, ETSI de Bilbao, Universidad del País Vasco, 2008.

Análisis del efecto del apriete y la rigidez de contacto en la precisión de un mecanismo de levas conjugadas

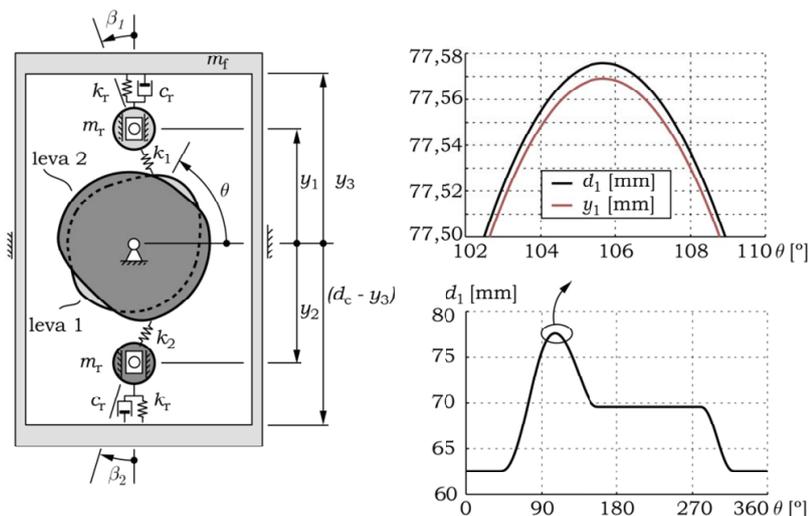
P. Català Calderón, S. Cardona Foix, M.A. De los Santos López

Departamento de Ingeniería Mecánica, ETSEIB, UPC, Avda. Diagonal 647, Barcelona, España
{pau.catala,salvador.cardona,tania.santos}@upc.edu

Palabras clave: Levas conjugadas, precarga, apriete, contacto de Hertz

Los mecanismos de levas conjugadas requieren de un ajuste con apriete para compensar las tolerancias de fabricación y montaje [1] y al mismo tiempo evitar la separación de las superficies de las levas y los rodillos cuando la dinámica requiere de fuerzas de atracción entre ellas. En base a un mecanismo de levas conjugadas utilizado en el proceso automático de fabricación de bozales para botellas de cava, se estudia el efecto en el comportamiento dinámico del apriete correspondiente a utilizar en el mecanizado un perfil con un offset de 62,5 μm respecto el perfil teórico.

En el estudio de la precisión en el seguimiento de la ley de desplazamiento teórica d_1 [2] se realiza el análisis cuasi-estático y de la dinámica directa del mecanismo en condiciones nominales y con dos modelizaciones distintas de la rigidez de contacto entre la leva y el rodillo, basadas en la formulación de Hertz para los casos de contacto general [3] y contacto cilíndrico. Al mismo tiempo se calculan las deformaciones conjuntas de las levas y los rodillos, así como las presiones y fuerzas de contacto. La comparación de las deformaciones conjuntas con los valores obtenidos experimentalmente de rugosidad y ondulación de las superficies permite juzgar la idoneidad de los modelos de contacto utilizados.



Referencias

- [1] Lee, T. et al. Design of cam-type transfer unit assisted with conjugate cam and torque control cam. *Mechanism and Machine Theory*, 44 (6) (2009), 1144-1155.
- [2] CHANG, W. et al. Inspecting profile deviations of conjugate disk cams by a rapid indirect method. *Mechanism and Machine Theory*, 44(8) (2009), 1580-1594.
- [3] Català, P., Cardona, S., De los Santos, M.A., Martínez, J.M. Influencia de la rigidez de contacto leva-palpador en la desviación de la ley de desplazamiento. *Actas del X Congreso Ibero-americano en Ingeniería Mecánica - CIBEM10*, (2011), 2691-2697.

Indicador de rendimiento de una máquina de recantado basada en un robot paralelo

J. Corral Sáiz, Ch. Pinto, F.J. Campa Gómez y S. Herrero Villalibre

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco

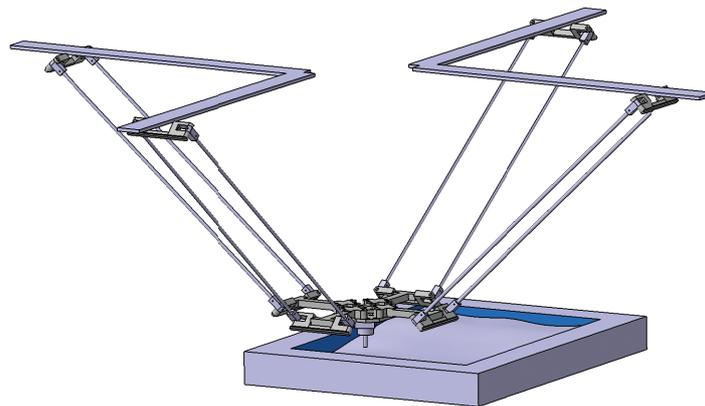
j.corral@ehu.es

Palabras clave: robot paralelo, recantado, rigidez, chatter, indicadores de rendimiento

Tradicionalmente, las operaciones de mecanizado básicas se han realizado mediante grandes máquinas de mecanizado basadas en controles numéricos computarizados. Existen otras operaciones de mecanizado relacionadas con etapas de acabado de la pieza que pueden ser ejecutadas más eficientemente mediante otras arquitecturas de máquina. En concreto, en este trabajo se presenta un estudio de la adaptabilidad de una máquina de cinemática paralela a un proceso de acabado: el recantado (ver figura). Para ello se realiza un estudio del rendimiento estructural del manipulador en su espacio de trabajo.

El estudio se basa en dos enfoques: el primero, se basa en la caracterización estática del manipulador en base al error de localización de superficie (ELS) [1]. Este parámetro se obtiene, a su vez, del estudio de rigidez del manipulador. El segundo se refiere a las características dinámicas estructurales del manipulador como son las frecuencias naturales y los modos propios de deformación. Teniendo en cuenta ambos enfoques y con un modelo de comportamiento del proceso se determina la adecuación del manipulador al proceso en base a la aparición de chatter. El chatter es un fenómeno de inestabilidad del proceso de mecanizado cuyas consecuencias van desde una mala calidad en el acabado de la pieza (errores dimensionales y ondulaciones en la superficie) hasta incluso el colapso de la máquina.

En base a estos dos enfoques se define el parámetro de rendimiento estructural que mide la adecuación del manipulador al proceso de recantado. Este rendimiento se calcula en el espacio de trabajo del manipulador de manera que se van a obtener unas regiones dentro de dicho espacio en las cuales se verifiquen distintos requisitos de calidad del proceso. De los resultados obtenidos se deduce que el rendimiento es función de la localización de la herramienta en el espacio de trabajo. Esta dependencia da lugar a la definición de distintas regiones óptimas de trabajo del manipulador.



Referencias

- [1] Chanal, H., Duc, E. and Ray, P., "A study of the impact of machine tool structure on machining processes". *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 46, (2006), 98-106.

Análisis dinámico en manipuladores paralelos con movimientos parásitos

S. Herrero Villalibre, J. Corral Sáiz, Ch. Pinto, J. Aginaga García

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco
saioa.herrero@ehu.es

Palabras clave: manipulador paralelo, movimiento parásito, dinámica

En este trabajo se presenta un estudio comparativo del problema dinámico inverso de un manipulador paralelo entre el caso completo –considerando los movimientos parásitos- y un caso simplificado –sin considerar los movimientos parásitos. Obtener un modelo simplificado de la dinámica supondría que el problema fuese más fácil y rápido de resolver. Actualmente, este tipo de manipuladores tienen gran variedad de aplicaciones, como la orientación de placas solares, y la simplificación del estudio del problema dinámico sería interesante en el dimensionamiento de sus componentes.

En primer lugar, se estudia la dinámica del manipulador aplicando las ecuaciones de Euler para el caso general; es decir, se tienen en cuenta tanto los movimientos principales como los parásitos. Después, se repite el mismo estudio tomando la hipótesis de que los movimientos parásitos pueden ser despreciados. Si la desviación entre los dos enfoques es menor que un error máximo aceptable, previamente definido, los movimientos parásitos se pueden despreciar, simplificándose de forma considerable el estudio de la dinámica del manipulador, teniendo menor número de ecuaciones a resolver, y siendo éstas más sencillas de resolver, lo que hace que el coste computacional se reduzca notablemente. Si, por el contrario, el error cometido al tomar la hipótesis de movimientos parásitos nulos es mayor que el error máximo aceptable, los movimientos parásitos no podrán ser despreciados y el problema dinámico tendrá que ser resuelto de forma completa.

Finalmente, el método anterior es aplicado al manipulador paralelo 3-PRS (ver figura), cuya cinemática ha sido ampliamente estudiada por [1], obteniéndose unas fuerzas de reacción muy similares en los dos casos a estudio.



Por lo tanto, teniendo en cuenta la poca influencia que los movimientos parásitos tienen sobre las inercias, podrán ser finalmente despreciados, quedando el estudio del problema dinámico simplificado.

Referencias

- [1] J.A. Carretero, R.P. Podhorodeski, M.A. Nahon, C.M. Gosselin. Kinematic Analysis and Optimization of a New Three Degree-of-Freedom Spatial Parallel Manipulator, *J. Mechanical Design*, 122 (2000), 17-24.

Determinación vía MEF de la fuerza de inserción en el proceso de construcción de un ajuste a presión

M.A. Lorenzo, C. Blanco Herrera, J.C. Pérez Cerdán
Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de Salamanca
mlorenzo@usal.es

Palabras clave: ajuste, interferencia, elementos finitos

Los ajustes por interferencia o uniones a presión permiten transmitir un par entre dos elementos ensamblados mediante la presión p que resulta del cierre de fuerza por diferencia de diámetros. En un ajuste por interferencia, el agujero puede ser montado sobre el eje según dos métodos diferentes: radial y axial. En el montaje radial, el agujero es calentado o el eje enfriado. Si el agujero es montado sobre eje mediante una fuerza axial debe vencerse la fuerza de fricción entre las superficies ajustadas.

De acuerdo con la teoría de cilindros a presión y suponiendo que la distribución de la presión p es uniforme, lo que sólo ocurre cuando los cilindros ajustados tienen igual longitud, la fuerza de fricción, o fuerza mínima necesaria para montar axialmente un ajuste, viene dada por:

$$F = \mu p 2\pi R l \quad (1)$$

donde μ es el coeficiente de rozamiento entre las superficies ajustadas, R es el radio de transición y l la longitud del agujero. La presión de contacto p es función de la interferencia radial δ . De la ec. (1) es fácil deducir que $M = \mu p 2\pi R^2 l$ es el par de torsión máximo que puede transmitirse entre los elementos ajustados.

Como consecuencia del proceso de inserción del eje en el agujero, se producen en ambas piezas una serie de cambios, tales como la aparición de tensiones residuales, variaciones en la presión de contacto o, incluso, la generación de deformaciones plásticas que pueden afectar al funcionamiento del ajuste por interferencia. Así, Özel et al. [1] han estudiado como varían las tensiones durante el proceso de inserción axial. Señalan que, en el momento del primer encuentro con su pareja durante el ajuste, cada punto del eje y del agujero puede entrar en la región plástica e indican que este hecho debería tenerse en cuenta en el diseño. Sin embargo, no muestran cómo hacerlo, ya que no analizan las tensiones al final del proceso de ajuste en función del comportamiento del material.

Mediante simulaciones basadas en el método de los elementos finitos (MEF), en este trabajo se plantea, como objetivo fundamental, analizar la variación de la fuerza de inserción axial de un eje en un agujero (ambos de acero) en el proceso de construcción de un ajuste a presión y comparar la misma con la predicción deducida de la teoría. Se prueba que el valor de dicha fuerza puede ser menor que el obtenido teóricamente mediante la ec. (1) y, en consecuencia, también puede serlo el valor del máximo par M que puede ser transmitido, alterándose de esta forma las condiciones de trabajo del ajuste inicialmente previstas en el diseño. Por último, se analiza en qué medida depende la fuerza de fricción de algunos parámetros como son la geometría del ajuste, la resistencia del acero o el propio coeficiente de fricción.

Referencias

[1] A. Özel, Ş. Temiz, M. Demir Aydin & S. Şen. Stress analysis of shrink-fitted joints for various fit forms via finite element method, *Materials and Design*, 26 (2005), 281-289.

Materiales con memoria de forma metálicos y plásticos, estudio y aplicación

J. Barandiaran Mancheño,

*Dpto. Materiales y Estructuras. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
barandiaranj@inta.es*

J. Muñoz García,

*Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación. ETSII-Universidad Politécnica de Madrid
jumunoz@etsii.upm.es*

Palabras clave: elastómero, SMA, caracterización, espacio

Hace ya algunos años, dentro del Instituto nacional de técnica aeroespacial surgió el interés por la aplicación de materiales con memoria de forma en actuadores, primero enfocado al uso en mandos de vuelo en proyectos aeronáuticos, después reduciendo su tamaño, para su uso en pequeños actuadores en programas espaciales.

Los primeros estudios se realizaron sobre materiales metálicos, aleaciones de Ni Ti, se estudio su uso en superficies de control adaptativas y se realizaron ensayos de caracterización del material en cables.

El comportamiento del material pese a ajustarse en líneas generales al que se describe en obras de referencia como la de Duerig, Melton, Stöckel y Wayman [1] requiere de una serie de ensayos de cada lote para cuantificar cada una de sus características antes de poder considerar sus uso.

De estos ensayos se ha concluido acotando el rango de aplicaciones donde este tipo de actuadores son de aplicación.

Más recientemente se ha iniciado un proceso similar de estudio y caracterización de materiales plásticos, estos materiales presentan ventajas e inconvenientes respecto a los materiales metálicos antes considerados para estas aplicaciones.

La caracterización de elastómeros en condiciones de funcionamiento (presión y temperatura) de los programas espaciales está en una fase muy temprana, pero ya se están proponiendo distintas aplicaciones para estos materiales, similares a la propuesta por Barbet [2].

Los primeros ensayos se realizaron sobre un Hytrel suministrado por la empresa DuPont, y se empezó por determinar sus características mecánicas.

Finalmente se trata de comparar las características de los materiales metálicos y plásticos con memoria de forma, acotar el rango de aplicación de los materiales plásticos como antes se hizo con las aleaciones metálicas y mediante una cuidada caracterización utilizarlos en aplicaciones concretas dentro de los programas en los que INTA está involucrado, tanto aeronáuticos como espaciales, dedicando un especial esfuerzo a estos últimos.

En este artículo se presentan, tanto los resultados de estos ensayos, como las propuestas de aplicación de estos materiales en varios programas espaciales.

Referencias

- [1] T W Duerig; K N Melton; D Stöckel; C M Wayman, Engineering aspects of shape memory alloys, Ed: Butterworth-Heinemann
- [2] Barbet, V. A shape memory alloy actuator for solar array deployments, ESA, 2005.

Estrategias para el enfriamiento de husillos a bolas en máquinas de alta dinámica con el objetivo de mejorar errores de posicionamiento

A. Arana, A. Oyanguren, A. Gallo, J. Larrañaga, I. Ulacia

Dpto. de mecánica y producción industrial, Escuela Politécnica Superior, Mondragon Unibertsitatea

aarana@mondragon.edu

R. Gonzalez

Dpto. I+D, Shuton S.A.

Palabras clave: husillos a bolas, refrigeración, simulación numérica

Las perspectivas europeas y mundiales demuestran que la tendencia en el sector de la máquina herramienta es fabricar máquinas que logren aumentar las cadencias de producción manteniendo o incluso aumentando la calidad geométrica de las piezas. Un claro ejemplo de ello es el mecanizado a alta velocidad. Dentro de las tecnologías que rodean el mecanizado a alta velocidad, uno de los aspectos fundamentales es el desarrollo de accionamientos de ejes de alta dinámica basados en husillos a bolas que operan a rangos de velocidades superiores a las habituales (90 m/min frente a 30 m/min). El aumento de la productividad (velocidad de avance) conlleva una clara intensificación de la carga térmica en una máquina-herramienta produciendo un aumento continuo de la temperatura en el sistema de accionamiento. Los mayores valores de temperatura se alcanzan en la zona de la tuerca del husillo a bolas. Hasta ahora en máquina herramienta se ha convivido con el calentamiento de los husillos aceptándolo como un mal menor frente a las ventajas que ofrece como solución de traslación.

A día de hoy, no existe una solución económica para combatir este calentamiento y se acepta los errores derivados de este calentamiento tales como dilataciones en husillo, sobrecargas en los apoyos, errores de posicionamiento, problemas en la lubricación debido a la evaporación del aceite, disminución de vida. En el presente trabajo se analizan diferentes estrategias de enfriamiento de accionamientos de ejes de alta dinámica basados en husillos a bolas. Primeramente se ha analizado la generación de calor en el contacto bola-pista mediante modelos numéricos. Estos modelos han sido validados con medidas experimentales de temperatura en un banco de ensayos de alta dinámica a velocidades entre 80-100 m/min. En estos ensayos se han alcanzado temperaturas máximas de 65°C en la tuerca. Una vez conocida la fuente de generación de calor se han analizado diferentes soluciones de enfriamiento obteniendo temperaturas máximas en la tuerca del husillo de 30°C.

Estudio de la influencia de los errores de posición en el reparto de carga en transmisiones planetarias

M. Iglesias Santamaría, A. Fernández del Rincón, F. Viadero Rueda,
A. de Juan de Luna, P. García Fernández, R. Sancibrián Herrera
Dpto. de Ingeniería Estructural y Mecánica. Universidad de Cantabria
fernandra@unican.es

Palabras clave: epicicloidal, planetario, reparto de carga

En esta contribución se utiliza un modelo avanzado de transmisión mediante engranajes desarrollado por los autores, y que ya ha sido utilizado con éxito en [1] para simular el efecto de grietas y pitting sobre diversas variables de engrane (error de transmisión estático, reparto de cargas entre dientes, etc.). En el presente trabajo se generalizan las capacidades del modelo para hacer posible la inclusión de engranajes interiores, y se aprovecha esta nueva funcionalidad para simular el comportamiento de transmisiones planetarias.

El rendimiento de las transmisiones planetarias está estrechamente condicionado por la igualdad de reparto que se alcance entre cada una de las trayectorias de carga. La existencia de tolerancias, errores de fabricación y de posicionamiento de los planetas, así como otro tipo de fenómenos que suceden durante el funcionamiento real de las transmisiones, obliga a buscar métodos que permitan controlar dicho reparto de cargas entre planetas, haciéndolo lo más equilibrado posible [2]. Existen diversas soluciones a este problema, como son las configuraciones con sol flotante o anillo flexible. Una tercera opción es la introducción deliberada de soportes de unión planeta-portasatélites flexibles, que acomodan los errores de fabricación y los posibles desalineamientos existentes, mejorando de esta manera el reparto de cargas [3].

El modelo rotacional de transmisión planetaria que se presenta en este trabajo permite estudiar de manera rápida y sencilla el reparto de cargas en transmisiones planetarias. Por ejemplo, permite observar cómo el incremento del par aplicado resulta en una mejora del reparto de carga. Además, se estudia efecto que sobre el reparto de cargas tienen los errores de posicionamiento de los planetas, permitiendo observar cómo dicho reparto es menos sensible ante modificaciones radiales de la posición de los planetas, y fuertemente dependiente ante errores de posicionamiento tangencial.

Referencias

- [1] A. Fernández del Rincón *et al.* Effect of cracks and pitting defects on gear meshing, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part C, Journal of mechanical engineering science, (2012).
- [2] J. Derek Smith. Gear Noise and Vibration, Marcel Dekker Inc., (2003).
- [3] Cai-Chao Zhu *et al.* Modal Prediction and Sensitivity Analysis of Wind-Turbine Planetary Gear System with Flexible Planet Pin, Advanced Science Letters, Vol. 4, 1219–1224, (2011).

Comparación de modelos de engranajes para el cálculo de desalineaciones causadas por transmisión de potencia

Francisco T. Sánchez Marín, Víctor Roda Casanova, José L. Iserte Vilar

*Dpto. de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I
Francisco.Sanchez@emc.uji.es*

Alfonso Fuentes Aznar, Ignacio González Pérez

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Politécnica de Cartagena

Palabras clave: engranajes, desalineación

La desalineación de las ruedas dentadas en engranajes provoca diversos efectos que afectan negativamente al funcionamiento de la transmisión y reducen notablemente su vida útil. Entre estos efectos destacan la aparición de errores de transmisión, que impiden el cumplimiento de la ley fundamental del engrane, y el desplazamiento del área de contacto hacia el borde del diente, lo que concentra las tensiones de contacto [1].

Normalmente, los modelos numéricos empleados para el diseño de transmisiones por engranaje no consideran la flexibilidad de los ejes ni la relación existente entre la cantidad de potencia transmitida y la desalineación resultante por flexión de los ejes.

En este trabajo se proponen cuatro diferentes modelos, dos basados en la teoría de la viga de Bernoulli y otros dos basados en modelos de contacto de elementos finitos, para estimar la desalineación de las ruedas en una transmisión de engranajes cilíndricos rectos de una sola etapa. En la comparación de modelos se ha estudiado la influencia del par transmitido, de la longitud de los ejes y de la posición relativa de la ruedas sobre los ejes en los errores de alineación resultantes. Asimismo, se ha valorado el coste computacional asociado a la resolución de cada modelo.

Los resultados han mostrado diferencias notables entre los modelos y ha permitido evaluar el modelo óptimo teniendo en cuenta tanto la precisión de los resultados como el coste computacional.

Referencias

[1] Litvin, F. L., Lian, Q., and Kapelevich, A. L., 2000, "Asymmetric Modified Spur Gear Drives: Reduction of Noise, Localization of Contact, Simulation of Meshing and Stress Analysis", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 188(1-3), pp. 363-390.

Desarrollo de una estrategia basada en el MEC para el análisis tensional de engranajes

J.L. Iserte Vilar, F.T. Sánchez Marín

*Dpto. de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I
jiserte@uji.es*

I. González Pérez, A. Fuentes Aznar

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Politécnica de Cartagena

Palabras clave: engranajes, elementos de contorno, análisis tensional, problema de contacto

Este trabajo se sitúa en el marco de la investigación referente al diseño de transmisiones avanzadas de engranajes. En dichas transmisiones alguna de las ruedas dentadas tiene superficies modificadas con respecto a la estándar [1]. Estas modificaciones persiguen una mejora en la calidad de la transmisión.

En el trabajo se presenta una estrategia para el cálculo tensional de los engranajes durante la transmisión del par. En el desarrollo de la misma se asume la hipótesis simplificada de contacto normal sin fricción, que ha mostrado tener un suficiente grado de aproximación en este tipo de aplicaciones.

Una de las etapas del proceso del cálculo consiste en la obtención de la matriz de conformidad que relaciona las presiones en los nodos de la posible zona de contacto con los desplazamientos de los mismos. Este proceso se realiza aplicando el método de los elementos de contorno a cada rueda dentada por separado. Una vez obtenida la matriz de conformidad, las presiones en la zona de contacto para un punto concreto del ciclo de engrane pueden obtenerse adaptando un algoritmo ideado por Johnson [2].

Una vez conocidas las presiones en la zona de contacto puede calcularse la distribución de tensiones en el interior del diente debida a las presiones de contacto, así como las tensiones en la base del diente debida a la flexión, y los errores de alineación debidos a estas deformaciones elásticas utilizando de nuevo el método de los elementos de contorno a cada elemento de la transmisión por separado.

La aproximación propuesta tiene la ventaja de reducir notablemente el número de incógnitas a la hora de resolver el problema de contacto para cada punto del ciclo de engrane, ya que sólo están involucrados los nodos de la posible zona de contacto.

El método propuesto se ha implementado en Visual C#. Como parte de su validación se ha aplicado al problema de contacto de esferoides. Los resultados obtenidos se han comparado con los correspondientes obtenidos al aplicar la teoría de Hertz [3]. Los resultados muestran una gran aproximación entre los valores de presión de contacto obtenidos analíticamente según la teoría de Hertz y los obtenidos mediante el método propuesto.

Referencias

- [1] F. L. Litvin, A. Fuentes, Gear Geometry and Applied Theory, Cambridge University Press, (2004).
- [2] K. L. Johnson, Contact Mechanics, Cambridge University Press, (1985).
- [3] H. Hertz, On the contact of elastic solids. Miscellaneous Papers by H. Hertz, Eds. Jones and Schott (1896).



Mecánica Computacional

Desgaste y fricción ortótropa en problemas de contacto 3D

L. Rodríguez-Tembleque Solano, R. Abascal García

Dpto. de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Universidad de Sevilla
Luisroteso@us.es

Palabras clave: Desgaste anisótropo, Fricción anisótropa, Contacto 3D, Método de los Elementos Finitos, Método de los Elementos de Contorno

Este documento presenta una nueva metodología para calcular el desgaste superficial que tiene lugar en problemas de contacto 3D, bajo leyes de desgaste y fricción ortótropas. Esta formulación está basada en los trabajos [1, 2, 3] desarrollados por los autores. Emplea el Método de los Elementos Finitos (MEF) y el Método de los Elementos de Contorno (MEC) para el cálculo de los coeficientes de influencia elásticos, y presenta el problema de contacto en base a una formulación Lagrangiana aumentada, con funciones de proyección para imponer las restricciones de contacto. El modelo de desgaste anisótropo, así como la ley de fricción considerada están basados en [4, 5, 6]. La metodología propuesta se ilustra mediante algunos ejemplos, en los que se presentan además algunos estudios sobre la influencia de la anisotropía en el desgaste.

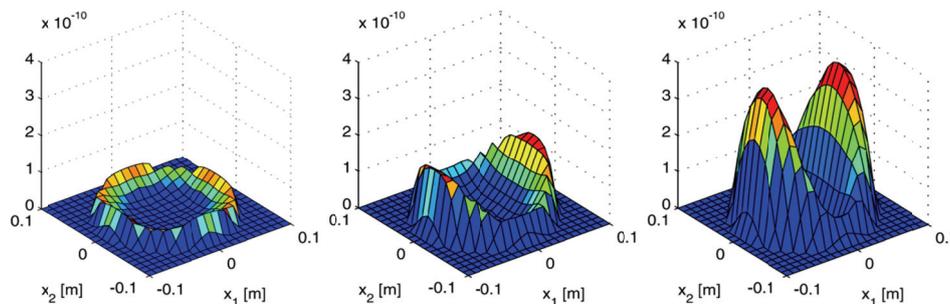


Fig. Profundidad de desgaste superficial en función del grado de anisotropía.

Referencias

- [1] L. Rodríguez-Tembleque, R. Abascal, M.H. Aliabadi. A boundary element formulation for wear modeling on 3D contact and rolling-contact problems, *Int. J. Solids Struct.*, 47 (2010), 2600-2612.
- [2] L. Rodríguez-Tembleque, R. Abascal, M.H. Aliabadi. A boundary element formulation for 3D fretting-wear problems, *Eng. Anal. Bound. Elem.*, 35 (2011), 935-943.
- [3] L. Rodríguez-Tembleque, R. Abascal, M.H. Aliabadi. Anisotropic wear framework for 3D contact and rolling problems, *Comput. Method. Appl. M.*, 241 (2012), 1-19.
- [4] A. Zimitrowicz. Constitutive equations for anisotropic wear, *Int. J. Engng. Sci.*, 31 (1993), 509-528.
- [5] A. Zimitrowicz. Models of kinematics dependent anisotropic and heterogeneous friction, *Int. J. Solids Struct.*, 43 (2006), 4407-4451.
- [6] A. Zimitrowicz. Contact stress: a short survey of models and methods of computations, *Arch. Comput. Methods*, 80 (2010), 1407-1428.

Diseño óptimo de topología en estructuras de máxima rigidez mediante el método SERA

C. Alonso Gordo, R. Ansola Loyola, J. Canales Abaitua

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco
calonso015@ikasle.ehu.es

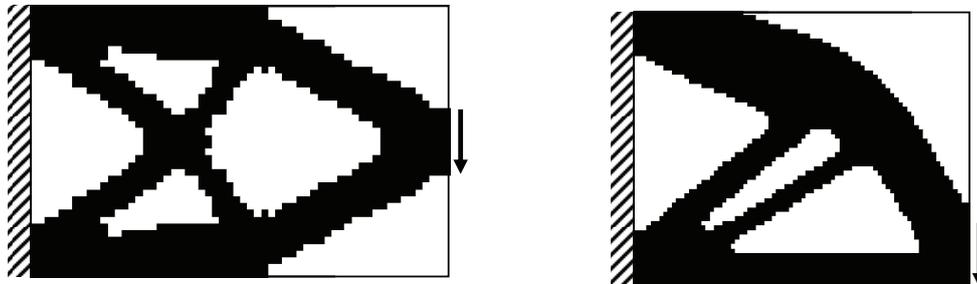
O.M. Querin

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de Leeds

Palabras clave: Optimización, topología, estructuras, SERA

La optimización de topología está reconocida como una práctica herramienta de diseño y son muchos los métodos que han sido desarrollados para este fin. Entre ellos, el método SERA [1] es un método de eliminación y admisión de elementos (Sequential Element Rejection and Admission) que ha demostrado ser eficaz para el diseño de estructuras en base a la tensión en los elementos (Full Stressed Design). El SERA difiere de otros métodos “evolutivos” en que considera de manera independiente los elementos llenos (material real) y vacío (material virtual). La separación de los criterios de eliminación y admisión resulta más eficaz y ofrece un mayor control en el proceso de optimización, además de mejorar su convergencia.

Un método alternativo para el diseño de estructuras es definir el problema como una minimización de su energía de deformación (flexibilidad), es decir, una maximización de su rigidez, planteamiento que no se ha abordado aún mediante el método de adición y eliminación que aquí se propone. En el presente artículo se desarrolla el método SERA para el diseño de estructuras de mínima flexibilidad sujeto a equilibrio estático y una restricción de volumen. Los valores que definen la eliminación o admisión de elementos se obtienen a través de un análisis de sensibilidad de la función objetivo. Un filtrado [2] de dichos valores evita la aparición de problemas relacionados con el “checkerboard” y la dependencia de la malla. La validez del método propuesto se muestra a través de problemas clásicos, frecuentemente empleados para comprobar la efectividad del proceso de optimización.



Referencias

- [1] G.I.N. Rozvany, O.M. Querin. Theoretical foundations of Sequential Element Rejections and Admissions (SERA) methods and their computational implementations in topology optimisation, Proc. 9th AIAA / ISSMO Symposium on multidisciplinary Analysis and Optimisation. AIAA, Reston, VA (2002).
- [2] O. Sigmund, J. Petersson. Numerical instabilities in topology optimization: A survey on procedures dealing with checkerboards, mesh-dependencies and local minima, Struct. Optim., 16 (1998), 68–75.

Estudio de la fisuración de una viga de hormigón armado con un modelo de elementos finitos

Sánchez Ramos, Ismael Aït-Salem Duque, Omar

MSC Software Simulating Reality S.A.
Ismael.sanchezramos@mscsoftware.com
Omar.ait-salemduque@mscsoftware.com

Huerta Gómez de Merodio, M^a Consuelo

Dpto. de Estructuras. E.T.S. Ingenieros Industriales de Madrid
mariaconsuelo.huerta@upm.es

Palabras clave: hormigón armado, elementos finitos, VCCT

Este trabajo aborda el estudio, mediante la realización de un modelo de elementos finitos, del comportamiento de una viga de hormigón armado ante distintos niveles de fisuración. Para su elaboración se han utilizado resultados estáticos y dinámicos de ensayos realizados en el Laboratorio de Estructuras de la E.T.S. de Ingenieros Industriales de Madrid.

El modelo^[2] y análisis se ha realizado con MSC.Marc, programa especializado en el cálculo no lineal implícito siguiendo el método de los elementos finitos.

Los objetivos del trabajo son:

- ^{[1][2]}Dar solución al problema de la fisuración del hormigón armado mediante la realización de un modelo válido y fiable, con el que poder predecir el comportamiento global de una viga ante diferentes incrementos de carga que aumenten su degradación.
- Realizar un estudio en detalle del crecimiento de las fisuras que aparecen en la viga.
- Analizar el procedimiento complejo de cálculo no lineal utilizado por el programa para este tipo de análisis estructurales.

Para alcanzar dichos objetivos lo que se ha llevado a cabo es un ajuste de los parámetros específicos de los que dispone el software para simular el comportamiento de estructuras de hormigón^[1]. Este ajuste se ha realizado utilizando resultados de ensayos estáticos y dinámicos, que se obtuvieron en proyectos realizados sobre una viga de hormigón armado en el Laboratorio de Estructuras de la E.T.S.I.I.M.

Una vez ajustado el modelo y comparado el comportamiento global del mismo respecto a ensayos, se procederá a simular el crecimiento de las fisuras utilizando la opción VCCT (*Virtual Crack Closure Technique*)

Dada la complejidad de todos estos análisis se procederá a realizar una explicación de los procedimientos de cálculo no-lineal implícito llevados a cabo por el programa utilizado.

Así pues, este trabajo muestra la capacidad de un modelo de elementos finitos de: poder predecir globalmente el comportamiento estático y dinámico de una estructura de hormigón armado ante distintos niveles de degradación, predecir la aparición de fisuras y además, poder simular su crecimiento mediante VCCT.

Referencias

- [1] Buyukozturk, Oral. Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Structures, Computers & Structures, Vol. 7, pp. 149-156. (1977)
- [2] LU Xiao; LU XinZheng; Zhang WanKai; YE LiePing. Collapse simulation of a super high-rise building subjected to extremely strong earthquakes, Science China Technological Sciences. (2010).



Mecánica de Fractura y Fatiga

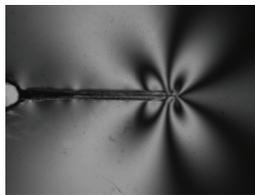
Validación experimental a partir de datos isocromáticos de diferentes modelos para el cálculo del factor de intensificación de tensiones en probetas planas

J.M. Vasco Olmo, F.A. Díaz Garrido, R. Dorado Vicente,
Dpto. de Ingeniería Mecánica y Minera. Universidad de Jaén
jvasco@ujaen.es; fdiaz@ujaen.es; rdorado@ujaen.es

Palabras clave: Factor de intensificación de tensiones, fotoelasticidad, fatiga, crecimiento de grieta

La fotoelasticidad es una técnica óptica de campo completo de uso extendido para el estudio experimental de problemas de integridad estructural en elementos mecánicos. De particular interés resulta el uso de esta técnica para el análisis de factores de intensificación de tensiones en grietas debidas a fatiga. En este sentido, son múltiples los modelos analíticos propuestos por diferentes autores que se pueden encontrar en la literatura. Entre estos modelos caben destacar el de Westergaard [1], Williams [2], Muskhelishvili [3], y más recientemente el desarrollado por Christopher, James y Patterson [4].

En el presente artículo se propone una metodología experimental basada en el análisis de datos isocromáticos con la que llevar a cabo el cálculo del factor de intensificación de tensiones durante ensayos de fatiga a distintos niveles de carga, capturando una serie de imágenes como la mostrada en la figura. La metodología desarrollada se basa en el método de las seis imágenes de Patterson y Wang **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para el procesamiento de los datos isocromáticos, en combinación con el Multi-Point Overdeterministic Method (MPODM) de Sanford y Dally [6] para el cálculo de los factores de intensificación de tensiones. La metodología propuesta se ha puesto en práctica empleando probetas CT (Compact-Tension) y MT (Middle-Tension) fabricadas en policarbonato. Con los resultados obtenidos se ha llevado a cabo un análisis comparativo de los cuatro modelos previamente indicados, poniendo de manifiesto diferencias entre los mismos.



Referencias

- [1] T.L. Anderson. Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications, Taylor and Francis (2005).
- [2] K. Ramesh, S. Gupta and A.A. Kelkar. Evaluation of stress field parameters in fracture mechanics by photoelasticity – revisited, Engineering Fracture Mechanics, 56 (1997), 25-45.
- [3] A.D. Nurse and E.A. Patterson. Determination of predominantly mode II stress intensity factors from isochromatics data, Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct., 16 (1993), 1339-1354.
- [4] C.J. Christopher, M.N. James, E.A. Patterson and K.F. Tee. Towards a new model of crack tip stress fields, Int. J. Fract., 148 (2007), 361-371.
- [5] Z.F. Wang and E.A. Patterson. Use of phase-stepping with demodulation and fuzzy sets for birefringence measurement, Opt. Lasers Eng., 22 (1995), 91-104.
- [6] R.J. Sanford and J.W. Dally. A general method for determining mixed-mode stress intensity factors from isochromatic fringe patterns, Engineering Fracture Mechanics, 11 (1979), 621-633.

Efecto de la presencia y orientación de una masa excéntrica en la forma del frente de una fisura de un eje rotatorio

L. Rubio Ruiz de Aguirre, B. Muñoz-Abella, P. Rubio Herrero, L. Montero García

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid

lrubio@ing.uc3m.es

Palabras clave: fractura en ejes giratorios, fisuras elípticas, excentricidad

Los fallos en máquinas se producen habitualmente por la presencia y propagación de fisuras de fatiga en sus componentes. La importancia que tienen la seguridad y los costes derivados de los fallos en maquinaria ha empujado a los investigadores en el campo de la detección de daño a analizar el comportamiento de componentes mecánicos con defectos.

Los ejes, que son uno de los componentes más importantes de las máquinas, trabajan en rotación y están sometidos fundamentalmente a esfuerzos de flexión y torsión. Esta forma de sollicitación, unida a otros factores, puede dar lugar al fallo por la propagación de fisuras de fatiga. En ocasiones, adicionalmente, los ejes trabajan en situaciones de desalineamiento y/o desequilibrio, cuyos efectos son difíciles de separar de los provocados por las fisuras. Estos desequilibrios pueden estar asociados a la presencia de masas excéntricas.

Cuando un eje fisurado gira, la fisura que contiene se abre y se cierra en un giro en lo que se conoce como mecanismo de “breathing”. Este comportamiento dinámico ha sido estudiado por diversos autores numérica y analíticamente [1,2], en general considerando una situación ideal de equilibrio.

El comportamiento dinámico de un eje fisurado depende de la posición y tamaño de las fisuras que contiene y de la presencia o no de un desequilibrio adicional. La forma que con la que se propaga una fisura de fatiga, y como consecuencia la forma que adquiere el frente, puede estar influenciada, entre otras razones, por la presencia y orientación de una masa excéntrica. En esta comunicación presentamos un estudio experimental de la forma que toma el frente de la fisura durante su propagación cuando una masa excéntrica se sitúa en distintas posiciones angulares respecto de la fisura. Los ejes objeto del estudio son del tipo “Jeffcott rotor” con una fisura en su sección central. Para inducir el crecimiento de las fisuras durante los ensayos se ha procedido al mecanizado previo de entallas en la sección que contendrá a la fisura. El trabajo permite estudiar las condiciones en las que, en ejes rotatorios, las fisuras se propagan con formas de frente no rectos.

Referencias

- [1] C.A. Papadopoulos. The strain energy release approach for modeling cracks in rotors: A state of the art review, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 22 (4) (2008), 763-789.
- [2] T.H. Patel, A.K. Darpe. Influence of crack breathing model on nonlinear dynamics of a cracked rotor, *Journal of Sound and Vibration*, 311 (2008), 953-972.

Análisis de modos de fallo en vigas sándwich sometidas a flexión pura y grandes deflexiones

J.M. Muñoz Guijosa, V. Rodríguez de la Cruz, D. Fernández Caballero

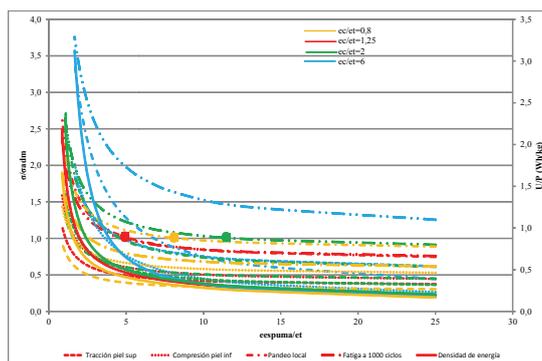
División de Ingeniería de Máquinas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
Universidad Politécnica de Madrid
jmguijosa@etsii.upm.es

Palabras clave: vigas sándwich, pandeo, vida útil, tensiones fuera de plano

Las vigas sándwich con pieles de polímero reforzado con fibra (FRP) y núcleos de espuma de baja densidad se caracterizan por su excelente relación entre propiedades mecánicas y contenido peso. Una de las aplicaciones que pueden tener estas vigas, es la absorción de impactos o energía al cuando están sometidas a solicitaciones de flexión pura y grandes deflexiones. La teoría clásica de resistencia de materiales, establece que en estructuras sometidas a este tipo de esfuerzos, sólo aparece una distribución lineal de deformaciones axiales, que será la que rija la posible aparición del fallo. Esto es válido para vigas de sección monolítica homogénea compuestas por materiales isótropos. Sin embargo, en este trabajo se estudian vigas fabricadas con materiales no isótropos y sometidas a grandes cambios de curvatura. Por tanto, no se puede afirmar que la rotura por esfuerzo axial sea el único modo de fallo predominante.

Los núcleos de baja densidad empleados en este tipo de vigas tienen una rigidez transversal muy baja respecto a la empleada en las pieles. Esta diferencia puede provocar la aparición de pandeo local de la piel de compresión respecto del núcleo, es decir, la piel tiende a moverse en el plano transversal a la curvatura de la viga, separándose del núcleo y provocando el fallo de la estructura. Otro modo de fallo que no se tiene en cuenta en vigas convencionales, es el fallo por tensiones transversales fuera de plano. Aunque estas tensiones sean despreciables frente a las axiales, al no tratar con materiales isótropos se podría superar la resistencia de los materiales en dicha dirección. Por último, se debe tener en cuenta la variación de las tensiones admisibles de los materiales empleados, según aumenta la vida útil de diseño.

Tras identificar y caracterizar convenientemente los modos de fallo anteriores, se puede hallar el diseño óptimo de una viga con unos materiales y un cambio de curvatura determinados, en función de la relación de los espesores entre pieles y espuma. Dicho óptimo será el que haga coincidir los modos de fallo más restrictivos y que normalmente será el fallo por fatiga en la piel de tracción y el pandeo en la de compresión. La figura muestra cómo el diseño de la viga modifica el modo de fallo que produce la rotura. El diseño óptimo será el que localice a todos los modos de fallo en la misma tensión.



Referencias

- [1] Daniel, I. M. et al. J. L., Failure Modes of Composite Sandwich Beams, International Journal of Damage Mechanics 11, 2002, 309–334.
- [2] Steeves, C. et al, Material selection in Sandwich Beam construction, Acta Materialia, 50 (2004). 1335-1339.

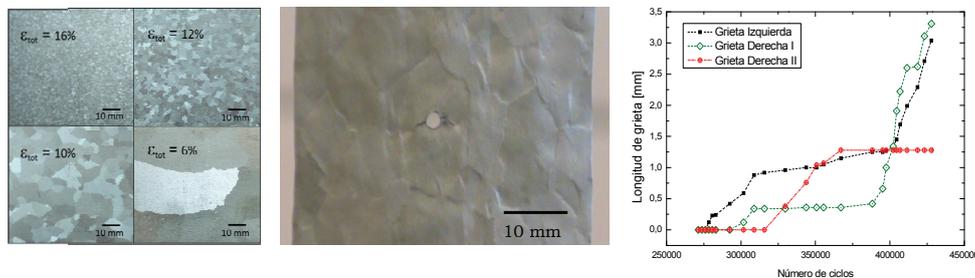
Observación a simple vista del crecimiento de grietas microestructuralmente pequeñas

P. Lorenzino, A. Navarro Robles

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de Sevilla
navarro@us.es

Palabras clave: fatiga, propagación de microgrietas, borde de grano, plano de grieta.

Este trabajo presenta una técnica experimental mediante la cual es posible observar a simple vista las interacciones de grietas pequeñas con las barreras microestructurales y su consecuente cinética de propagación no uniforme. El procedimiento experimental consiste en la aplicación de una serie de tratamientos térmicos y mecánicos a una aleación de aluminio Al1050 que permiten la obtención de una microestructura con tamaño de grano del orden del centímetro. Una vez obtenida dicha microestructura, los granos son revelados y luego se realiza una entalla circular con el fin de localizar el origen de la grieta. Finalmente se ensayan los especímenes a fatiga bajo carga axial (Modo I) con $R=0,1$. Las variaciones en la velocidad de crecimiento de grieta debido a la interacción con la microestructura así como los ángulos de inclinación y giro del plano de la grieta en los bordes de grano o el anclaje o la ramificación de las mismas pueden ser observados sin requerir el uso de ninguna técnica de microscopía.



Se realizaron ensayos variando el tamaño de grano y el diámetro de la entalla observándose el mismo patrón de comportamiento en el crecimiento de grieta. Las diferencias encontradas en la vida a fatiga teniendo en cuenta la variación del tamaño de grano son consistentes con lo que predice la teoría de Hall-Petch. El comportamiento de estas grietas microestructuralmente pequeñas es similar al observado en otros trabajos experimentales, en los que se trabajan con especímenes y microestructuras de mucho menor tamaño [1, 2, 3]

La figura de la izquierda muestra el tamaño de grano obtenido en función del grado de deformación alcanzado durante el tratamiento mecánico. Y las dos restantes muestran una grieta creciendo desde la entalla circular de 2 mm. de diámetro sobre una microestructura con una tamaño de grano de 5,26 mm. En el grafico de la izquierda se observa la cinética de propagación no uniforme.

Referencias

- [1] M. Herbig, et al., 3-D growth of a short fatigue crack within a polycrystalline microstructure studied using combined diffraction and phase contrast X-ray tomography, *Acta Materialia*, 59 (2011), 590-601.
- [2] W. Shaef, et al, A 3-D view on the mechanisms of short fatigue cracks interacting with grain boundaries, *Acta Materialia*, 59 (2011), 1849-1861.
- [3] M. Klein, et al., The "size effect" on the stress-strain, fatigue and fracture properties of thin metallic foils, *Materials science & engineering A*, 3 (2001), 924-928.

Flexibilidad de ejes rotativos con fisuras semielípticas

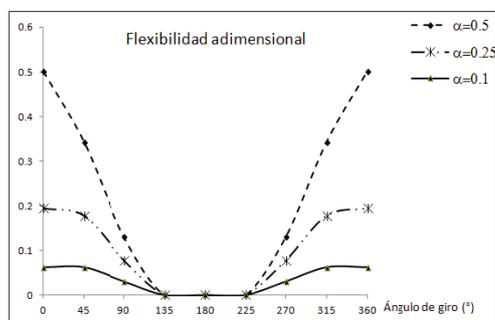
B. Muñoz-Abella, L. Rubio, P. Rubio, L. Montero

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid
mmunoz@ing.uc3m.es

Palabras clave: ejes, fisuras elípticas, flexibilidad, mecanismo apertura-cierre.

Las máquinas rotatorias, tales como turbinas, bombas, rotores o compresores, son unos de los componentes más frecuentemente utilizados en la industria de responsabilidad. Uno de los tipos de fallo más importante que habitualmente sufren estos elementos está relacionado con la aparición y propagación de fisuras de fatiga debidas a las tensiones combinadas de torsión y flexión fluctuantes a las que se ven sometidos [1]. La aparición de una fisura afecta al comportamiento dinámico del eje produciendo una reducción de su rigidez, que depende del tamaño y de la forma del defecto. La mayoría de los estudios consideran fisuras con frente recto, sometidas esfuerzos de flexión y son menos frecuentes en la bibliografía los dedicados a fisuras de frente semielíptico [2], aunque es este tipo de fisuras el que se presenta en ejes reales. Otro aspecto a tener en cuenta en la dinámica de ejes fisurados es el estado de la fisura durante el giro del eje. Una simplificación no realista consiste en considerar la fisura siempre abierta, pero cuando un eje gira se producen para cada instante diferentes estados tensionales que en parte del frente de fisura son de tracción (zona abierta de la fisura) y en otra parte son de compresión (zona cerrada de la fisura), de forma que el aumento de flexibilidad en la sección fisurada es función, entre otras cosas, del ángulo de giro. Para modelar el mecanismo de apertura-cierre descrito algunos autores han utilizado funciones más o menos complejas [3], en las que se tiene en cuenta la profundidad de la fisura pero no su forma.

En este trabajo se ha desarrollado un modelo numérico estático que ha permitido obtener, en primer lugar, el grado de apertura de la fisura para cada instante durante un giro del eje y, posteriormente, las expresiones de los coeficientes de flexibilidad en la sección fisurada, en ambos casos en función del ángulo de giro y de las características de la fisura, profundidad y forma.



Referencias

- [1] G. Sabnavis et al. "Cracked shaft detection and diagnosis: a literature review". The Shock and Vibration Digest, 36 (2004), 287-296.
- [2] C.S. Shin et al. "Experimental and finite element analyses on stress intensity factors of an elliptical surface crack in a circular shaft under tension and bending". Int. J. Fracture, 129, (2004), 239-264.
- [3] N. Bachschmid et al. "Some remarks on breathing mechanism, on non linear effects and on slant and helicoidal cracks", Mech. Syst. Sig. Proc., 22, (2008), 879-904.



Mecánica Experimental y Metrología

Sistemas de captura de movimiento para el caminar humano. Análisis y comparativa.

M.J. Gómez García, C. Castejón Sisamón, J.C. García Prada

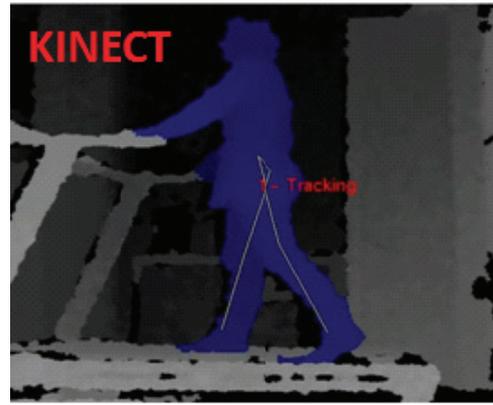
Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid
mjggarci@ing.uc3m.es

G. Carbone, M. Ceccarelli

Laboratorio de Robótica y Mecatrónica. Universidad de Cassino
ceccarelli@unicas.it

Palabras clave: biomecánica, captura de movimiento humano, elaboración de datos experimentales.

La naturaleza del movimiento humano se ha estudiado ampliamente a lo largo de la historia. Sin embargo, en los últimos años, ha habido un interés creciente gracias al cual, múltiples áreas como la biomecánica, rehabilitación, ergonomía y robótica, entre otras, han sido dotadas de grandes avances [1]. Debido a ello, el desarrollo y la utilización de sistemas de captura de movimiento humano también ha ido en aumento. En este trabajo se presenta un estudio biomecánico de la tarea del caminar sobre varias personas evaluadas en distintas condiciones de velocidad y calzado. Dicho estudio se ha realizado mediante dos sistemas de captura de movimiento novedosos: CATRASYS (“Cassino tracking system”) [2], inicialmente utilizado como sistema de captura de movimiento aplicado a la robótica, y la tecnología software de Kinect, que mediante un sensor de profundidad y un software específico, es capaz de detectar y seguir formas humanas.



De esta manera, además del análisis biomecánico, en este trabajo se presenta un estudio comparativo de ambos sistemas de medida, comentando los problemas y experiencias con ambos métodos utilizando los resultados de los experimentos realizados con varias personas. El análisis evalúa aspectos de portabilidad, comodidad, prestaciones, precio, así como las características metroológicas de los resultados de ambos sistemas, entre otras.

Referencias

- [1] C. A. Acosta Calderon, R. E. Mohan, L. Hu, C. Zhou, and H. Hu, “Generating human-like soccer primitives from human data,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 57, no. 8, pp. 860-869, Jul. 2009.
- [2] M. Ceccarelli, F. Thomas, and E. Ottaviano, “CATRASYS (Cassino Tracking System): Un sistema de medida de la posición y orientación de objetos móviles mediante hilos extensibles,” *Anales de Ingeniería Mecánica*, vol. 15, no. 4, pp. 2995-3001, 2004.

Modelado e identificación de parámetros geométricos de laser trackers

A.C. Majarena Bello, J. Santolaria Mazo, D. Samper Carnicer, J.J. Aguilar Martín

Dpto. de Ingeniería de Diseño y Fabricación. Universidad de Zaragoza
majarena@unizar.es

Palabras clave: modelado, identificación de parámetros geométricos, laser tracker

En los últimos años, la utilización del laser tracker como sistema de medición de alto rango se ha incrementado considerablemente. Esto es debido, principalmente, a las ventajas que ofrece como alta velocidad de captura de datos, alta precisión y fiabilidad, facilidad de transportar y amplia área de trabajo. Sin embargo, el modelado y calibración de un laser tracker es una tarea compleja, y esta información no es accesible para el usuario final de dichos sistemas. Además, la bibliografía especializada es muy escasa en este campo.

En este trabajo se desarrolla el modelo cinemático y se presenta un nuevo algoritmo que permite realizar la identificación de parámetros de un laser tracker, mejorando la precisión del sistema. En una primera etapa se desarrolla el modelo cinemático, relacionando la posición del reflector con las variables y los parámetros geométricos del laser tracker. En esta etapa se analizan cuidadosamente las diferentes fuentes de error que afectan al comportamiento del sistema. La resolución del modelo cinemático está basada en el método de Denavit-Hartenberg (D-H). Posteriormente se desarrolla la etapa de identificación de parámetros geométricos con el fin de minimizar los errores geométricos, E , del sistema de medición. El sistema de ecuaciones no lineal, obtenido en el desarrollo del modelo cinemático, debe resolverse para cada combinación de parámetros geométricos, en cada posición analizada. La función objetivo que permite minimizar el error, E , se obtiene al comparar los valores nominales de la posición del reflector, $D_{nominales}$, con los valores calculados mediante el modelo cinemático, D_{modelo} . Esta función viene representada por la ecuación siguiente:

$$E = \sum_{j=1}^6 (D_{nominales}(j) - D_{modelo}(j))^2$$

Los valores de los parámetros geométricos se obtienen en cada iteración del algoritmo mediante el método de Levenberg-Marquardt (L-M). La aplicación del nuevo algoritmo permitirá aumentar la precisión final del sistema.

Referencias

- [1] B. Hughes, A. Forbes, A. Lewis, W Sun, D. Veal. Laser tracker error determination using a network measurement, *Meas. Sci. and Tech*, 22 (2011), 045103:1-12.
- [2] F. Y. Chen, V. L. Chan, Dimensional Synthesis of Mechanisms for Function Generation using Marquardt's Compromise, *ASME J. Eng Ind*, 96(1) (1974), 1312-1137.
- [3] D.W. Marquardt. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Non Linear Parameters, *J. App Math*, 11(2) (1963), 431-441.

Corrección por temperatura de los patrones volumétricos de desplazamiento positivo en la metrología de los hidrocarburos

A. García-Berrocal Sánchez, C. Montalvo Martín, M. Balbás Antón

Cátedra-Empresa CLH de Metrología de los Hidrocarburos

ETSI de Minas Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

agustin.garciaberrocal@upm.es

F. de Lis Muñoz

Unidad de Metrología. I. A. Loeches

Compañía Logística de Hidrocarburos (CLH)

J. Blázquez Martínez

División de Fisión Nuclear. CIEMAT

Palabras clave: calibración, hidrocarburos, incertidumbre, meter factor, transferencia de custodia, trazabilidad

Dentro de la Metrología de los hidrocarburos líquidos (gasolinas, gasóleos y querosenos), el instrumento que como patrón proporciona las mejores exactitudes es el medidor volumétrico de desplazamiento positivo (MDP). El MDP es un instrumento mecánico de medida basado en una cavidad de paredes deslizantes que mide el paso de una sucesión de cantidades discretas de volumen. Cada cantidad elemental de volumen se monitoriza como un pulso eléctrico. El sistema se completa con un sensor de temperatura para que el computador de caudal presente la cantidad total registrada como volumen a 15 °C.

El ciclo logístico de los combustibles líquidos requiere asegurar la trazabilidad y minimizar la incertidumbre de sus mediciones para garantizar la transferencia de custodia entre los propietarios del combustible y el operador logístico. Dicho ciclo consta de recepción, distribución, almacenamiento y entrega. Esta última se lleva a cabo en las instalaciones de almacenamiento, donde se dispensa el hidrocarburo a los camiones cisterna fletados por los propietarios. Estas operaciones tienen gran incidencia económica y fiscal; por ejemplo, en 2010 se cargaron en España del orden de 44,6 millones de metros cúbicos de combustible en 1,18 millones de camiones, realizándose más de 6,5 millones de mediciones con MDP.

En los cargaderos, los MDP que miden la cantidad de hidrocarburo como volumen equivalente a 15 °C deben calibrarse frecuentemente para verificar el error máximo legalmente permitido. Para ello, el MDP de cargadero se acopla en serie con un MDP patrón y se realiza la calibración de aquél por comparación con éste. Las lecturas del MDP patrón deben corregirse por temperatura, pero ni los fabricantes ni la literatura (normas o publicaciones) especifican cómo aplicar la corrección.

En el presente trabajo, se propone un modelo semiempírico para caracterizar el sistema mecánico de medida del MDP. Uno de los parámetros del modelo coincide directamente con el coeficiente de temperatura del equipo y permite cuantificar la corrección a aplicar. El modelo se valida analizando estadísticamente los históricos de calibración de un número suficientemente representativo de MDP patrón de un mismo tipo. El valor del parámetro correspondiente al coeficiente de temperatura se obtiene empíricamente; ensayando, a tal efecto, dos MDP patrón de un mismo tipo a diferentes temperaturas.

Control de calidad y dimensional en limas endodónticas mediante tomografía computerizada

S. Ontiveros, R. Jiménez, J.A. Yagüe Fabra

Dpto. de Ingeniería de Diseño y Fabricación. Universidad de Zaragoza
jyague@unizar.es

Palabras clave: Tomografía computerizada, Lima endodóntica, Metrología.

La Tomografía Computerizada (TC) es una técnica emergente en el mundo de la metrología dimensional que en la actualidad está en proceso de convertirse en una tecnología confiable y con procedimientos estandarizados [1]. Para conseguirlo, una de las líneas de estudio consiste en el análisis de piezas con diferentes geometrías y materiales, con la finalidad de valorar su influencia en las mediciones.

A pesar de que dentro de la odontología la TC es muy utilizada como una herramienta de apoyo en algunos tratamientos, no se utiliza para el control de calidad y dimensional de los instrumentos utilizados, tales como las limas endodónticas (Figura 1). Según la norma UNE-EN ISO 3630-1:2008, la evaluación dimensional de las limas endodónticas se puede efectuar con cualquiera de los siguientes dispositivos: comparador óptico, siluetógrafo, microscopio de medición u otro dispositivo con una precisión de 0.002 mm. Para analizar la calidad del material se deben realizar pruebas de rotura por torsión o por deflexión angular y pruebas de rigidez [2], pero todas ellas tienen la desventaja de que son destructivas. La TC ofrece la posibilidad de obtener una imagen volumétrica 3D de la pieza de trabajo y en ella se puede realizar una evaluación dimensional completa. Además ofrece la posibilidad de analizar si existen defectos (ej. porosidad, fracturas), todo ello sin necesidad de destruir la pieza.

En este trabajo se pretende analizar la viabilidad de evaluar este tipo de piezas mediante técnicas de tomografía computerizada, Para ello se han utilizado dos piezas tipo ProTaper S2 y F1. Se explicará de manera detallada la metodología utilizada y el protocolo de medición seguido. Finalmente se presentarán los resultados obtenidos en las mediciones y las principales conclusiones extraídas.



Figura 1. Imagen TC de una lima endodóntica.

Referencias

- [1] J.P. Kruth, M. Bartscher, S. Carmignato, R. Schmitt, L. De Chiffre, A. Weckenmann, Computed Tomography for Dimensional Metrology. Keynote paper. CIRP ann., 60, 2011, 821-842.
- [2] UNE-EN ISO 3630-1 (2008) Odontología. Instrumentos para conductos radiculares. Parte 1: Requisitos generales y métodos de ensayo.

Comparativa de modelos para el cálculo experimental del factor de intensificación de tensiones empleando técnicas ópticas de campo completo

J.M. Vasco Olmo, F.A. Díaz Garrido, R. Dorado Vicente, R. López García

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Minera. Universidad de Jaén

jvasco@ujaen.es; fdiaz@ujaen.es; rdorado@ujaen.es; rlgarcia@ujaen.es

Palabras clave: Fotoelasticidad, DIC, factor de intensificación de tensiones

La fotoelasticidad y la correlación digital de imágenes (DIC) son técnicas ópticas experimentales de campo completo empleadas en el análisis de elementos mecánicos. Así, la fotoelasticidad se emplea para la estimación de tensiones mientras que DIC permite medir desplazamientos y deformaciones.

En el presente trabajo se aplican las anteriores técnicas a la determinación de los factores de intensificación de tensiones (SIFs). La estimación de estos factores se ha realizado empleando cuatro modelos matemáticos distintos, éstos basan su cálculo en medidas del campo de tensiones (aportadas por el orden de franja en fotoelasticidad), o en el campo de desplazamientos alrededor del vértice de una grieta (DIC mide desplazamientos horizontales y verticales)

Los modelos empleados son: El modelo de Westergaard [1], el modelo de las series de expansión de Williams [2], el modelo de los potenciales complejos de Muskhelishvili [3], y el denominado CJP por sus autores Christopher, James y Patterson [4].

Mediante el empleo de los tres primeros modelos se determinan K_I , K_{II} y el T-stress (σ_{ox}), mientras que el modelo CJP considera los efectos de contacto que se establecen entre las caras de la grieta, introduciendo nuevos factores de intensificación de tensiones: K_F (factor de intensificación de tensiones análogo al K_I), K_R (factor de intensificación de tensiones de retardo) y K_S (factor de intensificación de tensiones tangenciales), además de determinar el T-stress.

Para el análisis de los factores de intensificación de tensiones se desarrolla un interface para fotoelasticidad que permite procesar imágenes y extraer el orden de franja en las inmediaciones del vértice de la grieta, y un interface para DIC con el que se analizan imágenes de los campos de desplazamientos, tanto horizontales como verticales, en las proximidades del vértice de la grieta

Referencias

- [1] T.L. Anderson. Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications, Taylor and Francis (2005).
- [2] K. Ramesh, S. Gupta y A.A. Kelkar. Evaluation of stress field parameters in fracture mechanics by photoelasticity – revisited, Engineering Fracture Mechanics, 56 (1997), 25-45.
- [3] A.D. Nurse y E.A. Patterson. Determination of predominantly mode II stress intensity factors from isochromatics data, Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct., 16 (1993), 1339-1354.
- [4] C.J. Christopher, M.N. James, E.A. Patterson y K.F. Tee. Towards a new model of crack tip stress fields, Int. J. Fract., 148 (2007), 361-371.

Aplicación de Correlación Digital de Imágenes 2D para el análisis de problemas de contacto

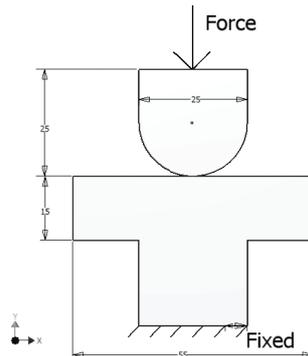
E. López-Alba, R. López-García, R. Dorado-Vicente, F.A. Díaz-Garrido

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Minera. Universidad de Jaén
elalba@ujaen.es

Palabras clave: Contacto, Correlación de Imágenes, 2D

Correlación Digital de Imágenes (DIC) es una técnica experimental de campo completo que permite a partir de imágenes tomadas durante el ensayo, evaluar los desplazamientos y deformaciones producidas. En este trabajo, la técnica de correlación digital de imágenes en 2D ha sido empleada para el análisis de un elemento sobre el cual se ejerce una fuerza y está en contacto sobre otro, produciéndose entre ellos fuerzas de contacto (Fig 1). Así mismo se ha realizado un estudio de las deformaciones que se han producido en ambas estructuras. Previamente las probetas deben ser preparadas para poder aplicar la técnica DIC, generando sobre ellas una distribución no uniforme de color negro sobre un fondo blanco con la que se obtenga una escala de grises en la zona de estudio para poder aplicar la técnica y así conseguir unos resultados precisos.

Los resultados experimentales son comparados con los resultados numéricos obtenidos mediante un programa CAD de Elementos Finitos, comparando variables como la fuerza máxima aplicada, las deformaciones producidas en la zona de contacto, los desplazamientos y la indentación máxima producida. Así pues se mostrará la versatilidad de la técnica de correlación de imágenes para ensayos de contacto dentro del campo de la mecánica experimental.



Referencias

- [1] M.A. Sutton, J.H. Yan, V. Tiwari, H.W. Schreier, J.J. Orteu. "The effect of out-of-plane motion on 2D and 3D digital image correlation measurements." *Optics and Lasers in Engineering* (2008). Vol 46: 746-757,
- [2] Bing Pan, Kemao Qian, Huimin Xie and Anand Asundi. "Two dimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement : a review". *Meas. Sci. Technol* (2009) Vol20.

Desarrollo de una metodología experimental para el estudio de problemas de contacto empleando técnicas ópticas de campo completo

E. López-Alba, P. Romero Carrillo, R. Dorado-Vicente, F.A. Díaz-Garrido

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Minera. Universidad de Jaén

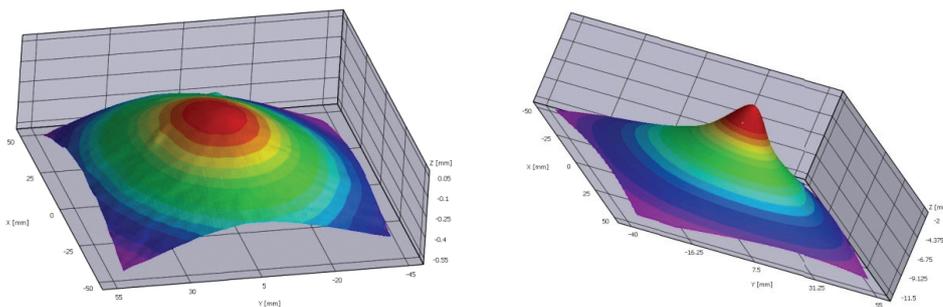
elalba@ujaen.es

Palabras clave: Correlación Digital de Imágenes, 3D, Contacto, Campo Completo

La ley de contacto que se obtiene como resultado de las fuerzas y desplazamientos que se originan durante la presión de un sólido de revolución, como es una bola, contra una lámina ha sido investigado desde hace décadas. En este trabajo se realiza un análisis de la ley de contacto que se produce ejerciendo una fuerza entre una placa metálica y una bola. Dicho análisis se realiza mediante el uso de la técnica de Correlación Digital de Imágenes 3D [1]. Para ello, dos cámaras CCD son utilizadas para obtener una secuencia de imágenes durante el ensayo. De esta forma se obtiene el campo de desplazamientos fuera del plano debido al sistema estereoscópico utilizado. Previamente es requerida una calibración de las cámaras para determinar su posición relativa entre ellas y frente al objeto sobre el cual se realiza el ensayo [2].

La deformación originada en la placa metálica a distintos niveles de carga es estudiada en toda el área en contacto con el sólido de revolución.

Los resultados se comparan con los estudios analíticos que predicen una ley de contacto teórica.



Deformaciones producidas a distintos estados de carga

Referencias

[1] C.J. Tay, C. Quan, Y.H. Huang, Y. Fu, "Digital image correlation for whole field out-of-plane displacement measurement using a single camera", *Optics Communications*. (2005). 251, 23-36.

[2] Chu, T, Ranson WF, Sutton MA, Peters WH. "Applications of digital image correlation to experimental mechanics". *Exp Mech*. (1985). 253, 232-244.

Caracterización térmica de prototipos rápidos y piezas obtenidas mediante fabricación aditiva en impresora 3D

J. Santolaria Mazo, C.E. Cajal Hernando, J. Velázquez Sancho, J.J. Aguilar Martín

Dpto. de Ingeniería de Diseño y Fabricación. Universidad de Zaragoza

jsmazo@unizar.es

Palabras clave: caracterización térmica, CTE, prototipado rápido, fabricación aditiva

Tanto a la hora de evaluar la precisión con la que las máquinas de prototipado rápido son capaces de fabricar determinadas piezas [1] como de evaluar sus requerimientos funcionales en determinadas aplicaciones existen aspectos críticos como son la temperatura de fabricación y la de su posterior utilización.

El presente trabajo pretende acotar las condiciones en las que piezas obtenidas en una impresora 3D de resina fotorpolimerizable están en tolerancia no solo debido a la temperatura sino a la variación temporal de esta tanto en régimen permanente como estacionario. Otro de los aspectos relevantes, e intrínsecos al proceso de depósito y curado del material, es que se siguen trayectorias constantes independientemente de la geometría de la pieza a fabricar, dando lugar a piezas con características básicas de material ortótropo en lo relativo a propiedades mecánicas. Dichas trayectorias, a diferencia de otros sistemas de fabricación basados en el arranque de viruta, se realizan siempre en la misma dirección (eje X) variando incrementalmente en el otro eje (Y) con el que forma un plano. Tras finalizar, esta capa sirve de sustento para sucesivos planos paralelos (según eje z).

Se han diseñado distintos patrones que han sido medidos en un sistema de temperatura controlada mediante sondas térmicas. Así mismo, se presenta una nueva técnica de caracterización de la función del coeficiente de dilatación térmica, dependiente de la temperatura, a partir de la fabricación de patrones con alojamientos cónicos que permiten una medición automática y precisa a diferentes temperaturas mediante una MMC con palpado esférico autocentrante.

Simulando el funcionamiento cíclico de un sistema de acondicionamiento térmico se ha analizado en régimen permanente cómo reaccionan los patrones en términos de dilatación y contracción térmica en función de la frecuencia y amplitud de las variaciones térmicas del ambiente y de las condiciones de contacto de la pieza con el aire y otros elementos como pueden ser las mesas de medición de la MMC. Dicha reacción sigue un patrón de histéresis por lo que se podría deducir una cierta inercia térmica. Para ello se establece un símil eléctrico basado en la reacción de componentes electrónicos a señales eléctricas alternas. Desde el punto de vista de régimen transitorio, en el caso de una única variación de las condiciones de temperatura a las que está sometida una pieza, esta requiere un tiempo de estabilización. Siguiendo el símil eléctrico se extrapola una constante de tiempo para el cálculo de los tiempos de estabilización.

Como resultado del análisis de los datos, desde el punto de vista de condiciones operativas, se obtienen los parámetros recomendados y mínimos en cuanto tiempo de estabilización y errores debidos a la temperatura tanto para el régimen permanente como el transitorio. Todos los parámetros estudiados dependen no solo de la geometría de los patrones sino de la disposición espacial en la que son fabricados extremo que se confirma a raíz de la estimación de coeficientes diferentes para piezas idénticas fabricadas en disposiciones ortogonales.

Referencias

[1] D Dimitrov et al. "Investigating the achievable accuracy of three dimensional printing", Rapid Prototyping Journal, 12(1), 42-52, 2006.

Verificación y caracterización metrológica de máquinas de ensayos de rodadura a dos flancos para engranajes sinfín-corona

J. Santolaria Mazo

Dpto. de Ingeniería de Diseño y Fabricación. Universidad de Zaragoza
jsmazo@unizar.es

M. Pueo Arteta, R. Acero Cacho

Centro Universitario de la Defensa. Zaragoza

G. Aso Arjol

Echeverría Construcciones Mecánicas. Zaragoza

Palabras clave: Ensayo de rodadura a dos flancos; Engranajes; Verificación y calibración; Sinfín-corona

Los engranajes deben ser elementos precisos tanto en su fabricación como en sus condiciones de operación. Para verificar la calidad de un engranaje individual existen máquinas dedicadas, como los centros de medición de engranajes (CME), o máquinas de medir por coordenadas (MMC) con ciclos de medición dedicados, que verifican sus parámetros geométricos de paso, perfil de diente y hélice mediante palpado continuo. En caso de parejas de engranajes, los ensayos más aceptados para comprobar la calidad de una pareja de engranajes conjugados son los ensayos de rodadura, tanto a un flanco como a dos flancos. Estos ensayos obtienen parámetros relacionados con sus condiciones de operación, por lo que representan la forma más directa de comprobar la calidad de un engranaje o pareja de engranajes desde el punto de vista de sus futuras condiciones de funcionamiento.

Aunque puede realizarse entre ruedas de producción con otras implicaciones, el principio básico del ensayo de rodadura a dos flancos consiste en emparejar la rueda a comprobar con una rueda conjugada patrón al menos 3 calidades por debajo, que actúa además como rueda conductora durante el ensayo. En estas condiciones, se aplica una fuerza en dirección radial de tal modo que ambas ruedas se encuentren engranadas sin juego a una distancia entre centros menor que la nominal. Durante el ensayo se miden y analizan las variaciones de la distancia entre centros para determinar el grado de calidad del engranaje o pareja de engranajes a comprobar [1], obteniendo, entre otra información, parámetros en general relacionados con desviación de distancia entre centros, juego y excentricidad de rodadura, conocidos genéricamente como errores compuestos de desviación radial.

En este trabajo se presenta la calibración y caracterización metrológica experimental de una máquina de ensayos de rodadura a dos flancos para engranajes sinfín-corona, donde la corona es la rueda a comprobar. Se analizan y caracterizan las fuentes de error que afectan tanto al posicionamiento relativo de las ruedas como a la medida, y su propagación hasta los parámetros finales de ensayo, obteniendo la incertidumbre de medida del instrumento en parámetros finales en función de las distribuciones de sus fuentes de error. Se trata de instrumentos extremadamente sensibles a numerosas fuentes de error, aún con ruedas de gran tamaño, por lo que este trabajo sienta las bases para la elaboración de un procedimiento estandarizado de verificación de este tipo de máquinas.

Referencias

[1] DIN 3963 Tolerances for cylindrical gear teeth-Tolerances for working deviations.

Algoritmo para la medición de engranajes implementado en Excel

Huertas Talón, J.L. Valdivia Calvo, F.

Dpto. de Fabricación Mecánica del C.P.I.F.P. "Corona de Aragón"
jhuertas@unizar.es

Berges Muro, L.

Dpto. de Ingeniería de Diseño y Fabricación de la Universidad de Zaragoza

Palabras clave: engranaje, algoritmo, verificación

Si bien el problema de verificar engranajes con máquina de medir tridimensional es un está resuelto por el software comercial que acompaña a las MMC, no es menos cierto que esta opción es cara y, en consecuencia, se prescinde de la misma en las tridimensionales que se ubican en los centros de formación.

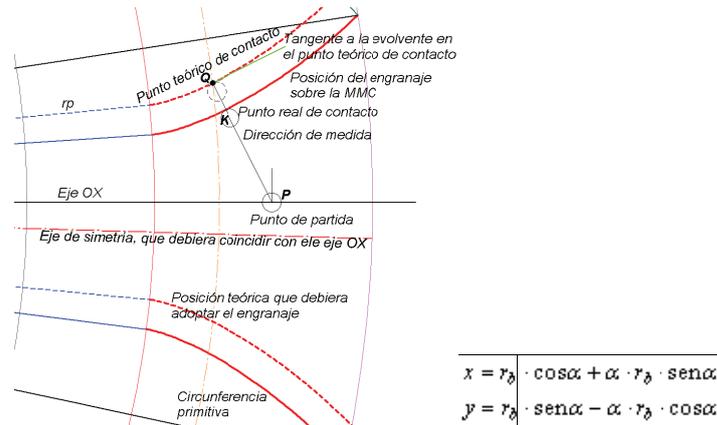


Fig. 1. Las posiciones del centro del palpador en el punto medido forman una trayectoria paralela al perfil.

El objetivo es realizar un interface de usuario lo más general posible, con lo que el algoritmo desarrollado puede ser fácil de implementar en cualquier máquina tridimensional. Para ello se utiliza tanto el software propio de la MMC, en el caso que nos ocupa el programa COSMOS de Mitutoyo, y la hoja de cálculo Excel.

La verificación debe seguir el siguiente protocolo:

- Posicionado del engranaje para la medición.
- Selección del sistema de coordenadas.
- Introducción de datos.
- Alineación del sistema de coordenadas utillaje.
- Introducción de las variables que definen los parámetros del engranaje.
- Cálculo de la los puntos teóricos de medición con el uso de las ecuaciones de la evolvente [1] y un criterio de proximidad semejante al usado para su fabricación por tallado por electroerosión de hilo o fresado [2]
- Procesamiento de los puntos medidos mediante Excel y paso optativo a un CAD.
- Representación de las gráficas habituales para visualizar los errores.

Referencias

- Litvin Faydor L, Fuentes Alfonso. Gear geometry and applied theory, 2nd ed. Cambrige; 2004. p. 270.
- Talón JLH, Ortega JCC, Gómez CL, Sancho ER, Olmos EF (2010) Manufacture of a spur tooth gear in Ti-6Al-4V alloy by electrical discharge. Comput Aided Des 42:221–230.

Multilateralización en verificación volumétrica de máquina herramienta

S. Aguado Jiménez, J. Santolaria Mazo, D. Samper Carnicer, J.J. Aguilar Martín

Dpto. de Ingeniería Diseño y Fabricación. Universidad de Zaragoza
saguadoj@unizar.es

Palabras clave: Auto-calibración, Multilateralización, Trilateralización, Cuadrilateralización, Verificación Volumétrica

La verificación volumétrica consiste en la reducción del error volumétrico (ev) global, consecuencia de los errores geométricos de la máquina, mediante un proceso iterativo de identificación de parámetros. Este proceso se basa en la minimización de la diferencia entre puntos teóricos sin afectación de error y puntos capturados mediante *laser tracker* (LT) afectado por el error conjunto de todos ellos [1].

La multilateralización calcula la posición del punto medido mediante la información proveniente de la medición del punto desde un mínimo de tres posiciones diferentes. El nuevo punto se define mediante la intersección de las esferas que define la componente radial de cada uno de los LTs con (x_i, y_i, z_i) centro de la esfera LT_i ($i=1,2,3$) y D_i componente radial en coordenadas esféricas del punto medido por LT_i ($i=1,2,3$) [2]. De esta manera se elimina la incertidumbre que proporcionan los encoders angulares del LT, factor con más influencia en la incertidumbre de medición.

La resolución de la intersección de las esferas se realiza bien mediante una resolución geométrica de la misma o bien mediante la transformación del sistema cuadrático a un sistema lineal de ecuaciones [2]. En este último caso la adecuación del método queda supeditada a la distribución espacial de las LTs y la disposición de estos respecto a los puntos a medir, proporcionando resultados aun cuando no se produce intersección de las esferas. La posición de los LTs entre sí se obtiene mediante auto-calibración proporcionando el origen de las esferas respecto a un sistema de referencia. Esta se puede realizar mediante mínimos cuadrados, minimización de las distancias entre coordenadas LT y coordenadas de referencia, o bien mediante trilateralización y cuadrilateralización [2], las cuales no obtienen la posición de los LTs respecto a los puntos medidos sino respecto a unos puntos optimizados a partir de los datos capturados por cada uno de los LTs. La cuadrilateralización proporciona una posición más precisa de los LTs que la trilateralización. La cual a su vez mejora a la auto-calibración mediante mínimos cuadrados. Sin embargo, su coste computacional es mucho mayor y depende fuertemente de los valores iniciales de optimización.

Mediante la realización de ensayos sintéticos se demuestra en este artículo que la reducción de la incertidumbre de medición está relacionada directamente con el ángulo espacial α que forman los rayos de medición de los LTs con el punto medido, el cual viene determinado por la disposición espacial de los LTs. La posición de los LTs está limitada por el espacio y las características de la máquina a verificar, debiendo posicionarse de manera que forman un ángulo α lo más próximo posible a 90° entre todos ellos. Con los ensayos realizados en este trabajo se concluye que la reducción del ruido de medición consigue un ev con mayor influencia de los errores de geométricos, obteniéndose una mejor caracterización de los mismos. Esta reducción será mayor mediante una correcta posición de los LTs, una precisa auto-calibración de los mismos y una adecuada resolución de la multilateralización.

Referencias

- [1] S.Aguado, D.Samper, J. Santolaria, J.J. Aguilar. Identification strategy of error parameter in volumetric error compensation of machine tool based on laser tracker measurements. *Int. J. of Machine tool & Manufacture*. Vol. 53, pp. 160-169.
- [2] Seung-Woo Kim, Hyug-Gyo Rhee, Ji-Young Chu 2003. Volumetric phase-measuring interferometer for three-dimensional. *Precision Engineering* 27. pp. 205-215.

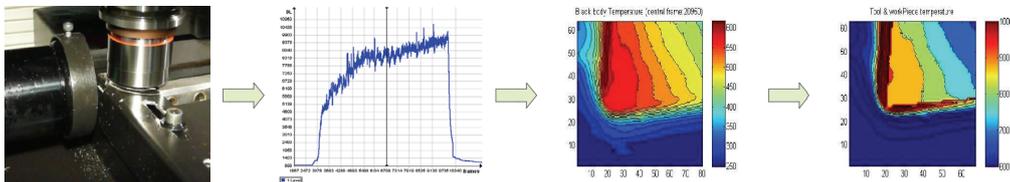
Incertidumbre en la medición de temperatura en el corte ortogonal de aleaciones de Titanio

D. Soler Mallol, A. Garay Araico, L M^a. Iriarte Grutzeta, P.J. Arrazola Arriola

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Producción Industrial. Escuela Politécnica superior de Universidad de Mondragón
dsoler@mondragon.edu

Palabras clave: Temperatura, Infrarrojo, Aleaciones de Titanio

Uno de los puntos clave a la hora de analizar el mecanizado de aleaciones de Titanio es conocer la temperatura que alcanza la herramienta. El uso de dispositivos de captación de radiación infrarroja viene siendo habitual para medir dicha temperatura [1], [2]. Como se puede ver esquemáticamente en la figura para determinar el valor de la temperatura de la herramienta durante el corte seco ortogonal de distintas aleaciones de Titanio, hay que captar la radiación emitida durante el mecanizado de la pieza, luego usar la calibración de la cámara para transformar esta radiación en temperatura de cuerpo negro y finalmente usar la emisividad del material para corregir esta temperatura.



El valor de la temperatura depende en gran medida de las características del corte, como el avance y velocidad de rotación, y del material de la pieza, pero la precisión en la éstas medidas depende además de varios factores relacionados con el set-up experimental, como la distancia entre el plano de corte y el plano en el que se realiza la medida o el tiempo durante el que se toman las medidas entre otros. Evidentemente también depende de la calibración de la cámara termográfica hecha con un cuerpo negro de referencia y finalmente de la precisión en la medición de la emisividad de la herramienta. Todos estos factores son analizados para analizar en qué medida estos afectan a la temperatura final y es estimada la incertidumbre en la medida de la temperatura de la herramienta durante el corte seco ortogonal de distintas aleaciones de Titanio.

Referencias

- [1] P.-J. Arrazola, A. Garay, L.-M. Iriarte, M. Armendia, S. Marya, and F. Le Maître, "Machinability of titanium alloys (Ti6Al4V and Ti555.3)," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, no. 5, pp. 2223-2230, Mar. 2009.
- [2] R. M'Saoubi and H. Chandrasekaran, "Investigation of the effects of tool micro-geometry and coating on tool temperature during orthogonal turning of quenched and tempered steel," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 44, no. 2-3, pp. 213-224, Feb. 2004.

Comparativa de técnicas de filtrado de imágenes para el procesado conjunto de las técnicas de Correlación Digital de Imágenes 2D y Proyección de Franjas

L. Felipe Sesé, F. Díaz Garrido, R. Dorado Vicente

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Minera. Universidad de Jaén
lfelipe@ujaen.es

P. Siegmann,

Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universidad de Alcalá

Palabras clave: Correlación Digital de imágenes 2D, proyección de franjas, filtrado RGB

Correlación Digital de Imágenes 2D y proyección de Franjas son dos técnicas ópticas ampliamente utilizadas por separado en el campo de la mecánica experimental para la determinación de desplazamientos en el plano y fuera de éste respectivamente. Recientemente se han realizado trabajos sobre la unión de las dos técnicas y así poder determinar desplazamientos en el espacio sin necesidad de utilizar sistemas estereoscópicos.

El objetivo de este trabajo es la comparativa de dos técnicas de filtrado de imágenes para poder llevar a cabo la unión de dichas técnicas [1]. En concreto, sobre la probeta objeto de estudio se imprime una distribución aleatoria de manchas conocida como speckle, y se le proyecta un patrón franjas. Con un filtro adecuado, es posible separar speckle y las franjas para poder aplicar ambas técnicas por separado.

Las técnicas de filtrado estudiadas en este trabajo se basan en que el patrón de franjas y el patrón de manchas aleatorias son de diferente color en el espectro RGB [2]. Se propone una técnica de filtrado basada en la separación digital de colores empleando un cámara CCD color (RGB). Los resultados se comparan con los obtenidos empleando un filtrado basado en lentes filtrantes del mismo color (R y B).



Referencias

- [1] P. Siegmann., V. Álvarez-Fernández, F. Díaz-Garrido, E. Patterson. A simultaneous in- and out-of-plane displacement measurement method, *Optics Letters*, Vol 36, No 1 (2011), 10-12.
- [2] C. Mares, B. Barrientos, A. Blanco. Measurement of transient deformation by color encoding. *Optics Express*. Vol 19, No. 25 (2011).

Calibración del montaje óptico para determinación de desplazamientos en el espacio mediante Correlación Digital de Imágenes 2D y Proyección de Franjas

L. Felipe Sesé, F. Díaz Garrido, R. Dorado Vicente

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Minera. Universidad de Jaén
lfelipe@ujaen.es

P. Siegmann,

Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universidad de Alcalá

Palabras clave: Calibración óptica, Correlación Digital de imágenes 2D, proyección de franjas

Correlación Digital de Imágenes 2D es una técnica óptica ampliamente usada en el campo de la mecánica experimental para la determinación de desplazamientos en el plano mediante el uso de una sola cámara. Recientemente se han realizado trabajos sobre la unión de las técnicas DIC 2D y Proyección de Franjas [1], [2], la cual aporta información de desplazamiento fuera de plano. Con ello se consigue determinar los desplazamientos en el espacio sin necesidad de recurrir a sistemas estereoscópicos, normalmente de mayor coste y complejidad.

La unión de las técnicas debe solventar el problema de la aberración que sufren los resultados de DIC 2D al experimentar un desplazamiento fuera de plano. Este trabajo trata de solucionar esta cuestión en base a la calibración del montaje óptico determinando la posición del eje óptico y la distancia de la cámara a la probeta.

Referencias

- [1] P. Siegmann., V. Álvarez-Fernández, F. Díaz-Garrido, E. Patterson. A simultaneous in- and out-of-plane displacement measurement method, *Optics Letters*, Vol 36, No 1 (2011), 10-12.
- [2] C.J. Tay, C. Quan, Y.H. Huang, Y. Fu. Digital image correlation for whole field out-of-plane displacement measurement using a single camera. *Optics Communications*. 251 (2005) 23-36.

Asignación óptima de valores nominales y tolerancias a un conjunto de variables dependientes no normales

I. González Farias

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid
imgfaria@ing.uc3m.es

I. Sánchez Rodríguez Morcillo

Dpto. de Estadística, Universidad Carlos III de Madrid

Palabras clave: Diseño de tolerancias y valores nominales, ICA, variables dependientes, no normales.

Este trabajo es una extensión de la metodología presentada en González y Sánchez (2009, 2010) que permitía la asignación de tolerancias y valores nominales a un conjunto de variables correladas, X , bajo la suposición de normalidad multivariante. En este caso, la metodología que se propone extiende este procedimiento al caso en el que las variables X no se ajustan al modelo normal multivariante.

La metodología se basa en proyectar las variables dependientes X en un conjunto de variables independientes, Z , mediante el uso de la técnica estadística denominada Análisis de Componentes Independientes (ICA). Estas variables Z pueden ser modificadas en media y varianza independientemente una de otra, y ese cambio puede ser trasladado a las variables originales X . De esta manera es posible buscar los valores óptimos de las tolerancias y los valores nominales de X sin tener en cuenta de forma explícita su dependencia.

El problema se plantea como un problema de optimización que busca asignar las tolerancias y los valores nominales de X que maximicen la suma total de tolerancias. La optimización está sujeta a cumplir una serie de restricciones funcionales del conjunto o pieza. Estas restricciones vienen determinadas por un conjunto de variables Y que son función (lineal o no lineal) de las variables X . Por ejemplo, se tienen 3 variables dependientes que representan 3 longitudes de un conjunto mecánico y se considera que el producto es defectuoso si la variable volumen es menor que cierta cantidad.

Para ilustrar la metodología se presenta un ejemplo de aplicación.

Referencias

- [1] I. González, I. Sánchez (2009). Statistical tolerance synthesis with correlated variables. *Mechanism and Machine Theory* 44 (2009) 1097–1107
- [2] I. González, I. Sánchez (2010). Diseño óptimo del valor nominal y las tolerancias de un conjunto de variables correladas. XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica.
- [3] A. Hyvärinen, J. Karhunen and E. Oja. *Independent Component Analysis*, 2001, Ed. Wiley, New York.



Mecatrónica

Análisis de los requisitos dinámicos del fresado tangencial de impellers

F.J. Campa Gómez, O. Altuzarra Maestre, C. Roldán Paraponiaris, A. Calleja Ochoa

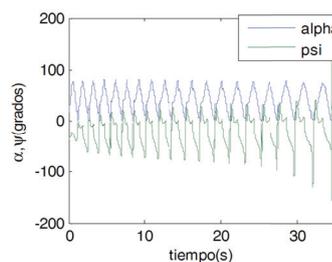
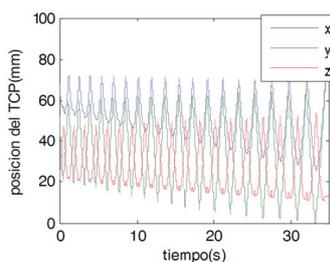
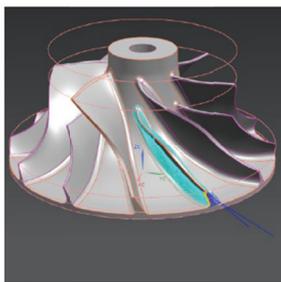
Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad del País Vasco UPV/EHU

fran.campa@ehu.es

Palabras clave: fresado tangencial, impellers, dinámica, accionamientos

El fresado tangencial o *flank-milling* de platos de álabes o *impellers* en materiales como Inconel 718, titanio Ti6Al4V, o aluminio es uno de los procesos de arranque de viruta de mayor valor añadido en la actualidad. También es, posiblemente, una de las operaciones más exigentes desde el punto de vista de la máquina herramienta [1]. Por una parte, las elevadas fuerzas de corte que se generan en el proceso requieren de una estructura de una gran rigidez y amortiguamiento para evitar la deformación estática y la aparición de vibraciones forzadas y autoexcitadas. Por otra parte, la geometría altamente compleja de los álabes, con superficies no regladas o regladas por un cono, exige que la máquina sea altamente dinámica, capaz de posicionar la herramienta con gran precisión y rapidez realizando interpolaciones en 5 ejes. El empleo de una máquina de 5 ejes es esencial para poder realizar los giros necesarios para generar la superficie alabeada. La capacidad de la máquina para realizar dicha tarea cumpliendo con los objetivos de posición y velocidad de avance programados depende de la configuración cinemática, su masa y rigidez, de los accionamientos y de un correcto ajuste de los lazos de control.

El presente trabajo se ha centrado en analizar los requisitos dinámicos del mecanizado de estas piezas. Para ello, se han seleccionado diferentes geometrías de álabe con superficies regladas y no regladas y se han programado las trayectorias y velocidades de avance que debe tomar la herramienta en un programa de CAM. Se ha tenido en cuenta la herramienta más adecuada para cada tipo de pieza y se han programado distintas estrategias de corte en función de la pieza, como el mecanizado paso a paso o el mecanizado de acabado con flanco. También se ha tenido en cuenta el material de pieza en la programación de las condiciones de corte de la herramienta. A partir de las coordenadas cartesianas de la punta de herramienta durante la trayectoria generadas en el CAM, los cosenos directores del eje de la misma y la condición de velocidad de avance, se han obtenido los requisitos de posicionamiento, velocidad lineal y angular, así como las aceleraciones que debe alcanzar una máquina herramienta diseñada a tal efecto. Por otro lado, el análisis de Fourier de la posición que debe ocupar la herramienta permite obtener unos requisitos en cuanto al ancho de banda necesario en los accionamientos.



Referencias

[1] J.P. Davim. Machining of complex sculptured surfaces, Springer, ISBN 978-1-4471-2355-2, (2012).



Robótica

Diseño y simulación de un actuador de rigidez variable

J. López Martínez, A. Giménez Fernández,
Dpto. de Ingeniería Rural. Universidad de Almería
Javier.lopez@ual.es

D. García Vallejo,
Dpto. de Ingeniería Mecánica y de los Materiales. Universidad de Sevilla

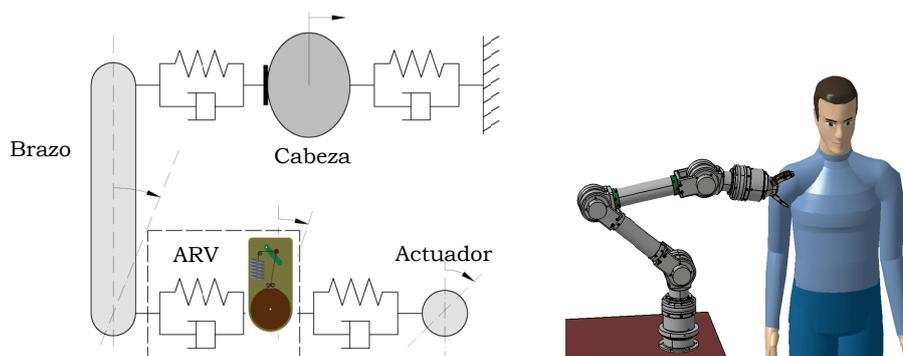
A. Jardón Huete, C. Balaguer Bernaldo de Quirós
Robotics Lab. Universidad Carlos III de Madrid

Palabras clave: actuador de rigidez variable, robots de servicio, impacto hombre-robot.

Las aplicaciones de los robots manipuladores se están extendiendo a nuevos escenarios en los que pueden interactuar con entornos desconocidos y realizar tareas cooperativas con los humanos. En este contexto, se han presentado nuevos retos en cuanto a cómo garantizar la seguridad del entorno, de las personas y del propio robot. Recientemente se ha mostrado gran interés en el desarrollo de los llamados Actuadores de Rigidez Variable (ARV) como medio para reducir el daño en el caso de un choque accidental del robot sobre su entorno [1]. A pesar del considerable número de prototipos desarrollados con este fin, aún se requiere mucho trabajo de investigación en este campo, tanto en el propio diseño del actuador como en su contribución a la reducción del daño en el caso de un impacto accidental.

En este trabajo se presenta el diseño mecánico de un nuevo ARV, en el que un resorte accionado mediante un sistema de cable-polea es el elemento que aporta flexibilidad al mecanismo. La rigidez del dispositivo se puede variar mediante un motor secundario que modificando la posición de una palanca, la cual guía el recorrido del cable de tracción. A diferencia de otros prototipos, el diseño del nuevo ARV permite adoptar una configuración completamente rígida, y el uso de un sistema accionado por cables aporta versatilidad en el diseño.

Para evaluar el comportamiento de un brazo robot con el nuevo ARV se ha simulado una situación probable de choque, en la que un brazo de 1 g.d.l. impacta sobre la cabeza del usuario. A partir del modelo multicuerpo se obtienen los valores de fuerza de impacto, aceleración de la cabeza del usuario y par en el actuador del brazo robot. En base a los valores obtenidos para distintos ajustes de rigidez del ARV, se analiza su contribución en la disminución del daño tanto en el hombre como en el propio robot.



Referencias

[1] V. R. Ham, T. G. Sugar, B. Vanderborght, K. W. Hollander and D. Lefeber, Compliant actuator designs: Review of actuators with passive adjustable compliance/controllable stiffness for robotic applications, IEEE Robotics and Automation Magazine, 16 (2009), 81-94.

Resolución del problema cinemático inverso en un robot SCARA mediante grupos de Assur

A. Noriega González, Alberto García Martínez, Miguel Muñiz Calvente

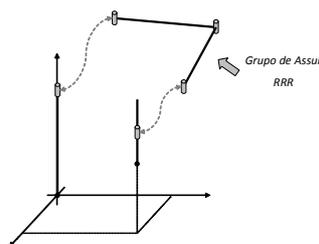
Dpto. de Construcción e Ingeniería de Fabricación. Universidad de Oviedo
noriegaalvaro@uniovi.es

Palabras clave: problema cinemático inverso, robot SCARA, grupos de Assur

Los grupos de Assur son bien conocidos en robótica pero su utilización práctica está relativamente poco extendida y casi siempre está centrada en el problema de la posición y el análisis de movilidad de los robots, siendo los problemas de la velocidad y la aceleración escasamente tratados en la bibliografía conocida. Además, en esos casos, el análisis cinemático se realiza, casi siempre, en base al polinomio característico [1].

En este artículo se presenta una *nueva formulación* basada en el enfoque mostrado en [3] donde se definen las restricciones cinemáticas en base a relaciones cartesianas entre las coordenadas de los pares y relaciones trigonométricas entre las barras y donde se diferencian todos los casos de montaje posible o imposible del grupo así como los diferentes modos de ensamblaje del mismo. Las ecuaciones obtenidas se derivan respecto del tiempo para resolver, explícitamente, el problema cinemático (posición, velocidad y aceleración) del grupo de Assur RRR.

A continuación, se formula la cinemática inversa de un robot SCARA dividiéndolo según se indica en la Figura 1 en un grupo de Assur RRR y un grupo de Assur RRR rollada para el grupo RRR.



Las ventajas de esta nueva formulación son su sencillez y su eficiencia computacional. El tiempo empleado para la resolución de la cinemática inversa del grupo RRR con la nueva formulación es, aproximadamente, un 20% del empleado cuando ese mismo grupo se modeliza en coordenadas naturales y un 50% del empleado con coordenadas relativas. Otra ventaja de esta formulación es que permite definir inequívocamente el modo de trabajo del robot, el cual se mantendrá durante toda la simulación.

La resolución eficiente de la cinemática inversa de este robot tiene gran interés para desarrollar algoritmos automáticos de planificación de trayectoria cuando este trabaje en entornos con presencia de humanos y deba modificarse dicha trayectoria en tiempo real para evitar colisiones, asegurando, a la vez, el paso por unos puntos de control [2].

Referencias

- [1] X. Kong, C.M. Gosselin. Forward displacement analysis of third-class analytic 3-RPR planar parallel manipulators, *Mech. Mach. Theory*, 36-9 (2001), 1009–1018.
- [2] J. Lenarčič, P. Wenger. *Advances in robot kinematics: analysis and design*, Springer, (2008).
- [3] A. Noriega, M. Cadenas, R. Fernández. Position problem in Assur's groups with revolute pairs, 4th EUCOMES, (2012) (Aceptado).



Ruido y Vibraciones

Caracterización de la placa de una herramienta de bruñido con bola asistida por una vibración ultrasónica

G. Gómez Gras, H.A. González Rojas, J.A. Travieso Rodríguez, A.E. Nápoles Alberro

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universitat Politècnica de Catalunya

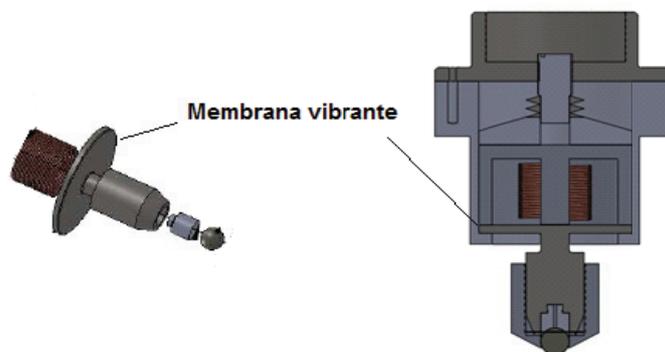
antonio.travieso@upc.edu

Palabras clave: vibración ultrasónica, bruñido con bola

En la industria actual existe una gran cantidad de componentes mecánicos de máquinas-herramienta, automóviles, aviones, trenes, barcos, moldes, matrices de conformación, y muchas otras piezas, que deben tener una buena rugosidad superficial, una tolerancia geométrica concreta, un grado de dureza superficial elevado y unos valores de resistencia mecánica considerables para poder hacer frente a sus prestaciones. En los últimos años ha crecido notoriamente la cantidad de investigación asociada a los diferentes procesos que sean capaces de dejar en estas piezas, las características adecuadas para que puedan cumplir dichas prestaciones. A día de hoy se cuenta con un proceso capaz de solventar con éxito todas estas necesidades: el bruñido con bola, aunque el éste también presenta sus limitaciones en cuanto a qué materiales se pueden bruñir y cómo varía las propiedades de éstos.

El bruñido con bola se define como una operación tecnológica que consiste en deformar plásticamente las irregularidades de una superficie, por la acción de la fuerza ejercida por un cilindro o bola (Travieso-Rodríguez, J. A. et al, 2011).

El presente artículo aborda la caracterización de la membrana vibrante de una herramienta de bruñido asistida por una vibración de alta frecuencia. Dicha vibración contribuye a hacer más fácil el desarrollo de este proceso de acabado, puesto que la misma ayuda a deformar con mayor facilidad el material de la pieza que se trabaja. En la siguiente figura se muestra un esquema de la herramienta y de la membrana en estudio.



Al final se obtienen las dimensiones óptimas para la membrana de la herramienta, así como el modelo matemático que caracteriza su funcionamiento.

Referencias

- [1] Travieso-Rodríguez, J. A.; Dessen, G.; González-Rojas, H. A., 2011. Improving the Surface Finish of Concave and Convex Surfaces Using a Ball Burnishing Process. *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 26, Iss. 12 (2011), 1494-1502.
- [2] Fang-Jung Shiou, Chien-Hua Chen. Freeform surface finish of plastic injection mould by using ball-burnishing process. *Journal of Materials Processing Technology* 140 (2003), 248-254.

Análisis sonoro y vibracional de una estructura empleada para soporte de micrófonos en ensayos de ruido de rodadura de neumáticos

J.G. López López, N. Campillo Davó, R. Peral Orts, E. Velasco Sánchez
Dpto. de Ingeniería Mecánica y Energía. Universidad Miguel Hernández de Elche
jose.lopez24@graduado.umh.es; ncampillo@umh.es

Palabras clave: ruido, rodadura, neumático, estructura, micrófono

La principal fuente generadora de ruido de un vehículo cuando éste circula a alta velocidad, procede de la interacción neumático/pavimento. A este tipo de ruido, también denominado de rodadura, y que depende de la velocidad del vehículo, contribuyen directamente tanto la superficie de la vía como el neumático del vehículo.

El objetivo de este estudio es analizar el comportamiento estructural y la influencia sobre la propagación sonora de una estructura de barras que se emplea como soporte de micrófonos en ensayos en los que se evalúa el ruido generado por la rodadura de un neumático en su campo cercano: ensayo Close-Proximity (CPX) [1] y ensayo Close-Proximity Alternativo (CPXA) [2]. La estructura, formada a su vez por dos subestructuras, se embarca alrededor de la rueda trasera derecha del vehículo de ensayo, definiendo la posición exacta de los micrófonos.

Puesto que la estructura ha sido específicamente diseñada para este ensayo, como parte del proceso de diseño se analizó, con la ayuda de modelos de elementos finitos, su comportamiento vibracional con el fin de minimizar las vibraciones que se originen durante la circulación del vehículo. Con los modelos una vez definidos, se procedió a la construcción de la estructura. Durante los ensayos se registró el nivel de presión sonora medido en cada posición de micrófono, así como las vibraciones en la subestructura CPXA con el fin de comparar resultados con los datos obtenidos en el análisis de vibraciones.

El análisis de la posible interferencia que pueden generar las barras sobre la propagación de las ondas sonoras se ha realizado por dos vías de estudio. En la primera se han empleado softwares de simulación acústica con los que se han reproducido las condiciones que habría durante los ensayos, con el fin de predecir el comportamiento de los datos registrados por los micrófonos en los ensayos. En la segunda línea se ha trabajado con un modelo de elementos finitos en el que se ha analizado el ruido inducido por el flujo de aire en el entorno cercano al conjunto del vehículo, neumático y estructura.

Las metodologías empleadas para el cálculo, los resultados y las conclusiones derivadas de este trabajo son recogidos en el presente artículo.

Referencias

- [1] Norma ISO/CD 11819-2 Acoustics — Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise — Part 2: The close-proximity method.
- [2] Norma UNE-EN ISO 3744: 2010 Acústica. Determinación de los niveles de potencia acústica y de los niveles de energía acústica de fuentes de ruido utilizando presión acústica. Métodos de ingeniería para un campo esencialmente libre sobre un plano reflectante.

Modelado acústico 3D de silenciadores de escape multicámara con superficies microperforadas y de impedancia constante

F. D. Denia, E. M. Sánchez-Orgaz, F.J. Fuenmayor

Centro de Investigación de Tecnología de Vehículos, Universitat Politècnica de València
fdenia@mcm.upv.es

D. J. Busquets

Instituto de Tecnología de Materiales, Universitat Politècnica de València

Palabras clave: ruido, silenciador multicámara, microperforado, impedancia, elementos finitos

En este trabajo se presenta la aplicación del método de elementos finitos al modelado del comportamiento acústico tridimensional de silenciadores multicámara. Se plantea la búsqueda de diseños novedosos basados en la utilización de dos posibles tipos de superficies para el conducto central. Por un lado, superficies microperforadas cuyo comportamiento es muy efectivo en el rango de bajas frecuencias, según estudios recientes [1]. Por otro, superficies de impedancia constante desarrolladas por los equipos investigadores del CITV e ITM, que permiten la reducción de las emisiones sonoras en el rango de medias y altas frecuencias. El objetivo final de dichos diseños novedosos consiste en encontrar alternativas a la configuración clásica de silenciador disipativo con material absorbente y conducto perforado, habida cuenta de los inconvenientes asociados a este tipo de silenciador. Entre otros, cabe destacar costes, peso y problemas relacionados con la degradación de las fibras, así como su arrastre y emisión al ambiente circundante, con los efectos nocivos que esto implica. La aplicación del método de elementos finitos ha permitido realizar una comparación exhaustiva de las prestaciones acústicas de los tres tipos de silenciador indicados, teniendo en cuenta múltiples parámetros y variables de diseño. Entre éstos cabe incluir las características de las superficies de impedancia constante, perforadas y microperforadas (porosidad, espesor y diámetro de orificio), las propiedades del material absorbente (resistividad), las dimensiones geométricas de las configuraciones de silenciador bajo análisis (longitudes y diámetros de cámaras y conductos) y el número de cámaras utilizadas. Los resultados obtenidos muestran que la utilización de superficies microperforadas y de impedancia constante pueden constituir una alternativa eficaz a los silenciadores disipativos tradicionales.

Referencias

- [1] S. Allam, M. Åbom. A new type of mufflers based on Micro-Perforated tubes, *J. Vibration and Acoustics*, 133 (2011), 1-8. DOI: 10.1115/1.4002956.

Modelos numéricos para el análisis del comportamiento vibratorio de vías férreas

A. Zougari, J. Martínez Miralles

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universitat Politècnica de Catalunya.
zougari.ayoub@estudiant.upc.edu; jmartinez.miralles@upc.edu

Palabras clave: vibraciones, elementos finitos, vías férreas

Uno de los aspectos que los últimos años ha cobrado especial importancia en el desarrollo del transporte ferroviario es el estudio de las vibraciones y el ruido de rodadura producidos por el tráfico ferroviario. Es por esta razón que las empresas del transporte ferroviario se plantean como objetivos: una mayor durabilidad de los materiales rodantes, una creciente reducción de los costes de mantenimiento y mantener una seguridad creciente. Todo ello justifica el interés en el estudio del comportamiento vibratorio de la vía.

Diversos autores se han centrado en el estudio de las vibraciones ocasionadas al paso de un tren, y han presentado diferentes teorías y modelos. Dichos modelos abarcan desde modelos analíticos que representan solo media vía, hasta modelos complejos basados en métodos de elementos finitos, elementos de contorno, etc. En la bibliografía se encuentran básicamente dos modelos analíticos de vía [1, 2, 3]: el modelo continuo y el modelo discreto. El primer modelo considera que los parámetros de los elementos de la vía: fijaciones, traviesas, etc., están uniformemente distribuidos a lo largo del carril, el cual se modeliza como una viga infinita de Euler-Bernoulli o de Timoshenko; mientras que el segundo modelo considera los elementos de la vía como elementos discretos e introduce el efecto de la distancia entre fijaciones.

Sobre la base de lo mencionado anteriormente, en el trabajo que se presenta se ha recurrido a modelos numéricos para realizar el estudio del comportamiento vibratorio de la estructura de la vía. El objetivo es disponer de un modelo que describa de forma más precisa el comportamiento de la estructura, incluyendo aspectos no reflejados en los modelos analíticos clásico como son la flexibilidad de las traviesas o la rigidez distribuida del balasto.

La ponencia que se propone presenta los resultados obtenidos con los modelos numéricos de diversos tipos de vía utilizando el cálculo por elementos finitos, en concreto la plataforma ANSYS 13. Dichos resultados se presentan en forma de respuesta frecuencial de la vía en diversas localizaciones. Los resultados obtenidos se contrastan con resultados experimentales obtenidos a partir de mediciones realizadas en el Ferrocarril Metropolitano de Barcelona y otros procedentes de la bibliografía.

Referencias

- [1] Otero, J., Martínez, J., de los Santos, M. A. "Evaluación de las vibraciones generadas al paso de tren considerando diferentes tipologías de vía", *IX Congreso Iberoamericano de Ingeniería mecánica*, Las palmas de Gran Canaria, España, Octubre 2009, 1403-1406, (2009).
- [2] Otero, J., "Contribución al estudio de las vibraciones producidas por el contacto rueda-carril y su transmisión al entorno". *Tesis Doctoral*. Departamento de Ingeniería mecánica, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España. Septiembre (2009).
- [3] Otero, J., Martínez, J., Los Santos, M.A., Cardona, S. "A mathematical model to study railway track dynamics for prediction of vibration levels generated by rail vehicles". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 226(1), 62-71, (2012).

Control pasivo de vibraciones aplicado al acondicionamiento de puentes de ferrocarril para velocidades de tráfico superiores

M.D. Martínez Rodrigo,

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I
mrodrigo@emc.uji.es

J. Lavado Rodríguez,

Dpto. de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica. Universidad del Granada

P. Museros Romero

Dpto. de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Universidad Politécnica de Valencia

Palabras clave: vibraciones en puentes, amortiguadores fluido viscosos, control pasivo de estructuras, resonancia en puentes, cargas móviles, viga doble

En el trabajo que se presenta se investiga el problema de vibraciones verticales excesivas que pueden experimentar algunos puentes de ferrocarril de luces medias-cortas debido a la aparición de fenómenos de resonancia. Frente a soluciones tradicionales para mejorar el comportamiento dinámico de estructuras existentes ante nuevos requerimientos de tráfico, como un posible recrecido de la losa o la sustitución del tablero, se plantea la alternativa de aumentar externamente el nivel de amortiguamiento mediante el reacondicionamiento con amortiguadores fluido-viscosos. Se ha propuesto una configuración concreta, que permite la transformación del movimiento vertical de la losa en movimiento relativo entre extremos de los dispositivos, consiguiendo de este modo disipar energía y atenuar en gran medida la respuesta resonante. El sistema ideado podría ser introducido sin afectar a las circulaciones, lo que supone una clara ventaja desde el punto de vista operativo frente a soluciones convencionales que generalmente implican el cierre temporal de la línea.

El trabajo realizado está orientado en dos direcciones complementarias: (i) el estudio de la viabilidad técnica del sistema de reacondicionamiento, y (ii) el desarrollo de una metodología de proyecto del mismo.

Como ejemplo de aplicación práctica del trabajo desarrollado, se ha realizado el cálculo dinámico y proyectado el reacondicionamiento de un puente real perteneciente a la red ferroviaria de viajeros española, considerando una posible adaptación de la línea a velocidades de explotación superior a la actual. Se ha podido constatar que las oscilaciones verticales que aparecen en este tipo de estructuras ante la circulación de composiciones ferroviarias, pueden ser reducidas drásticamente mediante el sistema de reacondicionamiento propuesto, siendo posible limitar niveles de aceleración vertical considerablemente elevados al valor umbral en vía sobre balasto de 3.5 m/s^2 , sin superar la capacidad de los amortiguadores comerciales, los esfuerzos máximos admisibles en la estructura auxiliar, ni agotar la resistencia a punzonamiento de la losa de reparto. Se ha prestado especial atención a aspectos relacionados con la materialización constructiva del sistema propuesto, con el objetivo de valorar de forma realista la efectividad y viabilidad de la solución propuesta.

Referencias

- [1] M.D Martínez-Rodrigo, P. Museros. Optimal design of passive viscous dampers for controlling the resonant response of orthotropic plates under high-speed moving loads, *J. Sound and Vibration*, 330 (2011), 1328-1351.
- [2] M.D Martínez-Rodrigo, J. Lavado, P. Museros. Dynamic performance of existing high-speed railway bridges under resonant conditions retrofitted with fluid viscous dampers, *Engineering Structures*, 32 (2010), 808-828.

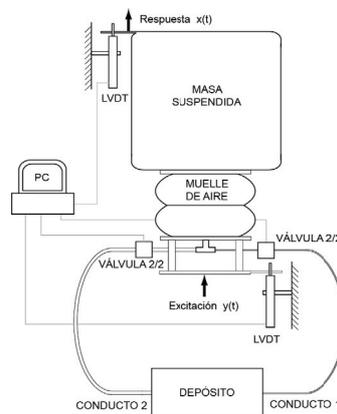
Adaptabilidad de suspensiones neumáticas frente a excitaciones de tipo aleatorio

A.J. Nieto, A.L. Morales, J.M. Chicharro, P. Pintado

Dpto. de Mecánica Aplicada e Ingeniería de Proyectos. Universidad de Castilla-La Mancha
antoniojavier.nieto@uclm.es

Palabras clave: suspensión neumática, identificación de frecuencia, perfil de carretera

En este trabajo se presenta el desempeño de una suspensión neumática frente a distintos tipos de excitaciones procedentes de la base. El modelo de esta suspensión ha sido desarrollado previamente por los autores [1]. El modelo contempla tres elementos principales como son un muelle de aire, un acumulador y un par de conductos conectándolos, como se muestra en la figura. La validación experimental satisfactoria del modelo permite poder usarlo como herramienta de simulación para la atenuación de señales de excitación de diversa índole.



Un primer grupo de estas señales vibratorias corresponde a las señales armónicas (ya sean de frecuencia constante o proporcional al tiempo). Para este tipo de señales, el modelo presenta un par de modos de funcionamiento correspondiente con los dos conductos presentes en la suspensión. La elección entre los dos modos queda marcada por el hecho de que la frecuencia instantánea de la excitación sea mayor o menor que una frecuencia de transición característica obtenida en el modelo. Por medio de una estimación algebraica desarrollada por estos autores [2], se le dota a la suspensión de una señal de realimentación. De este modo, la suspensión es capaz de afrontar en lazo cerrado la atenuación de este primer grupo de señales.

Un segundo grupo de señales vibratorias estudiadas (en realidad, es el caso general) son las señales aleatorias. Este tipo de señales se producen de manera natural cuando un vehículo dotado con una suspensión atraviesa un perfil de carretera. En este trabajo se aborda también la generación de estos perfiles, así como la adecuación de distintos modos posibles de la suspensión para la consecución de distintas funciones objetivos (confort, fuerza transmitida al firme, etc).

Referencias

- [1] A.J. Nieto, A.L. Morales, A. González, J.M. Chicharro, P. Pintado. An analytical model of pneumatic suspensions based on an experimental characterization, *Journal of Sound and Vibration*, 313 (1-2), (2008), 290-307.
- [2] A.J. Nieto, A.L. Morales, J.R. Trapero, J.M. Chicharro, P. Pintado. An adaptive pneumatic suspension based on the estimation of the excitation frequency, *Journal of Sound and Vibration*, 330 (9), (2011), 1891-1903.

Análisis de las oscilaciones residuales en movimientos de distribución de sistemas pendulares de transporte

J. López López, M. Artés Gómez

Departamento de Mecánica. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) C/ Juan del Rosal, 12. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid, España.
jlopez@ind.uned.es

Palabras clave: vibraciones, grúas, sistemas pendulares.

En los sistemas pendulares de transporte de material como los utilizados en grúas torre o apoticadas se producen oscilaciones de la carga debidas, entre otras causas, a las inercias que actúan cuando se producen los movimientos inherentes al transporte desde el punto de partida al de recepción. Estas oscilaciones son indeseables, no solamente desde el punto de vista mecánico debido a las posibles resonancias que pudieran causar con la estructura soporte, sino también desde el punto de vista de la seguridad de los operarios que intervienen durante el proceso. Son numerosos los trabajos en los campos de la dinámica y del control en los que se estudia la posibilidad de reducir o eliminar estas vibraciones. Particularmente, los esfuerzos son notables en lo que se refiere a la forma que adquiere el perfil de velocidad del carro debido a las fuerzas que actúan sobre él. Con esta base se han desarrollado algoritmos de control que minimizan las vibraciones controlando los tiempos de aceleración y parada en función del periodo natural de oscilación del sistema pendular. Sin embargo la utilización de grúas automatizadas se encuentra restringida normalmente a aquellos casos en los que la secuencia de movimientos goza de cierta reproducibilidad, operándose la grúa manualmente en la mayoría de aplicaciones para maximizar la flexibilidad durante el proceso de transporte de la carga. El manejo manual de la grúa en base a la experiencia e intuición del operador no está exento de posibles errores que pueden hacer que la oscilación residual durante el trayecto o en la recepción tenga una amplitud significativa. En este trabajo se analiza la importancia de estas vibraciones residuales en aquellos casos en los que las actuaciones de arranque y parada del mecanismo de distribución se realizan con un cierto margen de error con respecto a aquellas que corresponderían a las situaciones óptimas.

Referencias

- [1] E. M. Abdel-Rahman et al. Dynamics and control of cranes: A Review, *Journal of Vibration and Control*, 9 (2003), 863-908.
- [2] H. M. Omar. Control of Gantry and Tower Cranes, Doctoral Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003.
- [3] W. Singhose, L. Porter, M. Kenison, E. Kriikku. Effects of hoisting on the input shaping control of gantry cranes, *Control Engineering Practice*, 8, 10 (2000), 1159-1165.
- [4] S. Garrido, M. Abderrahim, A. Giménez, R. Diez, and C. Balaguer. Anti-Swinging Input Shaping Control of an Automatic Construction Crane, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 5 (2008), 549-557.

Técnica experimental con excitación simultánea para la caracterización acústica de elementos de una línea de escape en presencia de flujo medio

A. M. Pedrosa, F. D. Denia, A. J. Besa, F. J. Fuenmayor

Centro de Investigación de Tecnología de Vehículos. Universitat Politècnica de Valencia
anpedsan@dimmm.upv.es

Palabras clave: excitación simultánea, método de las dos fuentes, silenciador, flujo medio

La técnica experimental descrita en el presente trabajo está basada en el método de las dos fuentes desarrollado por Munjal [1]. El trabajo original se plantea como objetivo obtener la matriz de transferencia de un elemento acústico, que permite relacionar dos variables acústicas a la entrada y a la salida del mismo según la expresión

$$\begin{Bmatrix} p_e \\ v_e \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} p_s \\ v_s \end{Bmatrix}$$

donde p y v son la presión y la velocidad acústica a la entrada y a la salida del sistema y A , B , C y D , los llamados polos del sistema. Esta representación es considerada eficaz, ya que no depende de la fuente emisora ni de las características aguas arriba y aguas abajo del sistema acústico bajo estudio. Además a partir de sus términos es posible obtener otros parámetros que representan el sistema, como es el índice de pérdida de transmisión (Transmission Loss, TL), empleado habitualmente para la caracterización de silenciadores y otros dispositivos de la línea de escape. Los polos de la matriz pueden obtenerse a partir de dos análisis independientes. En el trabajo de Munjal estos análisis consisten en dos ensayos. En el primero, la fuente acústica se sitúa a un lado del silenciador, y en segundo al otro.

La metodología presentada en este trabajo consiste en llevar a cabo un solo ensayo, en el que las dos fuentes, situadas también a ambos lados del elemento bajo estudio, introducen excitación simultáneamente con señales independientes. Con un tratamiento adecuado de las señales acústicas registradas, es posible llevar a cabo su descomposición en las partes correspondientes a cada una de las fuentes, lo cual es equivalente a realizar dos ensayos distintos e independientes. De esta forma, puede obtenerse la misma caracterización llevando a cabo un solo ensayo, reduciendo el tiempo a la mitad, aspecto especialmente interesante en presencia de flujo medio, ya que los parámetros ambientales y las condiciones del flujo no son fáciles de mantener constantes en el tiempo.

Como herramienta de validación se presentan los polos de la matriz de transferencia de un conducto recto de sección circular con flujo medio, que son conocidos teóricamente. Se incluye también el TL de algunos silenciadores con distintos valores de flujo medio.

Referencias

- [1] M. L. Munjal, A.G. Doige. Theory of a two source-location method for direct experimental evaluation of the four pole parameters of an aeroacoustic element, *J. of Sound and Vibration*, 141 (1990), 323-333.

Monitorización del confort vibroacústico en ascensores mediante técnicas de tratamiento de señal avanzadas

E. Esteban Echeverría, O. Salgado Picón

Dpto. de Ingeniería Mecánica. IK4-Ikerlan, J.M. Arizmendiárreta 2, 20500 Mondragón, España
osalgado@ikerlan.es

A. Iturrospe Iregui

Dpto. de Electrónica e Informática. Escuela Politécnica Superior de Mondragón Unibertsitatea, Loramendi 4, 20500 Mondragón, España

I. Isasa Gabilondo

Dpto. de Especialidad Mecánica, Orona EIC S. Coop., Pol. Lastaola s/n, 20120 Hernani, España

Palabras clave: monitorización, tratamiento de señal, sistemas electromecánicos

La monitorización es la observación mediante dispositivos o instrumentación electrónica del curso de uno o varios parámetros fisiológicos para la detección de posibles irregularidades. Un sistema de monitorización identifica el estado y el deterioro de los sistemas electromecánicos [1].

Actualmente, las metodologías de monitorización más empleadas tratan de identificar en base a modelos el estado del sistema [2]. Estos modelos tratan de explicar tanto la dinámica del sistema como las distintas causas que modifican su comportamiento. Según la literatura científica, las posibles aproximaciones a la hora de abordar el desarrollo de sistemas de monitorización en base a modelos se pueden clasificar en tres tipos [3]. En primer lugar, las aproximaciones basadas en modelos puramente teóricos, "White-Box". En segundo lugar, los modelos empíricos, "Black-Box", que no toman en cuenta a priori el sistema subyacente y que se basan únicamente en medidas experimentales. Finalmente, los modelos teórico-empíricos, "Grey-Box", que combinan el desarrollo de modelos teóricos con resultados obtenidos empíricamente.

Este documento presta especial atención a la monitorización de ascensores eléctricos. La posibilidad de monitorizar de forma continua el ascensor e identificar las causas que inciden en su confort vibroacústico que ofrece es una necesidad actual en el sector del transporte vertical [4]. El confort vibroacústico ofrecido por un ascensor eléctrico se ve afectado por el deterioro, disminuyendo el nivel de confort a lo largo de la vida útil de la instalación. En este artículo se analizan las técnicas que actualmente se emplean en el monitorizado de ascensores, identificando sus capacidades y limitaciones. Además, se propone el empleo de otras técnicas, que se han empleado con éxito en otras aplicaciones, y que presentan potencial para ser empleadas en la monitorización del confort vibroacústico de ascensores. Finalmente se presentan resultados de simulación en base a modelos electromecánicos teóricos del ascensor empleando algunas de las técnicas propuestas.

Referencias

- [1] R. Randall. *Vibration-based Condition Monitoring: Industrial, Aerospace and Automotive Applications*. John Wiley & Sons, (2010).
- [2] S.X. Ding. *Model-based fault diagnosis techniques: design schemes, algorithms, and tools*. Springer Verlag, (2011).
- [3] R. Isermann and M. Munchhof. *Identification of Dynamical Systems: An Introduction with Applications*. Springer Verlag, (2011).
- [4] T. Ebeling. *Condition Monitoring for Elevators – An Overview*. Lift Report, (2011).



Sostenibilidad y Medio Ambiente en Ingeniería Mecánica

Una alternativa ecológica en el recubrimiento de materiales mediante el uso de convertidores de óxidos aplicados en probetas de acero 1010 expuestas en ambiente salino

J. Axotla García, O. García León, M. Pineda Becerril, A. Aguilar Márquez

Dpto. de Matemáticas. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM

Jc_axotla@fesc.unam.mx

F. León Rodríguez

Dpto. de Química. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM

fridam@unam.mx

Palabras clave: corrosión, convertidores de óxido, ambiente salino

Se han desarrollado diversas formulaciones de pinturas con propiedades anticorrosivas para evitar la degradación de los materiales metálicos. Las formulaciones anticorrosivas fundamentalmente contenían compuestos de plomo o de cromo hexavalente que contaminaban el medio ambiente y representaban un riesgo para la salud humana. Hoy en día las normativas en diferentes países exigen el uso de recubrimientos anticorrosivos de baja toxicidad y que se cumpla con los límites permitidos de emisión de los compuestos orgánicos volátiles.

La protección anticorrosiva de los aceros pintados se puede lograr si se forma una barrera impermeable, lo que es factible alcanzar con una capa gruesa de recubrimiento, la cual puede representar altos costos. Esta protección, también se puede alcanzar con el uso de pigmentos inhibidores de la corrosión, y también mediante un tratamiento químico de la superficie previo a la aplicación de la pintura.

Los convertidores de óxidos, son formulaciones químicas que se aplican en el metal para transformar a óxidos los elementos presentes en la superficie, a fin de lograr la pasivación del material, eliminando la posibilidad de un ataque futuro después de la aplicación de un recubrimiento

En el presente trabajo se evalúa el desempeño que tiene el alcohol isopropílico y una combinación al 50% de alcohol isopropílico con alcohol terbutílico, como vehículo para la formación de convertidores de óxidos mediante el uso de los ácidos tánico y fosfórico a diferentes concentraciones, los cuales fueron aplicados a probetas de prueba de un acero normalizado SAE 1010 limpiadas mediante un proceso de arenado (sandblast), hasta metal blanco (grado A Sa 2 ½ de la norma SIS 05 59 00). Se utilizó una cámara de niebla salina donde las probetas permanecieron durante 1000 horas. Los resultados obtenidos en las probetas de prueba demuestran la acción que tienen los tratamientos sobre la superficie de los materiales evaluando el grado y densidad de ampollamiento, el porcentaje de oxidación, el avance o crecimiento de la corrosión y la adherencia como una medida de las propiedades físicas de los recubrimientos. Se concluyó que la mezcla del alcohol isopropílico y terbutílico como disolvente para una concentración alta de ácido tánico y fosfórico funcionan mejor como convertidores de óxidos.

Referencias

- [1] A.N. Nigam, R.P. Tripathi and K. Dhoot. (1990). The effect of phosphoric acid on rust studied by mössbauer spectroscopy. Corrosion Science . 30 8/9 p. 799.
- [2] Bilurbina Alter L. Liesa Mestres F. Iribarren Laco J.I. Corrosión y Protección, Ediciones UPC. España, 2000.
- [3] C. A. Barrero, L. M. Ocampo, y C. E. Arroyave. (2001). Possible improvements in the action of some rust converters. Corrosion Science. 43. p1003.

ECODISEÑO: eje de innovación en el diseño de un producto industrial

Ing. F. Cavas-Martínez, Dr. J. Conesa Pastor

Dpto. de Expresión Gráfica. Universidad Politécnica de Cartagena
francisco.cavas@upct.es, julian.conesa@upct.es

Dr. A. Rodríguez Piñero, Dr. F. Acosta Ruiz

Dpto. Gráfica de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Mecánica. CUJAE
alberto@mecanica.cujae.edu.cu, facosta@mecanica.cujae.edu.cu, mperez@mecanica.edu.cu

Palabras clave: Ecodiseño, Diseño para la Ingeniería, Producto, Innovación

Históricamente, el enfoque del concepto del diseño ha estado estrechamente ligado al desarrollo tecnológico y ha centrado su atención en el desarrollo de productos (o de nuevos productos) para satisfacer las demandas de los consumidores. Actualmente, además de la visión anterior, se plantea la necesidad de mejorar la ecoeficiencia, reduciendo su impacto ambiental a lo largo de su proceso de fabricación y de su ciclo de vida, este nuevo enfoque, complementario al anterior, se denomina Ecodiseño.

El objetivo del presente trabajo ha sido la definición de criterios ambientales como eje de innovación en el diseño de una mampara con el fin de alcanzar una reducción del impacto global del producto durante su ciclo de vida. Para ello hemos utilizado la metodología denominada Operativa de Implementación en 7 pasos definida por IHOBE.

La aplicación de esta metodología nos ha permitido una reducción del 7.5 % de consumo de recursos energéticos, además de una reducción del 15 % de la cantidad de materia prima utilizada para la fabricación del producto. La mejora en la sostenibilidad ambiental del proceso mediante la definición de un nuevo sistema de producción cerrado consiguiendo un equilibrio dinámico entre el producto y los subproductos, una reducción del volumen del producto optimizando la operatividad, mantenimiento y el uso del espacio para los medios de transporte, así como, una mejora en la competitividad de la empresa al ofertar un producto con mayor valor añadido contribuyendo de forma decisiva a la conservación de los recursos y la protección del medio ambiente.

Estos resultados constatan la validez de la metodología.

Referencias

- [1] Knight, P., Jenkins, J. O. Adopting and applying eco-design techniques: a practitioners perspective. *Journal of Cleaner Production*, 17, 5, (2009), 549-558.
- [2] Ilgin, M. A., Gupta, S. M. Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art. *Journal of Environmental Management*, 91, 3, (2010) 563-591.
- [3] Bovea, M. D., Pérez-Belis, V. A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process. *Journal of Cleaner Production*, 20, 1, (2012) 61-71.
- [4] <http://www.ihobe.net/Publicaciones/Ficha.aspx?IdMenu=750e07f4-11a4-40da-840c-0590b91bc032&Cod=414a18ef-dd57-4b40-8746-407d517f7bda&Tipo=acceso> 11.01.2012].



Tribología

Influencia de los elementos reactivos en el deterioro mecánico por desgaste y a alta temperatura de recubrimientos $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{NiCrAlY}$ obtenidos por proyección térmica

K. A. Habib, I. Cervera González, M. S. Damra

Dpto. de Ingeniería de Sistemas Industriales y Diseño. Universidad Jaume I
razzaq@uji.es

Palabras clave: AISI 304; capa de anclaje Ni-Al; recubrimiento alúmina-superaleación; cermet; proyección llama; oxidación alta temperatura; desgaste.

En el presente artículo se ha estudiado el comportamiento frente a oxidación a alta temperatura y a desgaste de recubrimientos cerámicos alúmina/superaleación usando una capa de anclaje Ni-Al.

La resistencia a oxidación de los mismos se ha analizado mediante una termobalanza TGA, mientras que se ha utilizado un tribómetro *pin-on-disk* para evaluar la resistencia a desgaste. Los recubrimientos se han depositado sobre un acero inoxidable AISI 304 utilizando la técnica de proyección llama (FS). El acero recubierto se ha calentado desde la temperatura ambiente hasta 1123 K a 40 K min^{-1} , se ha oxidado al aire durante 50 horas, y luego se ha enfriado hasta la temperatura ambiente a 40 K min^{-1} . La ganancia en masa se atribuye a la oxidación de la capa de enganche Ni-Al, así como de la capa tipo cermet de acabado, no existiendo oxidación del material base. La cinética $\Delta W \cdot S^{-1}$ ($\text{mg} \cdot \text{mm}^{-2}$) vs. tiempo (horas) se ha ajustado a una ley logarítmica para todas las muestras.

La composición superficial de la capa cerámica y la sección transversal del sistema multicapa se han analizado mediante las técnicas SEM, EDX, XRD antes y después del proceso de oxidación.

Los *pins* de acero inoxidable recubiertos se ensayaron bajo una carga de 1N contra discos de abrasivos metalográficos de SiC P 1200 a una velocidad de 30 rpm.

La adición de elementos reactivos en recubrimientos obtenidos por proyección térmica modifica su comportamiento a oxidación a alta temperatura, particularmente en cuanto a la distribución de las fases formadas, con incidencia también en la resistencia al desgaste abrasivo.

Se ha comprobado que la adición de Ce y especialmente Hf en cantidades adecuadas favorece la formación de fases protectoras, mientras que otros elementos reactivos tienen una incidencia muy baja o incluso negativa. La necesidad de utilizar una capa de enganche para facilitar el anclaje entre el sustrato metálico y el recubrimiento de matriz cerámica provoca la difusión de sus elementos constitutivos y su posterior oxidación durante los procesos a alta temperatura, lo que modifica su comportamiento termogravimétrico y frente al desgaste abrasivo.

Referencias

- [1] Kudama A. Habib, Surface and Coatings Technology, 201 (2006), 1436-1443.
- [2] Józef Iwaszko, Surface and Coatings Technology, 201 (2006), 3443-3451.
- [3] W.A. Nelson, Journal of Thermal Spray Technology, 6 (1997), 176-180.

Líquidos iónicos como lubricantes de recubrimientos de PVD

J.L. Viesca Rodríguez, A. Hernández Battez, A. Higuera Garrido

Dpto. de Construcción e Ingeniería de Fabricación. Universidad de Oviedo
viescajose@uniovi.es

R. González Rodríguez

Dpto. de Ciencia y Tecnología Náutica. Universidad de Oviedo

A. Fernández González

Dpto. de Química Física y Analítica. Universidad de Oviedo

Palabras clave: líquidos iónicos, PVD, lubricación, recubrimientos

El conocimiento científico del comportamiento tribológico de los recubrimientos depositados en fase vapor PVD tiene un elevado interés industrial debido a su uso cotidiano en componentes mecánicos, máquinas herramientas, trenes de laminación, moldes, rodillos guía, bombas, válvulas, pistones, camisas, cigüeñales, levas y ejes [1]. La posibilidad de disminuir la fricción y el desgaste en todas estas aplicaciones mediante la mejora en las condiciones de lubricación, desembocaría en una importante reducción de las pérdidas energéticas, con el consiguiente ahorro en el consumo de combustibles, materias primas y materiales estratégicos en todos los sectores industriales en los que estas están presentes.

Recientemente, los líquidos iónicos se han establecido como prometedores lubricantes debido a su alta estabilidad térmica, no inflamabilidad, baja volatilidad, estabilidad química y una solubilidad excelente en un gran número de solventes orgánicos [2]. Si bien las propiedades tribológicas de los líquidos iónicos han sido evaluadas para diferentes tipos de contactos, existen pocos estudios sobre su uso en contactos con presencia de recubrimientos de PVD [3].

En este trabajo se analiza el uso de un líquido iónico novedoso: el Etil-dimetil-2-metoxietilamonio tris(pentafluoroetil) trifluorofosfato $-\text{[(NEMM)MOE][FAP]}-$ en la lubricación de pares tribológicos con recubrimientos de TiN, CrN y DLC-Cr obtenidos por PVD. Para la realización de los ensayos tribológicos se utilizó un micro-tribómetro con una configuración tipo "ball-on-flat" alternativo, en test de 60 minutos de duración bajo las siguientes condiciones: de 100 N de carga (1.54 GPa de presión media), 25 Hz de frecuencia y una carrera de 4 mm. El líquido iónico se empleó como lubricante puro y como aditivo al 1% en peso en una polialfaolefina (PAO 6).

Los resultados mostraron una reducción de la fricción con el empleo del líquido iónico como aditivo del PAO 6. Sin embargo, los ensayos realizados con $[\text{(NEMM)MOE}][\text{FAP}]$ como lubricante puro arrojaron, para los tres tipos de recubrimientos, el coeficiente más bajo de fricción y una importante reducción del desgaste sufrido. Así mismo la interacción del líquido iónico con las superficies y la formación de "tribofilms" contribuyeron al incremento de la capacidad de carga en el contacto.

Referencias

- [1] P. Harlin, P. Carlsson, U. Bexell, M. Olsson. Influence of surface roughness of PVD coatings on tribological performance in sliding contacts, *Surface & Coatings Technology* 201 (2006), 4253–4259.
- [2] J.V. Rensselaar. Unleashing the potential of ionic liquids, *Tribology and Lubrication Technology* April (2010), 24-31.
- [3] R. González, A.H. Battez, D. Blanco, J.L. Viesca, A. Fernández-González. Lubrication of TiN, CrN and DLC PVD coatings with 1-Butyl-1-methylpyrrolidinium tris(pentafluoroethyl)trifluorophosphate, *Tribology Letters* 40 (2010), 269-277.

Estudio del texturizado de superficies lubricadas para la mejora del coeficiente de fricción

E. de la Guerra Ochoa, E. Chacón Tanarro, J. Echávarri Otero, P. Lafont Morgado

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación. División de Ingeniería de Máquinas. GI-IM.

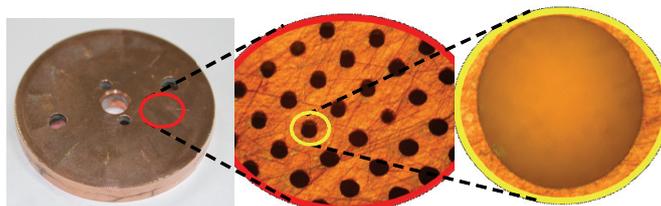
Universidad Politécnica de Madrid

e.delaguerra@upm.es

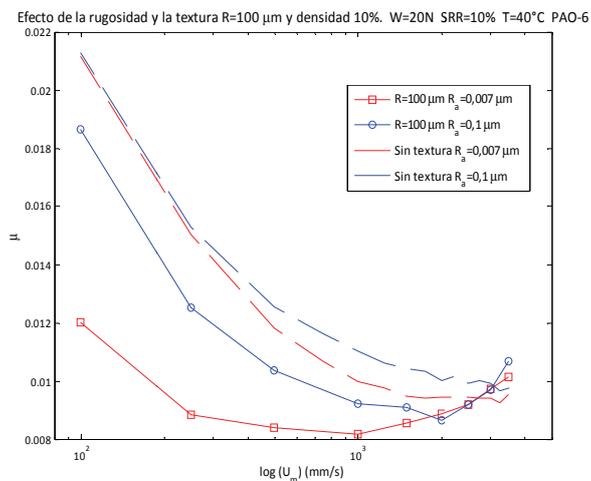
Palabras clave: texturizado, fotolitografía, lubricación, redes neuronales artificiales

El texturizado de superficies se ha mostrado como una herramienta muy útil para la ampliación de los regímenes hidrodinámicos y elastohidrodinámicos [1] y por lo tanto para la reducción del coeficiente de fricción en condiciones de alta carga y baja velocidad [2].

Por esta razón, se ha realizado el texturizado de diferentes testigos de cobre mediante fotolitografía y ataque químico [3] para la medida del coeficiente de fricción en una máquina de contacto puntual en diferentes regímenes de lubricación.



Los resultados demuestran la mejora del coeficiente de fricción y una ampliación del régimen EHL. Se han realizado simulaciones del coeficiente de fricción mediante redes neuronales artificiales (RNA).



Referencias

- [1] A. Higuera, et al. Tribological behaviour of laser-textured NiCrBSi coatings. *Wear*, 271, (2011), 925-933.
- [2] M. Wakuda et al. Effect of surface texturing on friction reduction between ceramic and steel materials under lubricated sliding contact. *Wear* 254, (2003), 356-363.
- [3] S.N Kortikar, et al. Manufacturing of microasperities on thrust surfaces using ultraviolet photolithography. American Society for Precision Engineering Winter Topical Meeting 28, (2003), 148-153.

Modelado numérico y analítico de contactos lineales termoelastohidrodinámicos con lubricantes no-Newtonianos

E. Chacón Tanarro, E. de la Guerra Ochoa, P. Lafont Morgado, J. Echávarri Otero
División de Ingeniería de Máquinas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
Universidad Politécnica de Madrid
e.chacon@upm.es

Palabras clave: lubricación termoelastohidrodinámica (TEHD), contacto lineal, coeficiente de fricción, espesor de película, lubricante

Los contactos tribológicos en régimen de lubricación termoelastohidrodinámica (TEHD) están gobernados por fenómenos complejos. Su modelado requiere de la resolución numérica de un sistema de ecuaciones no lineal o de la realización de simplificaciones que conduzcan a resultados analíticos aproximados [1,2].

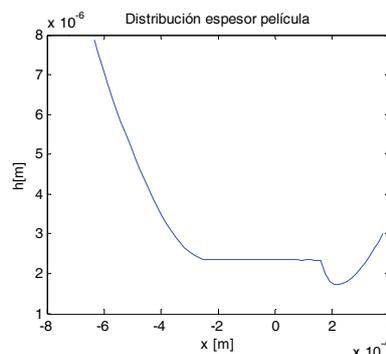
La consideración térmica tiene en cuenta los posibles incrementos significativos de temperatura en el contacto respecto de la temperatura del baño de aceite. Este fenómeno tiene lugar cuando los gradientes de cizalla en el seno del lubricante son elevados, generándose calor como consecuencia de la fricción viscosa entre las capas del fluido.

Además, la existencia de estos altos gradientes de cizalla pueden conducir a que el lubricante se encuentre trabajando en su zona de comportamiento no-newtoniano [3], y que el valor de su viscosidad efectiva sea mucho menor que el supuesto bajo condiciones newtonianas.

El espesor de película de lubricante y el coeficiente de fricción son dos resultados que definen el comportamiento del contacto bajo unas determinadas condiciones de funcionamiento. Ambos se ven afectados por el incremento de la temperatura y el comportamiento no-Newtoniano del lubricante.

En este trabajo se presenta uno modelo numérico y otro analítico capaces de predecir las distribuciones de espesor de película y coeficiente de fricción de un contacto TEHD lineal, tanto para el caso de comportamientos newtonianos como no-newtonianos del lubricante.

La validación de ambos modelos se realiza comprobando los resultados obtenidos de espesor de película, coeficiente de fricción y temperatura, frente a los resultados alcanzados por otros autores.



Referencias

- [1] Bair, S., High Pressure Rheology for Quantitative Elastohydrodynamics. *Tribology and Interface Engineering*. Series, 54. Elsevier, 2007.
- [2] Jang, J. Y. et al, On the elastohydrodynamic analysis of shear-thinning fluids, *Proc. R. Soc. A* (2007) 463, 3271–3290.
- [3] Bair, S., The Generalized Newtonian Fluid Model and Elastohydrodynamic Film Thickness. *Journal of Tribology*, 125 (2003) 70-75.

Comportamiento al desgaste abrasivo de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ nanoestructurada depositado mediante proyección térmica por llama (Oxyfuel)

K. A. Habib, M. Hayani A., J. J. Carpio, M. S. Damra

Departamento de Ingeniería de Sistemas Industriales y Diseño
razzaq@esid.uji.es

Palabras Claves: alúmina, titania, nanoestructurales, desgaste, proyección térmica

Los recubrimientos alúmina/titania son materiales extensamente utilizados en aplicaciones contra el desgaste abrasivo, cavitación, etc. Debido a sus excelentes propiedades, los recubrimientos de alúmina/titania han sido depositados por diferentes técnicas de proyección tales como plasma (PS), de llama a alta velocidad (HVOF). Así mismo, se han realizado un gran número de estudios del comportamiento a desgaste de estos recubrimientos a base de óxidos con tamaño de partícula micrométrica y nanométrica (1-2).

Por otro lado, hemos realizado en el pasado estudios (3-4) del comportamiento mecánico y tribológico de recubrimientos alúmina/titania micrométricos proyectados por la técnica de proyección térmica por llama (oxyfuel). En este trabajo se estudia el comportamiento a desgaste abrasivo de recubrimientos alúmina/titania en diferentes proporciones con tamaño de partícula nanométrica depositados por la técnica de proyección térmica por llama (oxyfuel). Los recubrimientos alúmina/titania estudiados tienen las proporciones 97/3, 87/13 y 60/40. El sistema consiste de muestras de acero al carbono F-1110 sobre las que se deposita una capa de enganche de Ni-Al y las distintas capas de mezcla de alúmina/titania.

Los estudios realizados consisten en la medida de la microdureza Vickers y de desgaste abrasivo de los recubrimientos mediante un tribómetro multiaxial modelo pin-on-disc. Por otro lado se caracterizó la microestructura y las fases formadas e los recubrimientos depositados mediante microscopía electrónica de barrido y análisis de energía dispersiva de rayos K (MEB y EDAX) y difracción de rayos X (DRX).

Los resultados de la caracterización microestructural indican que la fase principal formada en los recubrimientos 97/3 son el corindón (α -alúmina), γ -alúmina y δ -alúmina, en el recubrimiento 87/13 las fases principales formadas son α -alúmina y titania, mientras que en el recubrimiento 60/40 las fases formadas son la α -alúmina en menor cantidad, la titania y la fase Al_2TiO_5 .

Los estudios de microdureza HV 200/20 dan como resultados valores de 1650, 1367 y 654 para los recubrimientos 97/3, 87/13 y 60/40, respectivamente. De los ensayos tribológicos se obtienen mediante pesado de las muestras, la pérdida de material sufrida por cada muestra después de 45m de recorrido. Las muestras mostraron los siguientes valores de pérdida de material 0.0039, 0.0044 y 0.0502 g y unos valores de los coeficientes de fricción de 0.2234, 0.2429 y 0.4959, para los recubrimientos 97/3, 87/13 y 60/40, respectivamente. El estudio tribológico y de durezas se completó mediante el cálculo del volumen de material eliminado durante el desgaste abrasivo en cada recubrimiento.

Referencias

- [1] You Wang, Stephen Jiang, Meidong Wang, Shihe Wang, T. Danny Xiao, Peter R. Strutt. *Wear* 237_2000.176-185
- [2] Meidong Wang, Leon L. Shaw. *Surface & Coatings Technology* 202 (2007) 34-44
- [3] K.A. Habib, J.J. Saura, C. Ferrer, M.S. Damra. *Surface & Coatings Technology* 201 (2006) 1436-1443.
- [4] K.A. Habib, J.J.Saura, C.Ferrer, M.S. Damra, I. Cervera. *Rev. Metalurgia*, 47(2011) 126-137.



Vehículos y Transporte

Modelo de elementos finitos para la simulación del sistema pantógrafo-catenaria

M. Tur Valiente, L. Baeza González, F.J. Fuenmayor Fernández

*Dpto. de Ingeniería Mecánica y Materiales. Universidad Politécnica de Valencia
matuva@mcm.upv.es*

E. García García,
Patentes Talgo S.L.

Palabras clave: catenaria, pantógrafo, integración temporal

La catenaria ferroviaria es el sistema que se encarga de la transmisión de energía eléctrica al vehículo a través pantógrafo. Está formada por un conjunto de cables, usualmente cable sustentador, cable de contacto, péndolas y falso sustentador, soportados por elementos estructurales como son los postes, las ménsulas y los brazos de atrantado.

En este trabajo se presenta un modelo 3D de elementos finitos que se utiliza para resolver el problema de interacción entre el pantógrafo y la catenaria en el movimiento del vehículo. El desarrollo de modelos de elementos finitos de sistemas formados por cables que sufren grandes desplazamientos durante el montaje presenta el problema del cálculo de la configuración de equilibrio. En este trabajo se proponen dos métodos para calcular esta configuración, que se basan en definir la longitud de cada elemento finito cable sin deformar (longitud de referencia) de forma que se cumplan las restricciones que se imponen durante el montaje de la catenaria. El primer método trata de conseguir una determinada altura del cable de contacto en los puntos de unión con las péndolas y en el segundo se resuelve un problema de optimización para conseguir ajustar la altura del cable de contacto en toda su longitud.

Para los cables sustentador y de contacto se utiliza el elemento ANCF (Absolute Nodal Coordinate Formulation) [1], que permite incorporar comportamiento a tracción y a flexión y tiene matrices de masa constantes. El resto de elementos son barras, que en el caso de las péndolas, sólo pueden transmitir carga de tracción.

Una vez definida la configuración de equilibrio se utiliza el modelo para simular la interacción pantógrafo-catenaria mediante integración temporal de las ecuaciones. El pantógrafo se define mediante un modelo equivalente formado por masas, resortes y amortiguadores. El contacto se resuelve mediante el método de penalización.

Se han utilizado esquemas de integración explícitos e implícitos y se ha analizado la influencia en la solución de diferentes factores como el incremento de tiempo de integración, el tamaño de los elementos o la utilización de un modelo no lineal o linealizado en la posición de equilibrio inicial. Para validar los modelos se ha resuelto el problema de interacción pantógrafo-catenaria propuesto en la norma EN 50318 [2], y se presentan resultados obtenidos para catenarias reales.

Referencias

- [1] A.A. Shabana. Computer implementation of the absolute nodal coordinate formulation for flexible multibody dynamics. *Nonlinear Dynamics*, 16:293–306, 1998.
- [2] European Committee for Electrotechnical Standardization EN 50318:2002: Aplicaciones ferroviarias – Sistemas de captación de corriente – Validación de la simulación de la interacción dinámica entre el pantógrafo y las líneas aéreas de contacto, 2002.

Influencia de la cadena de tracción y las fuerzas tractoras en los modelos dinámicos ferroviarios

M. Aizpun, J. Vinolas

Dpto. de Mecánica Aplicada. CEIT y Tecnun (Universidad de Navarra)
maizpun@ceit.es

I. Eziolaza

CAF I+D S.L.

Palabras clave: ferrocarril, tracción, homologación

Las simulaciones multicuerpo y dinámicas comienzan a cobrar un cierto papel en la homologación de los vehículos ferroviarios, y son esenciales de cara a alcanzar en un futuro el objetivo de la homologación virtual.

Por ello, es crítico utilizar modelos matemáticos lo suficientemente precisos para modelar los vehículos reales. En el caso de los modelos multicuerpo es crucial tener en cuenta todos los cuerpos, componentes de suspensión, modos de vibración estructurales, fuerzas externas (e.g. viento lateral), irregularidades de vía, etc. que puedan influir significativamente en la dinámica del vehículo ([1]).

Este artículo analiza el efecto de incluir la cadena de tracción y las fuerzas tractoras en simulaciones dinámicas multicuerpo; cuál debe ser el mínimo nivel de detalle en el modelo de la cadena de tracción y cuál es la influencia de las fuerzas de tracción en la dinámica de los vehículos ferroviarios. En concreto, se comparan dos modelos multicuerpo de una locomotora de mercancías diseñada por CAF. El primer modelo de la locomotora es un modelo típico utilizado en la industria del ferrocarril (donde las masas e inercias de los cuerpos de la cadena de tracción están distribuidas entre los bogies y los ejes del vehículo), mientras que el segundo modelo incluye los cuerpos de la cadena de tracción y los pares y fuerzas correspondientes a la tracción del vehículo.

Para comprobar la importancia de las fuerzas tractoras y del modelo de la cadena de tracción, se comparan los resultados obtenidos con los dos modelos en tres tipos de simulaciones: análisis de fuerzas en el contacto rueda-carril circulando en curvas de radio reducido, cálculo de modos de vibración y análisis de estabilidad del vehículo.

Los resultados obtenidos en este artículo confirman que valores altos del par de tracción pueden tener una influencia moderada en el comportamiento dinámico de locomotoras de gran potencia y tonelaje. Además, se comprueba que la suspensión lateral de la cadena de tracción es un parámetro importante en la estabilidad del vehículo, lo cual corrobora y amplía trabajos anteriores sobre estabilidad para el caso de vehículos de alta velocidad ([2]).

Referencias

- [1] J. Evans y M. Berg. Challenges in simulations of rail vehicle dynamics, *Vehicle System Dynamics*, 47 (2009), 1023-1048.
- [2] S. Alfi, L. Mazzola y S. Bruni. Effect of motor connection on the critical speed of high-speed railway vehicles, *Vehicle System Dynamics*, 46 (2008), 201-214.

Influencia de los parámetros de conducción en el ruido emitido por un automóvil en el tráfico urbano

J.A. Calvo Ramos, C. Álvarez Caldas, A. Quesada, J.L. San Román García

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid

jacalvo@ing.uc3m.es

Palabras clave: Vehículo Automóvil, Ruido de Tráfico, Tráfico Urbano,

El ruido es uno de los agentes contaminantes que afecta a un mayor porcentaje de población. Se estima que el 20 % de la población europea sufre niveles de ruido considerados inaceptables, y que otro 45 % vive en áreas donde el ruido causa una molestia severa. Estos porcentajes son similares, o incluso superiores, en otros países densamente poblados. En un trabajo reciente, Perera [1] estimaba que un 54 % de la población dentro de la almendra central de Madrid soporta niveles de ruido ($L_{Aeq,24h}$) superiores a los 65 dBA. Casi la mitad del ruido en zonas urbanas (un 47 %) proviene del tráfico rodado [2].

Uno de los retos tecnológicos actuales es lograr un ambiente acústico sostenible en las grandes ciudades que están en constante crecimiento. La legislación actual limita el nivel sonoro que puede emitir un determinado vehículo a un valor máximo, de acuerdo con un protocolo de ensayo establecido en la Directiva 70/157/EEC.

Los niveles máximos admisibles por la Directiva en sus sucesivas modificaciones se han ido reduciendo de forma gradual, sin embargo, esta reducción no ha afectado al nivel de contaminación sonora global medido en las grandes ciudades. Una de las razones por las que se ha producido este fenómeno es que, el ensayo establecido por la Directiva no es muy representativo del ruido emitido por un vehículo en condiciones reales de tráfico urbano.

En este trabajo se ha instrumentado una muestra representativa de vehículos de las categorías más populares que circulan por una gran ciudad, con objeto de medir las variables relacionadas con la conducción que pueden influir con el nivel de emisión sonora. Mediante un sensor GPS, se ha registrado la posición global (longitud y latitud), velocidad de circulación, aceleración longitudinal y el tiempo de circulación. A través del CAN BUS del vehículo se ha registrado el régimen de giro del motor, la carga, la posición del acelerador y la marcha engranada. Por último, mediante una serie de micrófonos se ha medido el ruido generado por el motor y el ruido debido a la rodadura.

Se ha diseñado un circuito que representa un tipo de circulación muy usual en una gran ciudad como Madrid. Se ha seleccionado también una muestra de conductores con diferentes niveles de experiencia y de diferentes sexos para que circulasen por el circuito diseñado con los diferentes vehículos utilizados el estudio. Se han medido los parámetros indicados anteriormente durante la circulación por el circuito a diferentes horas y días de la semana con objeto de obtener una muestra de datos estadísticamente representativa.

Con todos los datos registrados, se han establecido diferentes correlaciones entre el nivel de ruido equivalente medido por los micrófonos con los parámetros de conducción, tipo de vehículo y tipo de conductor. Todo ello nos ha permitido establecer el nivel de ruido promedio producido por un vehículo en condiciones reales de circulación y la posibilidad de identificar formas de conducir que generan mayores niveles de emisiones sonoras y su relación con parámetros relativos al vehículo.

Referencias

[1] Perera P. Falsa leyenda: Madrid es la ciudad más ruidosa después ... Revista de Acústica 2011, 42: 68-70.

[2] Affenzeller J, Rust Al. Road traffic noise- a topic for today and the future. VDA Technical Congress 2005; Ingolstadt (Germany).

Metodología experimental para determinar el coeficiente de amortiguamiento del sistema de suspensión de un vehículo

A. Navarro Arcas, E. Velasco Sánchez, S. Sánchez Mateo, M. M. Paricio Caño, M. Sánchez Lozano

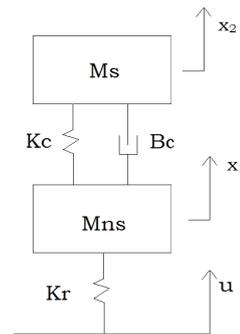
*Dpto de Ingeniería Mecánica y Energía. Universidad Miguel Hernández
abel.navarro@umh.es*

Palabras clave: suspensión, amortiguador, ITV

La inspección en la Inspección Técnica de Vehículos (ITV) del sistema de suspensión resulta compleja ante la imposibilidad de desmontar partes como el amortiguador.

Está demostrado que el deterioro de la suspensión es importante controlarlo bien pues es crítico para la dinámica y comportamiento del vehículo. Autores como Velasco y Calvo, en sus tesis doctorales han abundado en el problema de determinar un criterio de rechazo en ITV y evaluar el estado de la suspensión.

En esa línea el presente trabajo propone una metodología, aplicable en ITV, que permita identificar y modelar la suspensión de un vehículo. Se propone un método de ensayo que proporciona los parámetros característicos de la suspensión, masas, rigideces y amortiguamiento, considerando el modelo de $\frac{1}{4}$ de vehículo. El ensayo es factible en el proceso de inspección de ITV y con un banco similar a los actualmente utilizados.



Referencias

- [1] Velasco Sánchez, E. "Criterio de inspección en bancos de ensayo del sistema de suspensión de un vehículo automóvil". Tesis doctoral. Universidad Carlos III (Madrid). 1997.
- [2] Calvo Ramos, J. A. "Determinación de un criterio de inspección para verificar el comportamiento dinámico del sistema de suspensión de un vehículo automóvil". Tesis doctoral. Universidad Carlos III (Madrid). 2003.
- [3] Calvo Ramos, J. A., López Boada, M. J., Olmeda Santamaría, E., San Román García, J. L. "Influencia del modelo de amortiguador en la simulación del sistema de suspensión de un vehículo. 8º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. 2007.
- [4] Velasco Sánchez, E., Díaz López, V. "Inspección de suspensiones de vehículos en ITV mediante la utilización combinada de bancos de suspensiones y frenómetro". XII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica.

Estudio de variables de influencia en el ensayo de Limitación de Velocidad para Ciclomotor de 2 ruedas (L1e) en condiciones estáticas de aplicación para Estaciones ITV

M.M. Paricio Caño, E. Velasco Sánchez, M. Sánchez Lozano, A. Navarro Arcas

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Energía. Universidad Miguel Hernández (Elche)

mparicio@umh.es

Palabras clave: Ensayo de Limitación de Velocidad, Ciclomotor, Estático, ITV

El ensayo de Limitación de Velocidad para el vehículo Ciclomotor de 2 ruedas (L1e: vehículo de 2 ruedas con velocidad máxima por construcción ≤ 45 km/h, de cilindrada $\leq 50\text{cm}^3$ (combustión interna) o potencia continua nominal máxima $\leq 4\text{kW}$ (motores eléctricos)), obligatorio para la obtención de la homologación de Tipo de vehículo L1e (Directiva 2005/30/CE), está procedimentado en el acto reglamentario 2006/27/CE. La metodología de ensayo descrita en el citado acto reglamentario está basada en un ensayo dinámico. Esta metodología incluye la preparación del vehículo, conductor, características del recorrido, condiciones atmosféricas del ensayo y procedimiento de ensayo.

Por primera vez en España se hace obligatoria la inspección de Limitación de Velocidad en Ciclomotores de 2 ruedas (L1e) con motor de combustión interna, tanto de transmisión por caja automática como manual, en el Manual de Procedimiento de Estaciones ITV rev.6^a (05/01/2009) [1] con una metodología basada en un ensayo estático.

El estudio de las variables de influencia se estructura en tres bloques, en función de su repercusión sobre; vehículo ciclomotor, maquinaria de ensayo y condiciones de ensayo estático:

- Vehículo Ciclomotor:
 - Presión inflado neumático de la rueda tractora.
 - Estado de carga del ciclomotor.
 - Tipo de neumático.
 - Coeficiente de adherencia neumático – rodillo de velocímetro.
- Maquinaria Ensayo:
 - Velocímetro de 2 rodillos libres (equipo más extendido en ITV's España):
 - Equipo sin control metrológico legal:
 - Distancia entre rodillos.
 - Resolución instrumentación de adquisición de datos.
- Condiciones de ensayo estático:
 - Plano de ruedas del ciclomotor (horizontal / inclinación positiva / negativa).
 - Condiciones ambientales de presión, temperatura y humedad relativa.

El objetivo del presente artículo es analizar la influencia de las citadas variables, sobre el resultado cuantitativo del ensayo estático de limitación de velocidad a ciclomotores de dos ruedas (L1e), sobre velocímetro de 2 rodillos libres.

Referencias

- [1] RD. 2042/1994. Manual Procedimiento de Estaciones ITV. Rev.7^a (02/01/2012).
- [2] JA Calvo, V Díaz, E Olmeda, JL San Román and A Gauchía. Procedure to verify the maximum speed of automatic transmission mopeds in periodic motor Vehicle inspections. Proc. IMechE vol.222 Part D: j. Automobile Engineering.

Síntesis cineto-estática de una suspensión delantera alternativa para una motocicleta

A. Noriega González, Yorel Moreda Vázquez, Jose Manuel Sierra Velasco

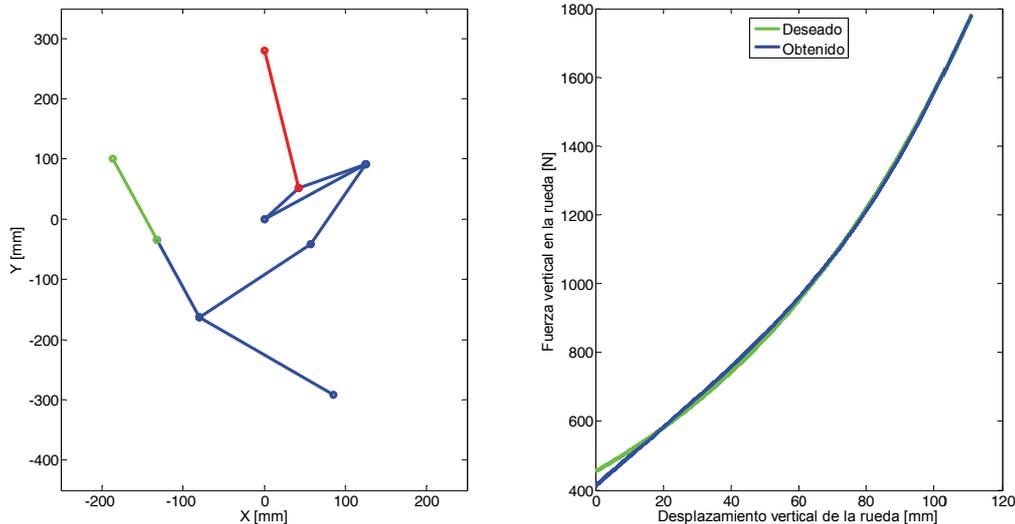
Dpto. de Construcción e Ingeniería de Fabricación. Universidad de Oviedo
noriegalvaro@uniovi.es

Palabras clave: síntesis, suspensión, moto, progresiva

En este artículo se presenta un nuevo tipo de suspensión delantera alternativa para una motocicleta que presenta ventajas constructivas de compacidad, menor sección frontal y mayor rigidez respecto a las horquillas tradicionales.

Para obtener las dimensiones óptimas de los distintos elementos móviles (coordenadas, longitudes y ángulos) y parámetros estáticos (precarga y rigidez del muelle), se realiza previamente una modelización cineto-estática de la suspensión basada en el uso de grupos de elementos [1]. Esta modelización permite la formulación sencilla y eficiente de la función objetivo para el problema de síntesis.

En el problema de síntesis se busca conseguir una progresividad en la suspensión definida previamente por el diseñador además de conseguir una carrera determinada de la rueda que aproveche todo el recorrido del amortiguador y asegure, además, que el mecanismo se puede montar en todo momento y no alcanza ningún punto muerto durante el movimiento.



El problema de síntesis se resuelve con una estrategia evolutiva muy eficiente que permite estudiar si existe uno o varios óptimos y las características de los mismos.

Referencias

[1] A. Noriega y otros. Modelización de mecanismos mediante bloques constructivos, Actas del XVII CNIM, (2008).

Análisis experimental del comportamiento dinámico de las furgonetas

F. Jiménez Alonso, O. Gómez Casado, F. Aparicio Izquierdo

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación. Universidad Politécnica de Madrid
felipe.jimenez@upm.es

Palabras clave: comportamiento dinámico, ensayo, furgoneta

Los accidentes de tráfico con implicación de furgonetas suponen una importante preocupación en la actualidad, ya que su evolución en los últimos años no ha sido acorde con la experimentada por otro tipo de vehículos. Existen numerosos factores que influyen en la accidentalidad de las furgonetas de índole muy diversa, asociados al vehículo, al conductor y al uso.

En concreto, en este artículo se analiza experimentalmente el comportamiento dinámico de estos vehículos, con el fin de determinar la coherencia de las siguientes hipótesis iniciales:

- H1: Las furgonetas pueden tener un comportamiento dinámico diferente a los turismos, por lo que los accidentes de furgonetas pueden incrementarse si se conducen como turismo. En este sentido, debe tenerse en cuenta que los conductores de furgonetas no reciben una formación específica con lo que pueden no ser conscientes del diferente comportamiento dinámico de los mismos y las medidas a adoptar en la conducción.
- H2: Las furgonetas pueden estar sometidas a estados de carga muy variables lo que puede redundar en variaciones significativas del comportamiento dinámico. Este hecho se ve agravado en el caso de sobrecargas por encima de los límites establecidos.

Para la realización del estudio, se han planificado y realizado ensayos de frenado y giro de volante definidos en la normativa para el estudio del comportamiento dinámico [1,2]. Por otra parte, las furgonetas se han clasificado en 4 grades grupos: vehículos pick-up, camión chasis-cabina o autobastidor entre 2000 y 3500 kg, furgón van y mixto/combi entre 2000 y 3500 kg, y derivados de turismo (van y furgoneta) generalmente inferiores a 2000 kg. De cada grupo, exceptuando el primero dada su baja representación en el parque español, se han ensayado dos modelos, con 3 estados de carga cada uno, cubriendo el rango, en general, desde el orden de marcha hasta cierto grado de sobrecarga.

Se ha analizado la deceleración alcanzable en cada situación por cada vehículo, contando con casos de vehículos dotados de ABS y otros que no disponen de tal sistema. Las diferencias son notables entre tener ABS o no (aspecto que puede resultar crítico desde un punto de vista accidentológico dado que las furgonetas disponen de menos sistemas de seguridad activa y pasiva que los turismos [3]), aunque no tan importantes entre los diferentes tipos de furgonetas. La carga se puede convertir en un factor relevante cuando se incurre en sobrecargas. De igual forma, se ha estudiado su comportamiento virador, caracterizado por el ajuste del coeficiente de viraje, donde también ha quedado patente la influencia de la carga.

Referencias

- [1] F. Aparicio, C. Vera, V. Diaz. Teoría de los vehículos automóviles. Ed: Sección de Publicaciones de la ETSI Industriales de la UPM (2001)
- [2] F. Jiménez. Analysis of the vehicle dynamics using advanced instrumentation. 7th FISITA Student Congress. Barcelona, 23 – 27 Mayo 2004
- [3] F. Jiménez, A. Furones, M. Aguilar, V. del Pozo, F. Aparicio. Estimate of the influence on safety of vans renewal in Spain. 13th EAEC European Automotive Congress. Valencia, 14-17 Junio 2011.

Sistema automático de evitación de colisiones basado en un cálculo preciso del tiempo restante para el impacto

F. Jiménez Alonso, O. Gómez Casado

*Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación. Universidad Politécnica de Madrid
felipe.jimenez@upm.es*

J. E. Naranjo Hernández

Dpto. de Sistemas Inteligentes Aplicados. Universidad Politécnica de Madrid

Palabras clave: detección, obstáculo, TTC, TTA, sistema automático

Se estima que más del 90% de los accidentes de tráfico tiene como uno de sus factores el error humano, inducido por distracciones, malas evaluaciones de las situaciones o actuaciones equivocadas [1]. Por ello, se están introduciendo sistemas que mejoren la percepción de los conductores del entorno, y que le alerten de posibles situaciones peligrosas. Así se pueden destacar los sistemas que actúan sobre los sistemas del vehículo para evitar el accidente (seguridad activa) o reducir sus consecuencias (seguridad pasiva). En los modelos de seguridad integrada, se han definido aquellos sistemas que, empleando información propia de sistemas de seguridad activa, actúan sobre los de seguridad pasiva [2]. De esta forma, es posible tomar medidas con antelación, permitiendo acciones que no se podrían contemplar de otra manera (frenada automática o maniobras de esquivar, mejorar la compatibilidad entre vehículos, o medidas para reducir las lesiones en peatones como airbags exteriores o capot elevable) o mejorando la efectividad de medidas más convencionales (pretensores, airbags).

En estos sistemas resulta crucial discriminar las características de los obstáculos detectados, su cinemática y las características de un posible impacto (como punto y ángulo de colisión). Asimismo, debe conocerse si una colisión es evitable o no (para adoptar medidas reversibles o irreversibles) y cuánto tiempo resta para el impacto una vez identificado un obstáculo y su cinemática. En este artículo, se presenta la implementación de un método preciso de cálculo del TTC (Time-to-collision) y TTA (Time-to-avoidance) en un sistema de evitación de colisiones embarcado, solventando las carencias de otros algoritmos más simplificados que pueden conducir a falsos positivos o falsos negativos que disminuirían la efectividad de estos sistemas. Considerando una geometría rectangular de los vehículos, se consideran dos situaciones de cálculo: 1) una esquina de uno de los vehículos golpea el lateral de otro vehículo; 2) una esquina de uno de los vehículos golpea el frontal o la parte trasera de otro vehículo.

Estas variables se calculan de forma continua en cuanto se detecta un obstáculo y se van evaluando las diferentes acciones que se pueden adoptar para evitar la colisión, así como si las acciones que toma el conductor son apropiadas para ello. En caso de no serlo, se emiten los avisos correspondientes, hasta alcanzar un umbral de tiempo para la colisión por debajo del cual debe actuar el vehículo de forma automática. Las actuaciones previstas son sobre los pedales y el volante. Para ello, se ha implementado un sistema de control automático de estos mandos en un turismo. Esta implementación ha implicado puentear el acelerador que es accionado electrónicamente, actuar de forma mecánica sobre el pedal de freno por medio de un servomotor de corriente continua y puentear la centralita de la dirección asistida eléctrica. Estas actuaciones son controladas por el sistema de control de más alto nivel que evalúa los obstáculos y el tiempo para la colisión.

Referencias

- [1] F. D. Hobbs. Traffic planning and engineering. Oxford: Pergamon Press (1989).
- [2] EEVC WG. Primary and secondary safety interaction. EEVC. (2004).

Control de tracción y frenado para motocicleta basado en lógica difusa

Cabrera, J.A., Castillo, J.J., Urbán, C.H., Simón, A.

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Mecánica de Fluidos. Universidad de Málaga
jcabrera@uma.es

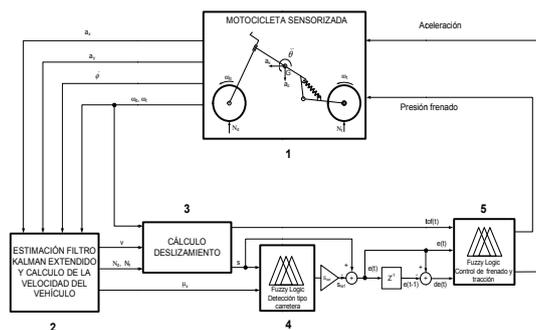
Palabras clave: Control de tracción, lógica difusa

La aparición de los sistemas antibloqueos de frenos (ABS.- Anti-lock Brake System) y de control de tracción (TCS - Traction Control System) ha sido una evolución fundamental dentro de la seguridad vial. Estos sistemas en primer lugar evitan el bloqueo de las ruedas en frenadas de emergencia, manteniendo el control direccional del vehículo y en la mayoría de las ocasiones disminuyendo la distancia de frenado y en segundo lugar el bloqueo y deslizamiento de las ruedas cuando se ejerce un par excesivo en las ruedas motrices. Estos sistemas han ido evolucionando desde su aparición, siempre manteniendo el mismo objetivo, pero utilizando para ello algoritmos y arquitecturas de sistemas de frenado y de control del par, cada vez más avanzados y complejos. Igualmente, es cada vez más común encontrar sistemas que combinan o que trabajan conjuntamente con otros elementos de seguridad.

Todos estos sistemas empezaron su implantación en vehículos de cuatro ruedas, siendo mucho más complejo de desarrollar su implantación en vehículos de dos ruedas. Existe sin embargo un elevado interés en el desarrollo y aplicación de estos sistemas en motocicletas, sobre todo para mejorar la seguridad activa en este tipo de vehículos.

En este trabajo se presenta un nuevo modelo de control del sistema de frenos y del sistema de tracción en una motocicleta, con el objetivo de mejorar la eficacia de la frenada, así como controlar el deslizamiento en tracción, para conseguir así una mejora en el comportamiento dinámico y de seguridad en vehículos de dos ruedas.

La característica fundamental del nuevo modelo de frenado y tracción es la utilización de la técnica de lógica borrosa y otros algoritmos optimizados para la determinación mediante técnicas de predicción de los parámetros en base a los cuales funciona el sistema antibloqueo de frenos y de antipatinaje (ej. deslizamiento, velocidad, carga vertical o tipo de carretera). Igualmente se propone una nueva arquitectura de sistema de frenos basada en el empleo de servoválvulas, que permiten realizar un control continuo de la presión de frenado mejorando así el control, y evitando las fluctuaciones típicas de las válvulas todo-nada tradicionalmente usadas en los sistemas ABS comerciales.



Referencias

- [1] J.A. Cabrera, A. Ortiz, J.J. Castillo, A. Simón. A Fuzzy logic control for antilock braking system integrated in IMMA tyre test bench. IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol. 54, No 6 (2005).

Metodología de predicción de la vida a fatiga de uniones soldadas en estructuras de vehículos de transporte colectivo

J.A. Pérez Fernández, F. Badea Romero, A. Martín López, D. Arribas Mantelli

Instituto Universitario de Investigación del Automóvil

Universidad Politécnica de Madrid

jesus.perez.fernandez@upm.es

Palabras clave: fatiga, unión soldada, V.G.D.T.P.

Las roturas por fatiga en las uniones soldadas de estructuras de vehículos de grandes dimensiones y de transporte de pasajeros (V.G.D.T.P) son un modo muy común de fallo en las mismas [1,2]. El presente trabajo está desarrollado en el marco del proyecto "Optimización del diseño de autobuses y semirremolques integrando técnicas de ensayo virtual" (OPTIVIRTEST), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y aborda el desarrollo de una metodología innovadora en la predicción de vida a fatiga de uniones soldadas en V.G.D.T.P.

Para obtener unos resultados fiables del comportamiento de la estructura, es necesario conocer las solicitaciones sufridas por estos vehículos durante su funcionamiento [3] así como la frecuencia de las mismas [2]. Para ello se han realizado medidas en 10 modelos diferentes de autobuses de la Empresa Municipal de Transportes (EMT) de Madrid, circulando en 17 líneas urbanas y sumando un total de 280 horas de funcionamiento y registro de datos.

Al mismo tiempo se ha llevado a cabo un análisis sobre modelos MEF de V.G.D.T.P. urbanos, de la magnitud de cada componente de esfuerzo sobre sus elementos. De dicho análisis se obtiene una configuración de ensayo a fatiga de subcomponentes estructurales con uniones soldadas comunes en V.G.D.T.P. Se ha utilizado en estos ensayos un equipo de video-correlación que permite elaborar un mapa de la distribución de tensiones en la zona de concentración de las mismas, sirviendo como soporte para la elaboración de la curva S-N y la validación del modelo detallado MEF del subcomponente.

Finalmente mediante los modelos MEF del subcomponente y la función de probabilidad de cada nivel de sollicitación se puede determinar la fiabilidad y grado de sobredimensionamiento de la subestructura.

Este método aporta por tanto un nuevo enfoque del análisis de las estructuras de los V.G.D.T.P. que posibilita futuros trabajos de optimización estructural.

Referencias

- [1] E. Alcalá, A. Martín, R. Grimaldi. Nonlinear simulation of flexural bending for bus and coach structural joints. FISITA 2010. World Automotive Congress. F2010D023.
- [2] F. Badea, E. Alcalá, R. Grimaldi, A. Ogando, F. Aparicio. Optimización de uniones y estructuras de autobuses. XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, 2010.
- [3] E. Alcalá, A. Martín, F. Badea, J.A. Pérez, D. Arribas, R. Lagunilla. Tendencias en cálculo estructural y optimización de Autobuses y Autocares. Revista COIIM n° 54, 2011.

Estimación de parámetros en sistema de frenado

J.J. Castillo Aguilar, J.A. Cabrera Carrillo, E. Carabias Acosta, A. Simón Mata.

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Mecánica de Fluidos. Universidad de Málaga
juancas@uma.es

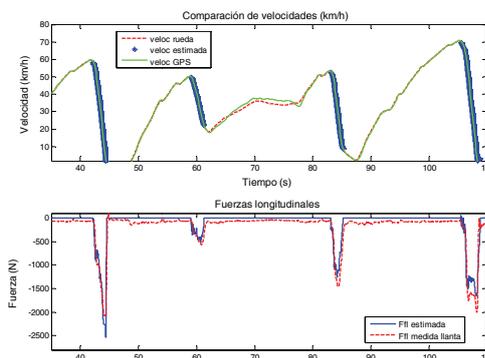
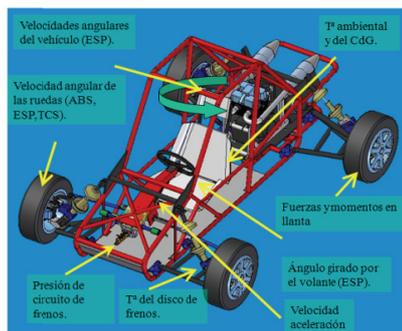
Palabras clave: sistema de frenos, instrumentalización, Redes neuronales, Filtro de Kalman

El departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Málaga dispone de un vehículo instrumentalizado que sirve de plataforma para la realización de ensayos con un novedoso sistema de frenos [1]. La nueva arquitectura de frenado se basa en el control continuo de la presión de frenado. Una parte fundamental para el desarrollo y puesta a punto de este sistema de frenos ha sido la medida de variables de interés en los procesos de frenado y la estimación de parámetros necesarios para el óptimo funcionamiento del algoritmo de control.

Un algoritmo basado en Filtro de Kalman permite la obtención de parámetros de interés como son los coeficientes de adherencia, los esfuerzos en el neumático y la velocidad. Mediante ensayos en pista se ha comprobado que dichas estimaciones son adecuadas.

Otras técnicas de estimación y control empleadas son redes neuronales, para la estimación del deslizamiento óptimo, y lógica borrosa, necesaria para el establecimiento de la presión adecuada en el sistema de frenado [2]. El bloque de lógica borrosa se ha optimizado mediante algoritmos genéticos.

En este trabajo se presenta, en primer lugar, una descripción de los componentes instalados en el vehículo (figura 1(a)). A continuación se describirá el método de estimación desarrollado basado en Filtro de Kalman así como los resultados obtenidos en simulaciones (figura 1(b)). Por último se incluirán resultados obtenidos en ensayos de frenada realizadas con el vehículo instrumentalizado.



Referencias

- [1] J.A. Cabrera, A. Ortiz, A. Simón, Otros. Sistema de frenado para automóvil con predicción de adherencia y control continuo de presión de frenada. *Solicitud de patente N° P200900049*. PCT/ES 2009/000601
- [2] J.A. Cabrera, A. Ortiz, J.J. Castillo, A. Simón, A Fuzzy logic control for antilock braking system integrated in IMMa tyre test bench. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. Vol. 54, No 6. (2005).

Un método eficaz para la modelización dinámica vertical de la interacción rueda-carril

N. Correa García, O. Oyarzabal De Celis, E. García Vadillo, J. Santamaría Manrique, J. Gómez López

*Departamento de Ingeniería Mecánica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Alda Urquijo s/n, 48013 Bilbao. Universidad del País Vasco UPV/EHU
nekane.correa@ehu.es*

Palabras clave: rueda, carril, vía, defectos de soldadura, Método de las fracciones racionales polinómicas

La interacción rueda-carril es uno de los principales problemas del ámbito ferroviario, con importantes consecuencias para el diseño del vehículo y para el mantenimiento de la vía.

En este artículo se presenta un modelo específicamente concebido para el estudio de la interacción entre rueda y carril. El modelo trabaja en el dominio del espacio y se construye de forma sencilla a partir de las receptancias de la vía. En el artículo esas receptancias se obtienen a partir de un modelo completo de vía en el dominio de la frecuencia desarrollado previamente por los autores, que incluye la deformación de la sección del carril y la propagación de ondas de flexión, elongación y de alabeo [1,2].

La transformación entre dominios se ha logrado mediante la aplicación de un método modificado de las fracciones racionales polinómicas. El método de transformación utilizado permite obtener un modelo en el dominio del espacio muy sencillo, con muy pocos grados de libertad, proporcionando resultados de alta precisión en un rango suficientemente amplio de frecuencias, y con el que los cálculos conllevan un coste computacional muy bajo. Este método está basado en el ajuste de las receptancias de la vía mediante funciones de transferencia, y el posterior paso al dominio del espacio. Utilizando algoritmos genéticos se ha conseguido un más fácil y mejor ajuste de las receptancias de la vía. Se presentan también en este artículo distintos métodos de ajuste que han sido probados como alternativa para la obtención del sistema en el dominio del espacio.

La rueda se ha modelizado, por simplicidad, como una masa sobre la que está aplicada el peso correspondiente del vehículo. El contacto se ha representado por un resorte de Hertz no lineal, de forma que se permite el despegue entre la rueda y el carril que se podría producir al paso de la primera sobre un defecto del carril. Además, al considerarse que es la rueda la que se mueve y no la irregularidad, es posible tener en cuenta la excitación a la frecuencia de paso por traviesa.

El modelo se utiliza para el estudio de las cargas dinámicas y los desplazamientos que aparecen en los puntos de contacto de rueda y carril cuando varía la velocidad de circulación del eje montado.

El método ha sido validado y en el artículo se muestra la precisión de sus resultados. Igualmente se muestran algunos ejemplos de aplicación.

Referencias

- [1] I. Gómez, E. G. Vadillo. A linear model to explain short pitch corrugation on rails, *Wear*, 255 (2003) 1127-1142
- [2] J. Gómez, E. G. Vadillo, J. Santamaría. A comprehensive track model for the improvement of corrugation models, *J. Sound Vibration*, 293 (2006) 522-534.

Estudio de la implementación de sistemas de velocidad variable en la vía C-31N de acceso a la ciudad de Barcelona

M.A. de los Santos López,

Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Politécnica de Cataluña
tania.santos@upc.edu

D. Gallegos Díez,

Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Politécnica de Cataluña

F. Liesa Mestres,

Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Politécnica de Cataluña

Palabras clave: gestión de tráfico, velocidad variable

En los últimos años, los sistemas de gestión inteligente del tráfico se están incorporando como una herramienta de futuro para la gestión de la movilidad en los accesos a las grandes ciudades. Los objetivos principales son la reducción de las colas y el tiempo de recorrido, la reducción de las emisiones y la reducción de los accidentes. La ciudad de Barcelona ha sido una de las primeras ciudades del estado en instalar sistemas de gestión de tráfico mediante velocidad máxima variable en diferentes vías de acceso a la ciudad.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar los potenciales beneficios que conlleva la instalación de los sistemas de velocidad variable en una de las vías de acceso que aún no dispone de dicho sistema de gestión, ésta es la C31 Norte, que absorbe una gran parte de la movilidad de los accesos norte de la ciudad.

Para conseguir dicho objetivo, se ha caracterizado el flujo de tráfico y a partir de datos experimentales se ha obtenido un patrón de flujo para dicha vía. Así mismo se ha modelizado la vía y se ha realizado la simulación, mediante el programario AIMSUM, del comportamiento del flujo de tráfico al aplicar sistemas de velocidad variable en situaciones cercanas a la congestión, con el fin de valorar sus beneficios potenciales.

Las variables de tráfico que se han analizado son la densidad (ocupación) e intensidad (flujo), el porcentaje de intensidad con respecto a la capacidad de la vía, el tiempo de recorrido y el tiempo de demora y parada, el número de paradas y la velocidad. Todas las variables se han analizado tanto a lo largo de toda la vía como en cada una de las secciones de la vía consideradas.

Los resultados de las simulaciones indican que en situaciones en que la retención es incipiente, es decir, el flujo y la densidad de tráfico están cercanas a la saturación, el poder adaptar la velocidad máxima a las necesidades en cada instante, puede suponer una mejora cercana al 20% en cuanto a tiempo de recorrido, consiguiendo niveles de flujo y densidad superiores y, por tanto, consiguiendo que más vehículos puedan moverse dentro del flujo.

Estos resultados ponen de manifiesto que la instalación de un sistema de velocidad máxima variable en la vía C-31N mejoraría el acceso a la ciudad de Barcelona, reduciendo así los problemas de movilidad que tiene la ciudad.

En general puede concluirse que los sistemas de velocidad máxima variable pueden suponer una herramienta muy útil para reducir los problemas de movilidad existentes en las entradas a las grandes ciudades.

Análisis del comportamiento dinámico de un automóvil dotado de asientos basculantes

C. Casqueiro Placer, A. Suárez García

*Centro Universitario de la Defensa. Escuela Naval Militar de Marín
ccasqueiro@ cud.uvigo.es*

J.A. Vilán Vilán, S. Cereijo Fernández

Área de Ingeniería Mecánica. Universidad de Vigo.

Palabras clave: dinámica vehicular, confort, simulación.

Con este trabajo se estudiará el efecto que sobre el comportamiento dinámico de un vehículo tiene el empleo de asientos basculantes como los propuestos por la empresa Vaivencar SL, reflejados en la solicitud de patente con referencia en la OEPM PCT/ES2007/000094, destinados a aumentar el confort de los ocupantes.

El sistema propuesto por Vaivencar SL consiste en el empleo de asientos basculantes respecto de un eje contenido en un plano paralelo al longitudinal del vehículo y dotados de un sistema de muelle y amortiguador para limitar su movimiento. Su objetivo es reducir la aceleración lateral percibida por los ocupantes del automóvil.

A diferencia del ferrocarril equipado de sistemas pendulares, como los empleados por Talgo, en este caso sólo basculará el asiento y su ocupante respecto de la estructura del vehículo. A efectos de confort del individuo parece, a priori, igualmente efectivo a la vez que más simple y económico. Sin embargo es necesario estudiar también la influencia que sobre la dinámica vehicular tendrá el dispositivo propuesto. Para ello se realizaron ensayos sobre un pequeño automóvil adaptado a tal efecto así como numerosas simulaciones.

En este artículo se mostrarán los resultados obtenidos tanto en los ensayos experimentales como en las simulaciones realizadas con diferentes parámetros geométricos y de rigidez de muelle y amortiguador.

Las pruebas realizadas mostraron enseguida que si bien el ocupante del vehículo aumenta su nivel de confort, el comportamiento dinámico puede verse afectado negativamente. La definición de parámetros que acoten esta afección a niveles razonables, a la par que se mantiene el efecto positivo, es el objetivo del estudio que aquí presentamos.

Para alcanzar los objetivos propuestos la simulación se ha realizado sobre un modelo tridimensional, análogo al empleado por Petro Uys [1] o Gobbi et al. [2], que permite conocer la influencia del movimiento del conjunto asiento-ocupante sobre las fuerzas de contacto rueda-suelo y así predecir la tendencia al vuelco o al deslizamiento del vehículo.

Referencias

- [1] P.S. Els, N Theron, P.E. Uys, and M.J. Thoresson. The ride comfort vs. handling compromise for off-road vehicles, *Journal of Terramechanic*, 44(4) (2007), 303-317.
- [2] M. Gobbi, G. Mastinu, C. Donoselli. Optimising a car chassis, *Vehicle System Dynamic Supplement*, 32 (1999), 149-170.

Análisis de las variables geométrico del frontal del vehículo en la protección del peatón

D. Gallegos Díez,

*Applus+ IDIADA. Departamento de Homologaciones. Comercial Vehicles & Chassis Components
david.gallegos@idiada.com*

F. Liesa Mestres,

Cátedra Applus + en Seguridad del Automóvil. Universidad Politécnica de Cataluña

M.A. de los Santos López,

Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Politécnica de Cataluña

Palabras clave: protección de peatones, extremidades inferiores, impactor *lower legform*, momento flector y esfuerzo cortante

El objetivo principal de este proyecto de investigación es determinar la influencia de las variables geométricas del frontal del vehículo en las potenciales lesiones que pueden producirse a un peatón como consecuencia de un accidente. Este objetivo se consigue mediante el desarrollo de algoritmos específicos a partir de las medidas geométricas del frontal como variables de entrada y obteniendo la aceleración, el momento flector y el esfuerzo cortante como resultados. Este algoritmo puede aportar resultados iniciales sin necesidad de preparar un modelo de simulación específico o realizar ensayos de choque en laboratorio.

Los principales resultados conseguidos en este proyecto de investigación son:

La aceleración mínima y media del impacto desciende cuando la distancia longitudinal entre la travesía de deformación y la travesía de peatones aumenta. Asimismo, se detecta un decremento del esfuerzo cortante al aumentar esta distancia, por la influencia en la cinemática y dinámica que implica en el impactor.

La distancia vertical entre la travesía de deformación y la travesía de peatones se considera como no significativa después de analizar los resultados del algoritmo.

Por otro lado, la aceleración, mínima y media, aumenta cuando se incrementa la altura del vehículo, resultado de la menor rotación del impactor en el impacto. El comportamiento del momento flector es análogo a la aceleración. El esfuerzo cortante varía en función de los puntos de contacto con el frontal, detectándose los valores máximos cuando los puntos de impacto con la rodilla están cercanos a la altura de la travesía de deformación.

Como resultado global, la cinemática y la dinámica del impactor indican que cuando se incrementa la distancia longitudinal entre travesías, se obtiene un frontal con mayor capacidad de energía, y una rotación diferente del impactor durante el choque.

Este trabajo de investigación proporciona un nuevo modelo de simulación aplicado a la protección de peatones. Este modelo es capaz de predecir los resultados de lesiones en un impacto con la extremidad inferior, en términos de aceleración, esfuerzo cortante y momento flector del impactor, únicamente teniendo un primer modelo del frontal del vehículo. Por tanto, este modelo matemático es de aplicación general en la industria del automóvil en los próximos años.

Análisis del funcionamiento de una transmisión hidrostática de un vehículo de múltiples ejes motrices en la superación de obstáculos

M. Comellas Andrés, J. Roca Enrich, M. Nogués Aymamí, X. Potau Núñez, J. Pijuan Cases
GREA Innovació Concurrent, Universitat de Lleida, Pere de Cabrera s/n, 25001 Lleida (Spain)
mcomellas@diei.udl.cat

Palabras clave: rendimiento, transmisión, superación obstáculos, hidrostática, vehículo, múltiples ejes

Actualmente existe una gran variedad de vehículos todo terreno con múltiples ejes. Algunos de los más comunes son los vehículos rígidos de 3 ejes y los vehículos articulados de 4 ejes, los cuales pueden incluso disponer de elaborados mecanismos de dirección, suspensión adaptativa, etc. Ésta última tipología de vehículos puede llegar a adoptar configuraciones de transmisión muy complejas. También los requerimientos de par y velocidad en cada uno de los ejes pueden llegar a ser muy diferentes especialmente cuando el vehículo opera en terrenos abruptos [1].

El objetivo de éste estudio es analizar la influencia de las condiciones de operación durante la superación de obstáculos puntuales, en el rendimiento global, el consumo energético [2] y el funcionamiento de la transmisión de un vehículo todo terreno de cuatro ejes motrices montados sobre bogies. Además, la transmisión del vehículo propuesto contiene también elementos mecánicos que limitan el movimiento de las ruedas, lo que provoca el deslizamiento de algunas de ellas en las situaciones límite de adherencia que se han estudiado.

Dadas unas condiciones de operación y teniendo en cuenta las particularidades de la configuración de la transmisión y el efecto de la interacción rueda terreno, se ha utilizado un modelo global [3] para cuantificar el flujo de potencia en cada uno de los elementos que conforman la transmisión, desde la salida del motor de combustión hasta el eje de cada una de las ruedas, así como el rendimiento global de toda la transmisión.

Los resultados muestran la influencia de los diferentes requerimientos que se producen en cada uno de los ejes y de las particularidades que condicionan la transmisión analizada en el rendimiento global de la misma. También se observa que las limitaciones de la configuración de la transmisión influyen en la capacidad de superación de obstáculos del vehículo.

Referencias

- [1] X. Potau, M. Comellas, M. Nogués, J. Roca. Comparison of different bogie configurations for a vehicle operating in rough terrain, *Journal of Terramechanics*, 45 (2010) 75-84.
- [2] J.D. Zimmerman, C.A. Williamson, M. Pelosi, M. Ivantysynova. Energy consumption of an LS excavator hydraulic system, *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Proceedings*, 4 (2008) 117-126.
- [3] M. Comellas, X. Potau, M. Nogués, J. Roca. Análisis del funcionamiento de la transmisión hidrostática de un vehículo todo terreno de múltiples ejes, *XVIII CNIM – CVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica*, Ciudad Real, España (2010).

Optimización de uniones y estructuras de autobuses modelizadas con elementos finitos mediante análisis modales

F. Badea Romero, E. Alcalá Fazio, J. Pérez Fernández, A. Martín López

Instituto de investigación del automóvil – Universidad Politécnica de Madrid

Francisco.badea@upm.es

Palabras clave: Optimización, análisis modal, MEF

Este trabajo presenta resultados de investigaciones realizadas dentro del proyecto "Optimización del diseño de autobuses y semirremolques integrando técnicas de ensayo virtual" OPTIVIRTES. El objetivo planteado al inicio de las mismas fue obtener una mejora de la predictibilidad de las tensiones de los modelos FEM de vehículos de grandes dimensiones de transporte de pasajeros (autobuses y autocares) [1].

Debido a las grandes dimensiones de estos vehículos y al tipo de estructura de los mismos (tubular de sección rectangular hueca), para su modelado mediante elementos finitos el tipo de elementos más adecuado desde el punto de vista técnico, económico y de coste computacional es el elemento de tipo viga. Una de las principales desventajas del uso de este tipo de elementos se debe al hecho de que los nodos representan uniones infinitamente rígidas. Esta característica determina un aumento de la rigidez global de las estructuras simuladas (de aproximadamente un 30%), lo que afecta de manera directa tanto, al comportamiento de la estructura, como a la correcta estimación de las tensiones.

En base a la investigación realizada, se propone un modelo de unión en el cual se introducen un total de seis elementos elásticos (muelles). Mediante estos elementos se reproduce el comportamiento local de la unión, se tienen en cuenta las características topológicas de la misma, y se predicen valores de la rigidez más cercanos a la realidad, o a los de modelos con mayor nivel de detalle y complejidad [2]. Para caracterizar el comportamiento de la unión y estimar los valores de rigidez de los elementos elásticos, se realizaron análisis modales experimentales sobre estructuras reales y, a partir de las diferencias encontradas en los espectros modales entre la estructura real y los modelos MEF, se estimaron los valores de rigidez característicos de la unión. Los resultados obtenidos han permitido la verificación del comportamiento de los modelos, tanto el de los más detallados (elementos placa), como el de los modelos simplificados (elementos viga). En este último caso se analizaron la versión inicial de nodo rígido y la modificada mediante los elementos propuestos.

Mediante la implementación de la metodología descrita, se consiguieron obtener mejoras del comportamiento de las estructuras simuladas con elementos viga. La diferencia de rigidez entre dichos modelos simplificados, y los modelos detallados realizados con elementos placa y/o sólido, se reduce aproximadamente a un 5%.

Se mejoran, de esta manera, los resultados obtenidos con modelos sencillos, realizados con elementos viga y se obtienen resultados muy cercanos a los de modelos más detallados y exigentes.

Referencias

- [1] Alcalá, E., Martín, A., Grimaldi, R. "Non-linear simulation modeling of flexural bending for bus and coach structural joints." FISITA 2010. F2010D023.
- [2] F. Badea, E. Alcalá, et al. Optimización de uniones y estructuras de autobuses, XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica (2011).

Optimización topológica de estructuras reticulares 3D con malla variable

R. Lagunilla, D. Arribas, B. Valles, E. Alcalá.

Instituto Universitario de Investigación del Automóvil (INSIA). Universidad Politécnica de Madrid
r.lagunilla@upm.es

Palabras clave: optimización, estructura reticular, malla, MEF.

La optimización topológica es uno de los métodos potencialmente más prometedores de cara a mejorar las características de una estructura. Generalmente este método ha sido aplicado a geometrías continuas como lo son estructuras tipo placa o sólidas. Sin embargo, en el caso de querer optimizar estructuras reticulares, se hace necesario crear un reticulado inicial por la falta de continuidad de la propia estructura. Esta malla de partida implica que no es posible evaluar en la optimización la totalidad de los caminos de carga posibles, presentándose con frecuencia soluciones con estructuras en *zig-zag*.

En el presente artículo se expone un ejemplo de optimización topológica de estructuras reticuladas con nudos con 6 grados de libertad, lo que implica que se tienen en cuenta, no sólo los esfuerzos axiales (uniones articuladas), sino también momentos flectores y torsores en las uniones de cada una de las vigas.

El método propuesto contempla un algoritmo que, en base a las soluciones halladas, interpreta las líneas de carga principales e introduce nuevos elementos no contemplados en la malla inicial. De esta forma no es necesario realizar mallas muy refinadas para cubrir, con mayor densidad, las direcciones del espacio, sino que se parte de un mallado más grueso que evoluciona generando líneas de carga no existentes en la malla preliminar.

Se contempla también en la solución la existencia de estándares en la perfilera existente de forma que el proceso varía discretamente las secciones utilizadas, modificando el área y los momentos de inercia. Por último, destacar que para evaluar tanto el avance de la optimización, como asegurar la mejora de la estructura en cada paso del proceso iterativo, se han implementado diferentes controles de convergencia y finalización de la optimización.

Todo el proceso ha sido finalmente validado experimentalmente analizando el diseño de estructuras típicas de tipo cercha triangulada. Se ha comprobado mediante los ensayos, como el mejor comportamiento de rigidez específica lo proporciona la estructura determinada mediante la aplicación del proceso de optimización. Se demuestra, también, que soluciones tradicionales y ampliamente aceptadas presentan un menor aprovechamiento del material.

Se presenta, por tanto, un método avanzado de optimización topológica de estructuras reticulares que disminuye la influencia del tipo y tamaño de malla, así como de la experiencia del usuario y que proporciona una mejor definición de la solución con menor coste computacional.

Referencias

- [1] S. Sakata, F. Ashida, M. Zako, Topology and detail geometry optimization for beam structures using homotopy modeling, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 191 (2002) 4279–4293
- [2] S. Yunkang, D. Jiazheng, G. Yingqiao, Independent continuous mapping for topological optimization of frame structures, *Acta Mech Sin*, 22 (2006), 611-619.
- [3] C.B.W. Pendersen, Topology optimization for crashworthiness of frame structures, *IJCrash 2003 Vol.8 No.1*.
- [4] M. Yulin, W. Xiaoming, Ch. Gengdong, A feature-based topological optimization for structure design, *Advances in Engineering Software*, 39 (2008) 71–87.

Aproximación en polinomios de Chebyshev para el modelo de dinámica longitudinal del vehículo

A. López Rosado, C. Moriano Sánchez, R. Álvarez Fernández

Dpto. de Ingeniería Industrial. Universidad Nebrija
cmoriano@nebrija.es

Palabras clave: Polinomios de Chebyshev, dinámica vehicular, computación en tiempo real

La resolución de las ecuaciones de la dinámica vehicular, en general no lineales, requiere una alta carga computacional al aplicar métodos numéricos tradicionales. El estudio que venimos realizando se ha centrado en la búsqueda de soluciones analíticas aproximadas, de procesamiento más eficiente.

En [1] se muestra un ejemplo de expansión en serie de potencias para un modelo sencillo de dinámica vehicular. Las expresiones polinomiales obtenidas, permitieron un cálculo muy rápido de las ecuaciones dinámicas en tiempo real, casi 50 veces más rápido que el numérico. Asimismo, el uso de herramientas de cálculo simbólico (MAPLE), permite pre-calcular respuestas en función de las entradas al modelo de manera muy sencilla. La necesidad de obtener formulaciones también sencillas y precisas del modelo de neumático para integrarlas en el modelo dinámico anterior, condujo a la publicación en [2] de un primer trabajo en esta línea que posteriormente se completó y generalizó.

El objetivo de este trabajo es resolver, mediante expansión en serie, la ecuación diferencial no lineal que describe la dinámica longitudinal de un vehículo con la mínima carga computacional, para implementar estrategias predictivas en tiempo real ante el riesgo de accidentes, manteniendo un error reducido.

Para conseguirlo la ecuación diferencial es desarrollada en polinomios de Chebyshev

$$V(t) = \sum_{i=0}^N c_i T_i(t)$$

Dichos polinomios permiten un cálculo mucho más eficiente y rápido que la integración numérica, manteniendo un error pequeño, del orden del 0,55% para el desplazamiento y 0,54% para la velocidad, por lo que son recomendables para el cómputo en tiempo real. Se ha analizado el ahorro de la carga computacional, notando una importante reducción al comparar ambos.

Referencias

- [1] A. López, P. Vélez, C. Moriano. Método de procesamiento rápido de las ecuaciones de la dinámica vehicular mediante polinomios de Chebyshev. Encuentro Internacional de Algebra Computacional. EACA Septiembre 2006. Sevilla (2006).
- [2] A. López, P. Vélez, C. Moriano. Bivariate Chebyshev expansion of the Pacejka's tyre model. International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM). Corfu Greece. 16-20 Septiembre (2007).

Aproximación polinomial de la fórmula mágica

A. López Rosado, C. Moriano Sánchez, R. Álvarez Fernández

Dpto. de Ingeniería Industrial. Universidad Nebrija
cmoriano@nebrija.es

Palabras clave: Modelo de neumático, teoría de aproximación

El modelo de neumático de Pacejka [1] describe la fuerza de frenado, fuerza lateral y par autoalineante en términos de deslizamiento longitudinal y ángulo de deriva como un modelo de neumático semiempírico basado en la denominada fórmula mágica

$$Y(x) = D \cdot \sin\left(C \cdot \arctan\left(B \cdot x - E \cdot \left[B \cdot x - \arctan(B \cdot x)\right]\right)\right)$$

En la que la forma de la función viene definida por los parámetros B, C, D y E.

En el presente trabajo se muestra un conjunto de aproximaciones a dicha fórmula polinomiales y racionales. Para obtenerlas se utiliza la teoría de aproximación, comparando funciones racionales (RA) obtenidas mediante el algoritmo de Remez, expansiones en serie de polinomios de Chebyshev (ACh), en serie de polinomios racionales de Chebyshev (ARChP), en serie de funciones ortogonales racionales (ORF) y en series ARChP obtenidos a partir de ORFs de grado 1 que resulta ser la expansión que muestra una convergencia más rápida y computacionalmente eficiente. Para complementar esta última se han obtenido aproximaciones en polinomios racionales de Jacobi, ya que permiten un ajuste fino del error en zonas determinadas de la curva.

Finalmente se han obtenido aproximaciones racionales originales a la función arcotangente, formulaciones que aprovechan la simetría de las curvas para reducir la carga de cómputo y modelos para incluir la influencia de la carga vertical. Se muestran las propiedades de convergencia en los desarrollos en serie y los valores de error obtenido en ejemplos numéricos para los tres tipos de esfuerzos.

Como conclusión de todo ello, se propone la formulación polinomial sustitutiva siguiente:

$$Fap = \sum_{n=1}^N A_i \cdot v^n \quad ; \quad \text{donde} \quad v = \frac{x}{x+b}$$

Que se puede utilizar con grado N=3 para el cálculo de esfuerzos longitudinales y laterales con un error del 1 % respecto de la fórmula original de Pacejka, pero se procesa unas 20 veces más rápido, se puede integrar y derivar fácilmente y sus coeficientes pueden ser obtenidos a partir de ensayos de manera sencilla mediante algoritmos convencionales de mínimos cuadrados.

Referencias

- [1] E. Bakker, H.B. Pacejka, L. Lidner. A new tire model with an application in vehicle dynamics studies. SAE Paper n° 890087 (1989).
- [2] A. López, P. Vélez, C. Moriano. Método de procesamiento rápido de las ecuaciones de la dinámica vehicular mediante polinomios de Chebyshev. Encuentro Internacional de Álgebra Computacional. EACA Septiembre 2006. Sevilla (2006).
- [3] A. López, P. Vélez, C. Moriano. Bivariate Chebyshev expansion of the Pacejka's tyre model. International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM). Corfú Greece. 16-20 September (2007).

Diseño y desarrollo de un vehículo de tres ruedas con asistencia eléctrica al pedaleo

E. Cañibano Álvarez^{1,2}, J. Sanz López¹, J. Romo García¹, M. I. González Hernández¹, J. Gutiérrez Díez¹, J. C. Merino Senovilla^{1,3}

¹Fundación CIDAUT, Parque Tecnológico de Boecillo P209, 47151 Boecillo, España

²Dpto. Construcciones Arquitectónicas, Ingeniería del Terreno y Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Universidad de Valladolid - Escuela de Ingenierías Industriales, C/ Francisco Mendizábal, 1. 47014 Valladolid. España

³Dpto. de Física de la Materia Condensada. Universidad de Valladolid - Escuela de Ingenierías Industriales, Paseo del Cauce S/N. 47011 Valladolid. España

estcan@cidaut.es; javlop@cidaut.es; javrom@cidaut.es; mangon@cidaut.es; javgut@cidaut.es; juamer@cidaut.es

Palabras clave: Asistencia al pedaleo.

La Fundación CIDAUT, dentro de sus líneas fundamentales de trabajo, promueve la movilidad sostenible. En este marco, se ha desarrollado y construido un nuevo concepto de vehículo de tres ruedas. Éstos se están convirtiendo en un medio de transporte cada vez más atractivo, no solo para uso lúdico sino también como un transporte ágil y ligero. Esto último se ve potenciado si se complementa al vehículo con un sistema de tracción de pedaleo asistido. Se espera que este nuevo vehículo tenga una alta aceptación, debido a sus novedosas ideas, facilidad de uso (diseñado para una amplia variedad de usuarios) y sus características técnicas incluyendo un precio atractivo.

El vehículo dispone de dos modos diferentes de conducción: Modo Sport, que tiene la posibilidad de inclinar el chasis, principalmente destinado para usuarios que aman las bicicletas y las sensaciones que éstas les transmiten, y un modo Confort en el que se bloquea la inclinación, llamado así porque está especialmente diseñado para personas que necesitan de una mayor estabilidad que la que les proporciona la bicicleta. Este último modo tiene la ventaja de mantener el vehículo cuando se encuentra estacionado o en un Stop, sin que el usuario tenga que poner un pie en el suelo. Ambos modos de conducción son seleccionables por el usuario mediante un actuador durante la marcha del vehículo.

A lo largo del artículo se describe el proceso de diseño del vehículo utilizando herramientas computacionales. Primeramente, el análisis cinemático se ha realizado con un estudio de experimentos (Catia V5) y el análisis dinámico mediante software de multicuerpos (MSC.Adams/View R3). También se ha llevado a cabo una definición de la ergonomía del vehículo para usuario. Con estos datos se ha fabricado un prototipo con el que se han llevado a cabo ensayos y pruebas con diversos percentiles de personas, que han permitido validar los resultados virtuales. También se ha realizado la monitorización del vehículo durante un uso cotidiano, registrando su trayectoria y velocidad, con el fin de poder conocer la autonomía del vehículo.

Referencias

[1] A. Sponziello, F. Frenzo and M. Guiggiani. Stability Analysis of a Three-Wheeled Motorcycle. SAE Japan (2008).

Desarrollo de una nueva metodología para el análisis de estabilidad de vehículos ferroviarios

A. Alonso Pazos

CEIT y TECNUN (Universidad de Navarra)
aalonso@ceit.es

J.G. Germán Giménez

CAF y TECNUN (Universidad de Navarra)

Palabras clave: Estabilidad dinámica, velocidad crítica, análisis modal

Durante el proceso de diseño de los vehículos ferroviarios uno de los requerimientos que se deben cumplir es asegurar la estabilidad dinámica del vehículo en todo el rango de velocidades de circulación. Para realizar este cálculo se suelen emplear dos métodos diferentes [1]:

El primer método consiste en integrar las ecuaciones dinámicas no lineales que definen el comportamiento dinámico del vehículo sujetas a una serie de condiciones (velocidad, irregularidades de carril...). Una vez resueltas las ecuaciones se deberá determinar si las oscilaciones a las que se ve sometido el vehículo disminuyen con el tiempo o; por el contrario, éstas se amplifican volviéndose el movimiento inestable. Esta metodología puede ofrecer resultados muy precisos; sin embargo, su coste computacional es alto y en ocasiones la interpretación de los resultados puede ser compleja.

Por otro lado, la realización de análisis para determinar cómo afecta la variación de parámetros a la estabilidad dinámica no es directa con este método. Esto hace que la utilización de esta metodología para la optimización de vehículos durante la etapa de diseño no sea adecuada.

El segundo método consiste en linealizar las ecuaciones dinámicas del vehículo y determinar la estabilidad del vehículo mediante un análisis de valores y vectores propios. Utilizando este método es muy fácil automatizar la realización de estudios paramétricos con lo que su utilización durante la fase de diseño es recomendable; sin embargo, debido a la linealización realizada en las ecuaciones la precisión de este método puede no ser la deseada.

Una práctica habitual para el diseño de vehículos es realizar los análisis preliminares con el método lineal y luego validar los resultados integrando las ecuaciones no lineales. Este procedimiento es adecuado si los resultados ofrecidos por ambos métodos son similares; sin embargo, si son muy diferentes se pueden generar complicaciones a la hora de optimizar los diferentes componentes del vehículo.

En este trabajo se presenta una nueva metodología para calcular la velocidad crítica de los vehículos ferroviarios. Este método se basa en los cálculos lineales manteniéndose, por tanto, las ventajas que presenta este método de cara a la realización de estudios paramétricos y de optimización. Por otro lado, el método presenta un nivel de precisión cercano al dado por el método no lineal.

Referencias

- [1] J.G. Gimenez, L.M.Martin, J.P. Pascal, and J.L. Maupu. IAVSD railway benchmarck #2 – Sidive and Voco code solutions, *Suppl. Veh. Syst. Dyn.*, 20 (1992), 172-184.

Triciclo Ecológico Híbrido Argentino (TEA)

A. Plaun, B. Rivera, C. Salinas, D. Carnero Cistac, E. Obrutsky

*Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Buenos Aires
lplaun@frba.utn.edu.ar*

Palabras clave: triciclo, híbrido, contaminación, energías limpias

El análisis realizado sobre “El Estado del Arte”, ejecutado previamente por el equipo del Proyecto TEA, demostró que todos los países tecnológicos del mundo están desarrollando unidades híbridas livianas de tres ruedas y hasta de dos efectivas más dos retraibles al adquirir la velocidad de auto equilibrio, para agilizar el tránsito urbano y reducir drásticamente la emisión contaminante automotriz, gaseosa y sonora.

Se trata de lograr el desarrollo de un vehículo urbano liviano de tres ruedas, de peso neto no mayor a 360 kg, de tres asientos en su versión sedán y en la versión carga de un asiento con caja playa apta para transportar hasta 350Kg de carga.

El grupo moto propulsor se basa en la tecnología híbrida formada por dos motores eléctricos de neodimio en el cubo de rueda, de tensión de trabajo de 380V y 5 Kw de potencia nominal cada uno, refrigerados por agua.

La unidad dispondrá de un conjunto de baterías de litio ión con una capacidad estimada de 10kW/h y un sistema de moto generación eléctrica de 10 kW, impulsado por un motor mono cilindro de diseño especialmente liviano de ciclo Otto de 250cc con sistema de alimentación multiflex (Alconafta, BioAlcohol, GNC) bajo norma EURO 4.

La elección del sistema de alimentación multiflex, es el que mejor califica en relación costo-beneficio para operar finalmente por debajo de la norma EURO 5, al medirse su índice de contaminación bajo la norma “Británica”.

Todo el sistema motriz será controlado y comandado por un procesador electrónico central. Las baterías del vehículo se podrán recargar de 30 a 100% en un enchufe común de red de 220/240 V, en un plazo de 6 a 7 hs.

Durante la marcha normal del vehículo, cuando la tensión de línea baje del 70%, el controlador electrónico arrancará automáticamente al moto generador para reponer la carga perdida. El controlador electrónico permitirá, además, revertir el funcionamiento de los motores eléctricos a la forma de generador en el momento de aplicar los frenos, logrando con ello un recupero de energía que permite reponer parcialmente la carga de la batería.

De esta forma bien se podrá regular la autonomía total, según el uso previsto para la unidad, de 150 a 300km, con el actual nivel de tecnología y relación de costo de las baterías de litio.

La característica fundamental del vehículo será el diseño de su plataforma motriz, especial para adaptarse tanto en el sedán como en la versión de carga, lo que redundará en una importante reducción del costo de producción.

Todo el sistema estructural carrocería/chasis, será diseñado para superar las exigencias legales de choque lateral y frontal, manteniendo una línea de diseño acorde a la tendencia estilística automotriz para los próximos 10 años.

Referencias

- [1] Dr. Ing. L. Zolotarevsky, Yu. Vasiliev, Yu. Bokserman, A. Gritsenko (año 1994) “GAS MOTOR FUEL”, Moscú, Rusia.
- [2] Jorge Moreno de la Carrera (año 2004) “CONTROL OPTIMO DE LA ENERGÍA EN UN VEHÍCULO HÍBRIDO ELÉCTRICO EMPLEANDO REDES NEURONALES”, Prof. Juan Dixon Rojas, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.
- [3] EUROPEAN COMMISSION, (año 2011) “WHITE PAPER”, Bruselas, Bélgica.

Incorporación de asistente aerodinámico de frenado en una motocicleta

J. Alonso, E. Blanco¹, Á. Noriega²

¹Dpto. de Energía. Universidad de Oviedo

*²Dpto. de Construcción e Ingeniería de Fabricación. Universidad de Oviedo
eblanco@uniovi.es*

Palabras clave: aerodinámica activa, frenado, moto

En este artículo se presenta un estudio sobre la posibilidad de incorporar aerodinámica activa en una moto. En particular se trata de un dispositivo a instalar en la parte trasera de la moto cuyo objetivo es aumentar la carga vertical en la rueda trasera durante la frenada.

El dispositivo actúa cuando un acelerómetro detecta que la moto sufre una deceleración longitudinal superior a un umbral prefijado. Cuando esto ocurre, se permite la circulación del aire tomado en la parte delantera de la moto hasta la parte trasera a través de conductos y una compuerta controlada por un servomotor. El flujo de aire canalizado incide sobre un alerón situado entre el colín y la rueda trasera.

La ventaja principal de este sistema es que no afecta prácticamente la fuerza de arrastre que debe vencer la moto completa ya que el alerón está situado en una zona con muy poca influencia en esa fuerza de arrastre. Por lo tanto, el dispositivo no tendrá influencia en la velocidad máxima del vehículo.

Se han hecho análisis CFD para valorar el rendimiento de este dispositivo y se está construyendo un prototipo para incorporar en una moto concursante en la segunda edición del concurso Motostudent y con el que valorar en comportamiento real.

Estimación numérica de las tensiones en ejes de vehículos ferroviarios

José Martínez Casas, Luis Baeza

*Centro de Investigación de Tecnología de Vehículos. Dpto. de Ingeniería Mecánica y de Materiales.
Universidad Politécnica de Valencia
baeza@mcm.upv.es*

Laura Mazzola, Stefano Bruni

Dipartimento di Meccanica. Politecnico di Milano

Palabras clave: vehículo ferroviario, fatiga del eje, interacción vehículo ferroviario-vía, corrugación del carril, plano de rueda, efectos giroscópicos

El diseño a fatiga de ejes ferroviarios requiere una estimación razonable del nivel de tensiones en las condiciones reales de servicio. Para ello han sido realizados ensayos muy costosos con el fin de evaluar el estado tensional y estimar la vida a fatiga. En la Ref. [1] se propone un método para estimar las tensiones en ejes ferroviarios a partir de la simulación dinámica del comportamiento del vehículo. Este método presenta limitaciones ya que el eje ferroviario es considerado como un sólido rígido sobre una vía rígida, por lo que sólo se pueden calcular las tensiones del eje asociadas a la dinámica de baja frecuencia (aproximadamente entre 0 y 20 Hz).

El objetivo planteado en este trabajo es definir un método para calcular las tensiones del eje ferroviario que tienen su origen en la dinámica de alta frecuencia (hasta 2 kHz), y que por tanto son el resultado del acoplamiento dinámico de las masas no suspendidas con la vía. Para ello se considera un modelo del eje flexible y rotatorio que interactúa con un modelo de vía flexible, y se llevan a cabo diversas simulaciones para un vehículo ferroviario de alta velocidad en condiciones reales de servicio. El modelo de eje considerado está basado en una metodología desarrollada previamente en la Ref. [2], y se ha adaptado para la estimación de tensiones a las que se ve sometido. El eje ferroviario es modelado como un sólido flexible rotatorio mediante un planteamiento modal Euleriano, considerando las ventajas de la simetría axial y de la síntesis modal para reducir el coste computacional del problema. La vía se modela como un sistema periódico infinito [3], considerando el carril como una viga de Timoshenko, y teniendo en cuenta la inercia de las traviesas, así como las propiedades viscoelásticas del balasto y de las placas de asiento.

En este trabajo se describe el modelo de interacción dinámica eje-vía y se presenta una aplicación del procedimiento propuesto para el cálculo de tensiones en el cuerpo del eje. Se presentan resultados de fuerzas de contacto y tensiones en el eje para diversos casos reales de excitación procedentes de irregularidades geométricas localizadas en la banda de rodadura o en el carril. Las simulaciones se han realizado para diferentes velocidades del vehículo, considerando como fuentes de excitación desgastes ondulatorios del carril, rugosidad pseudo-aleatoria (tipo Browniano, con amplitudes referenciadas a la normativa ISO-3095) y un plano de rueda.

Referencias

- [1] S. Bruni, R. Corradi, L. Mazzola. Wheel rail contact forces as input for optimal and robust axle design, En actas de 8th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems, Florencia 2009.
- [2] J. Fayos, L. Baeza, J. E. Tarancón, F. D. Denia. An Eulerian coordinate-based method for analysing the structural vibrations of a solid of revolution rotating about its main axis, *Journal of Sound and Vibration*, 306 (2007), 618-635.
- [3] L. Baeza, H. Ouyang. A railway track dynamics model based on modal substructuring and cyclic boundary condition, *Journal of Sound and Vibration*, 330 (2011), 75-86.



Asociación Española
de Ingeniería Mecánica

XIX Congreso Nacional
de Ingeniería Mecánica



Otros

Diseño preliminar térmico y estructural del instrumento NOMAD de ExoMars

F. Navarro Medina, A. Gómez San Juan, I. Pérez Grande, G. Fernández Rico

Instituto Universitario de Microgravedad Ignacio da Riva. Universidad Politécnica de Madrid
fermin.navarro@upm.es

Palabras clave: ExoMars, NOMAD, control térmico, diseño estructural

El vehículo espacial ExoMars Orbiter, llamado Exomars Trace Gas Orbiter (EMTGO), se encuadra en una misión de la ESA/NASA, contribuyendo a las ambiciones europeas de misiones de exploración futura, según lo establecido en la declaración Aurora. Los objetivos del programa ExoMars dan continuidad a los esfuerzos de cooperación con la NASA para enviar una misión de retorno de una muestra de Marte en las siguientes décadas. Están previstas dos misiones dentro del programa ExoMars, una para 2016 y otra para 2018.

NOMAD (Solar Occultation in the InfraRed and Nadir and Occultation for Mars Discovery) es un espectrómetro de alta resolución en el infrarrojo-visible-ultravioleta, observando en las franjas de 0.2-0.65 y 2.3-4.2 μm , para la inspección de la atmósfera de Marte. Dispone de tres canales (LNO, SO y UVIS) que operarán según tres modos distintos (ocultación solar, limbo y nadir).

NOMAD es un instrumento con una masa de 29.9 kg que está montado sobre la bandeja superior exterior, en la cara fría del vehículo, y debe estar fuertemente desacoplado del mismo desde un punto de vista térmico (con una conductancia de 0.02 W/K). Este desacoplamiento dificulta el diseño estructural de la unión con el vehículo. El diseño térmico debe estar capacitado además para evacuar el calor disipado internamente y las cargas exteriores, utilizando únicamente métodos de control térmico pasivos. Un requisito térmico adicional es el que impone el espectrómetro del canal LNO, que es una caja interior a NOMAD que debe ser enfriada a -100°C .

Con el objeto de cumplir estos requisitos, se disponen dos radiadores: un radiador 'general' para mantener al conjunto del instrumento a una temperatura templada, y un radiador multietapa en V para enfriar la sección del LNO a -100°C . Éste último consiste en 4 etapas con placas delgadas, que disponen de una combinación de regiones de alta emisividad y otras de alta reflectividad, para evacuar el calor entre etapas. Además, para disminuir la masa del radiador, las placas delgadas deben ser rigidizadas estructuralmente. Tanto su diseño térmico como el estructural representan un reto tecnológico, debido a su escasa presencia en misiones anteriores.

El modelo geométrico y los modelos térmico y estructural matemáticos se han construido siguiendo los estándares de la ESA. Esto es, la metodología utilizada ha sido la de efectuar primero un diseño conceptual preliminar, para posteriormente desarrollar un modelo térmico y otro estructural a nivel instrumento, con los programas de software ESATAN y NASTRAN indicados por la ESA. Los resultados muestran la viabilidad de NOMAD desde un punto de vista térmico y estructural.

Análisis del comportamiento tensión-temperatura para bajos niveles de tensión en Aleaciones con Memoria de Forma TiNiCu

A. Fabregat Sanjuan, S. De la Flor López, F. Ferrando Piera

Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Rovira i Virgili

albert.fabregats@urv.cat

Palabras clave: NiTiCu, SMA, martensita,

Existen en la literatura diferentes modelos constitutivos macroscópicos que reproducen el complejo comportamiento termomecánico de las aleaciones con memoria de forma SMA (Shape Memory Alloys) [1]. La mayoría de ellos se formulan en base al diagrama crítico tensión-temperatura, donde la relación entre estas dos variables sigue la ecuación proporcional de Clausius-Clapeyron. Sin embargo, esta relación no es aplicable para valores inferiores a la tensión crítica de transformación martensítica (σ_{CR}). Por debajo de este nivel de tensión, los modelos antes mencionados presentan diferentes criterios en su formulación. Estas diferencias para bajos niveles de tensión son debidas a que la transformación martensítica puede producirse por una transformación a martensita multivariante no-orientada o por una transformación a martensita monovariante demaada, en la que una variante específica es dominante sobre las otras [2]. Además, el valor de la σ_{CR} no es constante, pudiendo variar notablemente tanto con la temperatura de tratamiento térmico (TTT) como con el ciclado termomecánico (CT) [3].

En base a lo expuesto anteriormente, el principal objetivo de este estudio es la caracterización de la transformación martensítica para niveles bajos de tensión a través del CT, evaluando su comportamiento por debajo de la σ_{CR} para diferentes TTT y obteniéndose la tensión crítica necesaria para obtener una completa orientación (σ_{OR}).

Para llevar a cabo esta investigación se han utilizado probetas de alambre de 1 mm de diámetro de la aleación Ti44.6Ni5Cu (%at.) sometidas a diferentes TTT (400, 450, 500 y 550°C con posterior templado al agua). Para realizar el CT, se han realizado ensayos a tensión constante con incrementos progresivos de tensión y variando la temperatura dentro del rango de temperaturas de transformación (desde un valor inferior a la temperatura final de transformación martensítica (M_f) hasta una temperatura superior a la transformación austenítica (A_f)). Para evaluar los cambios en la transformación, se ha utilizado un extensómetro de fabricación propia y un multímetro programado con configuración de 4 hilos para evaluar las transformaciones de fase mediante la evolución de la deformación y las variaciones de la resistencia eléctrica.

Los resultados experimentales han demostrado que la σ_{OR} es diferente para cada TTT, mostrando una tendencia a menores valores de σ_{OR} para mayores TTT. Además, se ha demostrado que si el CT se realiza por debajo de la σ_{OR} , las temperaturas de transformación no se ven afectadas con el ciclado, llegando a una notable estabilización del comportamiento. Por el contrario, si se supera la σ_{OR} , el CT afecta considerablemente tanto las temperaturas de transformación como la deformación, siendo la variación diferente para cada nivel de TTT.

Referencias

- [1] De la Flor S, Urbina C, Ferrando F. Materials science engineering,A, Structural materials (2006), 427-112.
- [2] Duerig TW. Engineering aspects of shape memory alloys. London; Boston: Butterworth-Heinemann, (1990).
- [3] Nespoli A. Journal of thermal analysis and calorimetry (2011), 103-821.

Estudio de Factores para el Diseño Sostenible de Pilares Metálicos Tubulares y Pilares Mixtos Tipo Concrete Filled Tube (CFT)

A. Piquer , D. Hernandez-Figueirido, JM Portolés

*Dpto. de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I
Ana.Piquer@uji.es*

A. Hospitaler Pérez,

ICITECH, Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón. U. Politècnica de València.

J.M. Montalva Subirats

Dpto. de Ingeniería de la Construcción y de Proy. de Ingeniería Civil, U. Politècnica de Valencia

Palabras clave: Sostenibilidad, Pilares Mixtos, Diseño Óptimo, Pilares Mixtos, Pilares rellenos de hormigón, CFT

El propósito del presente trabajo es establecer un conjunto de factores o de objetivos independientes o contradictorios que permitan abordar el proyecto sostenible de pilares metálicos tubulares rellenos de hormigón (CFT) y perfiles tubulares de acero, por medio de un procedimiento basado en la optimización multiobjetivo.

El criterio económico es el que tradicionalmente se ha utilizado para realizar la optimización de estructuras, aunque no es el único que debe considerarse, debiéndose incluir también el concepto de sostenibilidad. El marco de la sostenibilidad implica la consideración de tres criterios fundamentales: económicos, medioambientales y funcionales.

En este trabajo se seleccionan por primera vez un conjunto de funciones objetivo asociadas a cada criterio de sostenibilidad, realizando un estudio de independencia de las mismas, para establecer un conjunto eficaz de objetivos a emplear en procesos posteriores de optimización de pilares tubulares rellenos de hormigón.

Del estudio realizado se concluye que los pilares mixtos tipo CFT resultan más eficientes, desde todos los puntos de vista, que los perfiles tubulares de acero, para las mismas exigencias de proyecto.

Simulación termo-mecánica de procesos de conformado directo con láser

C. Correa, J. A. Porro, F. Cordovilla, M. Morales, J.L. Ocaña

Centro Láser. Universidad Politécnica de Madrid

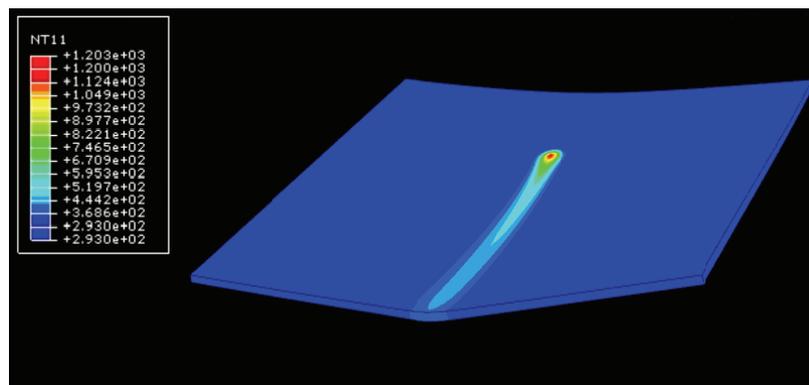
carlos.correa@upm.es

Palabras clave: conformado, láser, simulación

El Conformado Directo por Láser ("Direct Laser forming", DLF) es un proceso de tratamiento termo-mecánico en el que la deposición controlada de energía, aportada por un láser de potencia, da lugar al desarrollo de tensiones internas en el material que son capaces de producir deformaciones permanentes en el mismo [1]. El resultado final es una deformación del material de acuerdo a una geometría 2D o 3D, de forma semejante al resultado obtenido por procesos de conformado tradicionales.

Las variables características del láser son su potencia, tamaño del haz, su modo espacial, la velocidad relativa y la estrategia secuencial de movimiento entre el haz y la pieza tratada. Estas variables determinan el régimen de transferencia de energía y las deformaciones resultantes.

El desarrollo y la generación de conocimiento fundamental y aplicado para la técnica de conformado directo por láser representa un gran avance científico-técnico para la producción de bajas series y prototipos en chapa metálica.



En este trabajo, cuyo contenido está enmarcado en el proyecto consorciado "ISF 2G: La excelencia española en Rapid Manufacturing. Desarrollo y aplicación de la tecnología de deformación incremental de segunda generación, para aplicaciones estratégicas", se presenta un modelo numérico que permite estudiar la influencia de los distintos parámetros del proceso y se presentan comparaciones con resultados experimentales.

Referencias

[1] H. Shen F. Vollertsen, Modelling of laser forming. A review. Computational Materials Science 46 (2009) 834–840.

Influencia del tiempo de exposición al medio corrosivo en la resistencia a la tracción de aleaciones de aluminio

**J.E. Díaz Vázquez, R. Bienvenido Bárcena, P.F. Mayuet Ares, J.M. Gerez Miras,
M. Marcos Bárcena**

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial. Universidad de Cádiz
enrique.diaz@uca.es

F.J. Botana Pedemonte

Dpto. de Ciencias de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica. Univ. de Cádiz

Palabras clave: resistencia a la tracción, aluminio, tensión tras corrosión

Las aleaciones de aluminio se utilizan en la industria aeroespacial en la fabricación de una buena parte de los elementos estructurales de las aeronaves, debido a su excelente relación peso/propiedades físico-químicas/coste. En la evaluación del rendimiento de estos procesos de fabricación se debe contemplar el estudio de la influencia de los distintos parámetros que intervienen antes, durante y después del conformado.

En cuanto al estudio del comportamiento en servicio de los productos obtenidos, se necesita disponer de referencias del comportamiento del material frente a los agentes externos, como por ejemplo los medios corrosivos.

La corrosión deteriora gradualmente las estructuras aeronáuticas a lo largo de su vida operativa. Así, uno de los objetivos fundamentales del diseño es la obtención de una mayor resistencia a la corrosión de los materiales en servicio. A pesar de que estos mecanismos de degradación no implican grandes pérdidas de metales, las propiedades mecánicas del metal pueden sin embargo verse gravemente afectadas.

En este trabajo se analiza la posible variación de la resistencia a la tracción de los materiales tras haber sufrido procesos de corrosión. Para ello, se han dispuesto muestras de ensayo planas de las aleaciones UNS A92024 y UNS A97075, que se sometieron a procesos de corrosión acelerada CNS de 24 a 504 horas. Posteriormente, se sometieron a ensayos de tracción a temperatura ambiente, lo que se ha dado en llamar tensión tras corrosión (TTC).



Referencias

- [1] A. Aballe, M. Bethencourt, F. J. Botana, M. J. Cano, M. Marcos. Influence of the degree of polishing of alloy AA5083 on its behaviour against localized alkaline corrosion, *Corrosion Science*, 46 (2004), 1909-1920.
- [2] R. Grilli et al., Localized corrosion of a 2219 aluminium alloy exposed to a 3.5% NaCl Solution, *Corrosion Science*, 52 (2010), 2855-2866.
- [3] B. Davó et al., Inhibition of stress corrosion cracking of alloy AA8090 T-8171 by addition of rare earth salts, *Corrosion Science*, 47 (2005), 1227-1237.



Índice de Autores



Abascal García, R.	126
Abasolo, M.	35, 114
Acero Cacho, R.	144
Acosta Ruiz, F.	74, 169
Afonso Martín, H.	32
Aginaga García, J.	78, 118
Aguado Jiménez, S.	146
Aguilar Márquez, A.	72, 168
Aguilar Martín, J.J.	67, 137, 143, 146
Aguirrebeitia, J.	35, 114
Ait-Salem Duque, O.	128
Aizpun, M.	179
Albizuri, J.	35
Alcalá Fazio, E.	194, 195
Alonso, J.	201
Alonso, U.	95
Alonso Gordo, C.	127
Alonso López, A.	38
Alonso Pazos, A.	199
Alonso Sánchez, F.J.	39
Altuzarra Maestre, O.	48, 55, 78, 152
Álvarez Caldas, C.	180
Álvarez Fernández, R.	196, 197
Amé, R.M.	112
Amezua San Martín, E.	48, 55
Ansola Loyola, R.	127
Aparicio Izquierdo, F.	184
Arana, A.	121
Aristimuño Osoro, P.X.	99
Arrazola Arriola, P.J.	99, 108, 109, 147
Arribas Mantelli, D.	187, 195
Arrizabalaga Arizti, G.	99
Arrizubieta, I.	87
Arsuaga Berrueta, M.	105
Artés Gómez, M.	164
Aso Arjol, G.	144
Aurrekoetxea Narbarte, J.	69
Axotla García, J.	72, 168
Ayala Santamaría, P.	70
Badea Romero, F.	187, 194
Baeza González, L.	73, 75, 178, 202
Balaguer Bernaldo de Quirós, C.	154
Balbás Antón, M.	138
Barandiaran Mancheño, J.	120
Bascuñana Pareja, J.	42
Berges Muro, L.	145
Bermudo Gamboa, C.	98
Besa, A. J.	165
Bienvenido Bárcena, R.	208
Bilbao Sagarduy, A.	55
Blanco, E.	201
Blanco Herrera, C.	119
Blázquez Martínez, J.	138
Borras Pinilla, C.	49
Botana Pedemonte, F.J.	208
Bruni, S.	202
Busquets, D.J.	160
Cabrera Carrillo, J.A.	186, 188
Cajal Hernando, C.E.	143
Calleja Ochoa, A.	88, 92, 152
Calvo Ramos, J.A.	180
Camás Peña, A.	42
Cambero Rivero, I.	66, 76, 107
Caminos Gámez, L.	41, 42

Campa Gómez, F.J.	117, 152
Campillo Davó, N.	159
Canales Abaitua, J.	127
Cantero Guisández, J.L.	93, 104
Cantizano González, A.	70
Cañadas Martínez, I.	38
Cañibano Álvarez, E.	198
Carabias Acosta, E.	188
Carbone, G.	136
Cardona Foix, S.	51, 64, 65, 116
Carnero Cistac, D.	200
Carpio, J.J.	176
Carrascal Morillo, M.T.	38
Casqueiro Placer, C.	191
Castejón Sisamón, C.	136
Castillo Aguilar, J.J.	186, 188
Català Calderón, P.	116
Cavas Martínez, F.	74, 169
Ceccarelli, M.	136
Celdrán Cáceres, A.	60
Cereijo Fernández, S.	191
Cervera González, I.	172
Chacón Tanarro, E.	174, 175
Chaires Bocanegra, D. L.	91
Chaná Cuevas, P.	51
Collazo Rodríguez, J.	62
Comellas Andrés, M.	193
Conesa Pastor, J.	169
Cordovilla, F.	207
Corral Sáiz, J.	117, 118
Correa, C.	207
Correa García, N.	189
Cuadrado Aranda, J.	33, 39, 60
Damra, M.S.	172, 176
de Juan de Luna, A.	57, 122
de la Cruz Hernández, J.	93, 104
de la Flor López, S.	68, 205
de la Guerra Ochoa, E.	174, 175
de Lis Muñoz, F.	138
de los Santos López, M.A.	116, 190, 192
Denia, F.D.	73, 160, 165
Díaz Álvarez, J.	93, 104
Díaz Garrido, F.A.	130, 140, 141, 142, 148, 149
Díaz Lantada, A.	48
Díez Sánchez, M.	56
Díaz Tena, E.	91
Díaz Vázquez, J.E.	208
Delgado Martínez, A.D.	38
Dopico Dopico, D.	60, 61
Dorado Vicente, R.	79, 94, 130, 140, 141, 142, 148, 149
Echávarri Otero, J.	174, 175
Elbouyafrouri Cirauqui, I.	38
Elias Saenz, A.	103
Esnaola, J.A.	100
Espejo Reina, A.	38, 50
Esteban Echeverría, E.	166
Etayo, J.M.	86
Eziolaza, I.	179
Ezquerro Juanco, F.	50
Fabregat Sanjuan, A.	205
Felipe Sesé, L.	148, 149
Fernández Caballero, D.	132
Fernández del Rincón, A.	57, 122
Fernández González, A.	173



Fernández Rico, G.	204
Fernández Sánchez, V.E.	47
Fernández Valdivielso, A.	92, 106
Ferrando Piera, F.	68, 205
Figueras Puig, J.	89
Font-Llagunes, J.M.	33, 39
Fuenmayor Fernández, F.J.	45, 160, 165, 178
Fuentes Aznar, A.	123, 124
Gallo, A.	121
Garay Araico, A.	108, 147
García-Berrocal Sánchez, A.	138
García Fernández, P.	57, 122
García García, E.	178
García Gil, E.	96
García González, A.	41, 42
García León, O.	72, 168
García Martínez, A.	155
García Plaza, E.	107
García Prada, J.C.	136
García Vadillo, E.	189
García Vallejo, D.	154
Garro, A.	100
Gallegos Diez, D.	190, 192
Gella Marín, R.	97
Gerez Miras, J.M.	208
Germán Giménez, J.G.	199
Giménez Fernández, A.	154
Giner Maravilla, E.	45, 73
Gomendio Ruiz, A.	69
Gómez Casado, O.	184, 185
Gómez García, M.J.	136
Gómez Gras, G.	84, 85, 158
Gómez López, J.	189
Gómez San Juan, A.	204
Gómez Serrano, C.	49
Gonzalez, R.	121
González Andrino, R.	66
González Farias, I.	150
González Hernández, M.I.	198
González Herrera, A.	41, 42
González Martín, D.	32
González Pérez, I.	123, 124
González Rodríguez, R.	173
González Rojas, H.A.	51, 84, 85, 158
Gorriño Vicandi, A.	90, 105
Gracia Ibáñez, V.	37
Gutiérrez Colón, M.	68
Gutiérrez Diez, J.	198
Habib, K.A.	172, 176
Hayani, M.	176
Hernández Battez, A.	173
Hernández Figueirido, D.	206
Hernández Frías, A.	48, 55, 78, 115
Herrera Martín, A.	32
Herrera Olivenza, J.M.	66, 76, 107
Herrero Villalibre, S.	117, 118
Higuera Garrido, A.	173
Hospitaler Pérez, A.	206
Huerta Gómez de Merodio, M.C.	128
Huertas Talón, J.L.	84, 97, 145
Ibarreche Mendía, J.I.	115
Iglesias Santamaría, M.	57, 122
Iglesias Valle, I.	90
Iriarte Grutzeta, L.M.	108, 147

Isasa Gabilondo, I.	166
Iserte Vilar, J.L.	123, 124
Iturrospe Iregui, A.	166
Izaga Maguregi, J.	90
Izeta Lizarralde, I.	109
Iznaga Benítez, A.	74
Izquierdo Aramburu, B.	95, 96
Jardón Huete, A.	154
Jarque Bou, N.J.	43
Jiménez, R.	139
Jiménez Alonso, F.	184, 185
Jiménez Octavio, J.R.	70
Jordi Nebot, L.	64, 65
Jurado Tovar, M.	46
Labarga Ordóñez, J.	82, 83
Lafont Morgado, P.	48, 174, 175
Lagunilla, R.	195
Lamikiz Mentxaka, A.	86, 87, 89, 90
Larrañaga, J.	121
Lavado Rodríguez, J.	162
Laviña Mora, C.	37
León Pinzón, B.E.	44
León Rodríguez, F.	72, 168
Lezama, D.	112
Liébana, F.	86
Liesa Mestres, F.	190, 192
Lobato González, R.	105
López, A.	100
López Alba, E.	79, 94, 141, 142
López de Lacalle Marcaide, L.N.	88, 91, 92, 103, 105, 106
López García, R.	79, 94, 140, 141
López Gómez, C.	97
López Lago, M.	62
López López, J.	164
López López, J.G.	159
López Martínez, J.	154
López Rosado, A.	196, 197
Lorenzino, P.	133
Lorenzo Fernández, M.A.	78, 119
Lugrís Armesto, U.	33, 39
Macho Mier, E.	56
Majarena Bello, A.C.	137
Marcos Bárcena, M.	208
Martel Fuentes, O.	32, 40
Martín Castilla, B.	50
Martín Fernández, F.	98
Martín López, A.	187, 194
Martínez, I.	100
Martínez Casas, J.	73, 75, 202
Martínez Miralles, J.	161
Martínez Reina, J.	34
Martínez Rodrigo, M.D.	162
Martínez Rodríguez, S.	86, 87, 89, 90
Mas, F.	101, 102
Mayo Núñez, J.	34
Mayuet Ares, P.F.	208
Mazzola, L.	202
Menéndez, J. L.	102
Mentado Almeida, B.	32
Merino Senovilla, J.C.	198
Miguélez Garrido, M.H.	93, 104
Monopoli Forleo, D.	32
Montalva Subirats, J.M.	206
Montalvo Martín, C.	138



Montero García, L.	131, 134
Mora, M.C.	43
Morales, A.L.	163
Morales, M.	207
Morales Escrig, A.	44
Moreda Vázquez, Y.	183
Moriano Sánchez, C.	196, 197
Morillo Tena, F.	76
Muñiz Calvente, M.	155
Muñoz Abella, B.	131, 134
Muñoz García, J.	120
Muñoz Guijosa, J.M.	132
Muro Larisgoitia, M.	90
Museros Romero, P.	162
Nápoles Alberro, A.E.	84, 85, 158
Naranjo Hernández, J.E.	185
Navarro Arcas, A.	181, 182
Navarro Medina, F.	204
Navarro Robles, A.	133
Naya Villaverde, M.Á.	61
Nieto, A.J.	163
Nogués Aymamí, M.	193
Noriega González, A.	155, 183, 201
Núñez Castaín, M.J.	47
Núñez López, P.J.	107
Obrutsky, E.	200
Ocaña, J.L.	207
Ojeda Granja, J.	34
Okariz Legorburu, I.	92
Oliva, M.	102
Ontiveros, S.	139
Ortega Rodríguez, N.	95, 96
Ortego García, P.	48
Outeiro, J.C.	109
Oyanguren, A.	121
Oyarzabal de Celis, O.	189
Paleo, P.	68
Pàmies-Vilà, R.	33
Paricio Caño, M.M.	181, 182
Pastorino, R.	61
Pedrosa, A.M.	165
Peral Orts, R.	159
Pérez Cerdán, J.C.	78, 119
Pérez Da Rosa, S.	47
Pérez de la Blanca, A.	50
Pérez Fernández, J.A.	187, 194
Pérez González, A.	36, 37, 43, 44, 46
Pérez Grande, I.	204
Pérez Lazo de la Vega, M.C.	74
Petuya Arcocha, V.	48, 56, 78, 115
Píjuan Cases J.	193
Pineda Becerril, M.	72, 168
Pintado, P.	163
Pinto Cámara, C.	78, 115, 117, 118
Pinto Hernandez, W.	49
Piquer, A.	206
Plaun, A.	200
Plaza, J.	114
Plaza Pascual, S.	95
Pombo Rodilla, I.	95, 96
Porro, J.A.	207
Portolés, J.M.	206
Postigo Pozo, M.J.	47
Postigo Pozo, S.	47, 50

Potau Núñez, X.	193
Prado Nóvoa, M.	47, 50
Pueo Arteta, M.	144
Puig Ortiz, J.	64, 65
Querin, O.M.	127
Quesada, A.	180
Ramírez Berasategui, M.B.	113
Ríos, J.	101, 102
Rivera, B.	200
Roca Enrich, J.	193
Roda Casanova, V.	123
Rodríguez Cervantes, P.J.	36
Rodríguez de la Cruz, V.	132
Rodríguez Ezquerro, A.	103, 106
Rodríguez Mateos, P.	82, 83
Rodríguez Pérez, A.	44
Rodríguez Piñeiro, A.	169
Rodríguez Salgado, D.	66, 76, 107
Rodríguez-Tembleque Solano, L.	126
Rojo Garrido, A.	70
Roldán Paraponiaris, C.	152
Romero Carrillo, P.	94, 142
Romo García, J.	198
Ros López, B.	47
Rubio, J. M.	101
Rubio Alonso, H.	113
Rubio Herrero, P.	131, 134
Rubio Ruiz de Aguirre, L.	131, 134
Sacristán Pérez, I.	108
Sáez, M.	100
Salgado Picón, O.	166
Salinas, C.	200
Samper Carnicer, D.	137, 146
San Román García, J.L.	180
Sánchez Egea, A.J.	84, 85
Sánchez Galíndez, J.A.	95, 96
Sánchez Kaiser, A.	71
Sánchez Lozano, M.	181, 182
Sánchez Marín, F.T.	123, 124
Sánchez Mateo, S.	181
Sánchez Orgaz, E.M.	160
Sánchez Ramos, I.	128
Sánchez Rodríguez Morcillo, I.	150
Sancho Bru, J.L.	37, 43, 44, 46
Sancibrián Herrera, R.	57, 122
Sanjurjo Maroño, E.	61
Santamaría Manrique, J.	189
Santolaria Mazo, J.	137, 143, 144, 146
Sanz Achurra, I.	105
Sanz López, J.	198
Saura Sánchez, M.	60
Segade Robleda, A.	62
Serrano Cabedo, J.	36
Serván, J.	101
Sevilla Hurtado, L.	98
Siegmann, P.	148, 149
Sierra Velasco, J.M.	183
Simón Mata, A.	186, 188
Smith Fernández, V.M.	47
Soler Mallol, D.	147
Soriano Heras, E.	113
Suárez García, A.	191
Suárez Valiente, A.	40
Tabernero Campos, I.	86, 87, 88, 89



Travieso Rodríguez, J.A.	84, 85, 158
Tur Valiente, M.	45, 178
Ugalde Martínez, U.J.	92
Ugarte, D.	100
Ukar Arrien, E.	86, 87, 88, 89
Ulacia, I.	100, 121
Urbán, C.H.	186
Urbicain, G.	106
Urbina, C.	68
Urizar Arana, M.	56
Valdivia Calvo, F.	145
Vallejo, J.	114
Valles, B.	195
Vasco Olmo, J.M.	79, 130, 140
Vega Laiun, D.L.	40
Velasco Sánchez, E.	159, 181, 182
Velázquez Sancho, J.	67, 143
Vercher Martínez, A.	45, 75
Vergara, M.	36, 37, 43
Viadero Rueda, F.	57, 122
Vicéns Moltó, J.L.	71
Viesca Rodríguez, J.L.	173
Vila, P.	75
Vilán Vilán, J.A.	62, 191
Vinolas, J.	179
Yagüe Fabra, J.A.	67, 139
Yáñez Santana, A.	32, 40
Zamora Parra, B.	71
Zayas Figueras, E.	51
Zougari, A.	161



Asociación Española
de Ingeniería Mecánica

XIX Congreso Nacional
de Ingeniería Mecánica



Lista de Participantes

Mikel Abasolo (mikel.abasolo@ehu.es) Universidad del País Vasco
Armando Aguilar Marquez (armandoa@unam.mx) FESC Universidad Nacional Autónoma de México
Juan José Aguilar Martín (jaguilar@unizar.es) Universidad de Zaragoza
Josu Aguirrebeitia (josu.aguirrebeitia@ehu.es) Universidad del País Vasco
Miguel Aizpún Navarro (maizpun@ceit.es) Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Gipuzkoa
Joan Alcayde Orts (joan.alcayde@uji.es) Universitat Jaume I
Unai Alonso (unai.alonso@ehu.es) Universidad del País Vasco
Jezhabel Alonso González (jezhabelalonso@gmail.com) Universidad de Oviedo
Asier Alonso Pazos (aalonso@ceit.es) Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Gipuzkoa
Oscar Altuzarra Maestre (oscar.altuzarra@ehu.es) Universidad del País Vasco
Ricardo Mario Ame (ingricardoame@gmail.com) Universidad Nacional de Lomas de Zamora
Enrique Amezua San Martín (enrique.amezua@ehu.es) Universidad del País Vasco
Francisco Javier Andrés de La Esperanza (fandres@emc.uji.es) Universitat Jaume I
Jorge Angeles (angeles@cim.mcgill.ca) McGill University
Marta Arranz Domínguez (al121604@uji.es) Universitat Jaume I
Pedro José Arrazola Arriola (pjarrazola@mondragon.edu) Mondragon Goi Eskola Politeknikoa Jma S.Coop
Mikel Arsuaga Berrueta (mikel.arsuaga@ehu.es) Universidad del País Vasco
Mariano Artés Gómez (martes@ind.uned.es) Universidad Nacional de Educación a Distancia
David Avila Rubio (s.jimenez@ube.es) UBE Corporation Europe, S.A.
Pablo Ayala Santamaría (pablo.ayala@iit.upcomillas.es) Universidad Pontificia Comillas
Luis Baeza González (baeza@mcm.upv.es) Universidad Politécnica de Valencia
Miguel Balbás Antón (miguel.balbas@upm.es) Universidad Politécnica de Madrid
Javier Barandiaran Mancheño (barandiaranj@inta.es) Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
Carolina Bermudo Gamboa (bgamboa@uma.es) Universidad de Málaga
Carlos Borrás Pinilla (cborras@uis.edu.co) Universidad Industrial de Santander
Juan Antonio Cabrera Carrillo (jcabrera@uma.es) Universidad de Málaga
Amaia Calleja Ochoa (amaia_calleja@ehu.es) Universidad del País Vasco
José Antonio Calvo Ramos (jacalvo@ing.uc3m.es) Universidad Carlos III de Madrid

Inocente Cambero Rivero (icambero@unex.es) Universidad de Extremadura
Francisco Javier Campa Gómez (fran.campa@ehu.es) Universidad del País Vasco
Javier Canales Abaitua (javier.canales@ehu.es) Universidad del País Vasco
Salvador Cardona Foix (salvador.cardona@upc.edu) Universitat Politècnica de Catalunya
M ^a Teresa Carrascal Morillo (mcarrascal@ind.uned.es) Universidad Nacional de Educación a Distancia
Carlos Casqueiro Placer (ccasqueiro@tud.uvigo.es) Centro Universitario de la defensa -Escuela Naval Militar
Cristina Castejon Sisamon (castejon@ing.uc3m.es) Universidad Carlos III de Madrid
Juan Jesús Castillo Aguilar (juancas@uma.es) Universidad de Málaga
Pau Català Calderón (pau.catala@upc.edu) Universitat Politècnica de Catalunya
Francisco Cavas Martínez (francisco.cavas@upct.es) Universidad Politécnica de Cartagena
Antonio Cerrato Casado (antoniocerrato@us.es) Universidad de Sevilla
Enrique Chacón Tanarro (e.chacon@upm.es) Universidad Politécnica de Madrid
Jose Miguel Cid Cerrato (jmcid@sidilab.com) SIDILAB S.L.
Martí Comellas Andrés (mcomellas@diei.udl.cat) Universitat de Lleida
Nekane Correa García (nekane.correa@ehu.es) Universidad del País Vasco
Carlos Correa Guinea (carlos.correa@upm.es) Universidad Politécnica de Madrid
Javier Cuadrado Aranda (javicuad@cdf.udc.es) Universidad de La Coruña
Juan Ignacio Cuadrado Iglesias (jcuadrad@mcm.upv.es) Universidad Politécnica de Valencia
Eduardo de La Guerra Ochoa (e.delaguerra@upm.es) Universidad Politécnica de Madrid
M ^a Antonia de Los Santos López (tania.santos@upc.edu) Universitat Politècnica de Catalunya
José Díaz Álvarez (jodiaz@ing.uc3m.es) Universidad Carlos III de Madrid
Andrés Díaz Lantada (adiaz@etsii.upm.es) Universidad Politécnica de Madrid
Estitxu Díaz Tena (estibaliz_diaz@ehu.es) Universidad del País Vasco
José Enrique Díaz Vázquez (enrique.diaz@uca.es) Universidad de Cádiz
Jon Ander Esnaola Ramos (jaesnaola@mondragon.edu) Mondragon Goi Eskola Politeknikoa Jma S.Coop
Ekaitz Esteban (eesteban@ikerlan.es) IK4-IKERLAN
Luis Felipe Sesé (lfelipe@ujaen.es) Universidad de Jaén
Alfonso Fernández del Rincón (fernandra@unican.es) Universidad de Cantabria



Asier Fernández Valdivielso (asier.fernandezv@ehu.es) Universidad del País Vasco
Elena Ferran Bagan (s.jimenez@ube.es) UBE Chemical Europe, S.A.
Francesc Ferrando Piera (f.ferrando@urv.cat) Universitat Rovira i Virgili
Josep Maria Font Llagunes (josep.m.font@upc.edu) Universitat Politècnica de Catalunya
F. Javier Fuenmayor Fernández (ffuenmay@mcm.upv.es) Universidad Politécnica de Valencia
Marta Gallart Penalva (al259152@uji.es) Universitat Jaume I
Pablo García Fernández (garciafp@unican.es) Universidad de Cantabria
Eduardo García Gil (eduardojose.garcia@ehu.es) Universidad del País Vasco
Antonio Luis García González (tolino@gmail.com) Universidad de Málaga
César García Hernández (cesarg@unizar.es) Universidad de Zaragoza
Juan Carlos García Prada (jcgprada@ing.uc3m.es) Universidad Carlos III de Madrid
Ernesto García Vadillo (ernesto.garciavadillo@ehu.es) Universidad del País Vasco
Agustín García-Berrocal Sánchez (agustin.garciaberrocal@upm.es) Universidad Politécnica de Madrid
Antonio Giménez Fernández (agimfer@ual.es) Universidad de Almería
Eugenio Giner Maravilla (eginerm@mcm.upv.es) Universidad Politécnica de Valencia
Amaia Gomendio Ruiz (agomendio@mondragon.edu) Mondragon Goi Eskola Politeknikoa Jma S.Coop
María Jesús Gómez García (mjggarci@ing.uc3m.es) Universidad Carlos III de Madrid
Giovanni Gómez Gras (giovanni.gomez@upc.edu) Universitat Politècnica de Catalunya
Isabel González Farias (imgfaria@ing.uc3m.es) Universidad Carlos III de Madrid
Kudama Habib Ameen (razzaq@esid.uji.es) Universitat Jaume I
Antolin Hernández Battez (aehernandez@uniovi.es) Universidad de Oviedo
David Hernández Figueirido (hernandd@uji.es) Universitat Jaume I
Alfonso Hernández Frías (a.hernandez@ehu.es) Universidad del País Vasco
Aarón Herrera Martín (axherreramartin@gmail.com) Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
José María Herrera Olivenza (jherrera@unex.es) Universidad de Extremadura
José Luis Huertas Talón (jhuertas@unizar.es) CPIFP "Corona de Aragón"
José Luis Iserte Vilar (jiserte@uji.es) Universitat Jaume I
Néstor Jarque Bou (al095511@uji.es) Universitat Jaume I

Felipe Jimenez Alonso (felipe.jimenez@upm.es) Universidad Politécnica de Madrid
Lluïsa Jordi Nebot (lluïsa.jordi@upc.edu) Universitat Politècnica de Catalunya
Pilar Lafont Morgado (plafont@etsii.upm.es) Universidad Politécnica de Madrid
Roberto Lagunilla Sánchez (r.lagunilla.insia@gmail.com) Universidad Politécnica de Madrid
Aitzol Lamikiz Mentxaka (aitzol.lamikiz@ehu.es) Universidad del País Vasco
Jon Larrañaga Amilibia (jlarranaga@mondragon.edu) Mondragon Goi Eskola Politeknikoa Jma S.Coop
Roberto Lobato Gonzalez (roberto.lobato@ehu.es) Universidad del País Vasco
Elías López Alba (elalba@ujaen.es) Universidad de Jaén
Rafael Lopez Alvarez (rlopez@sidilab.com) SIDILAB S.L.
Luis Norberto López de Lacalle Marcaide (norberto.lzlacalle@ehu.es) Universidad del País Vasco
Rafael López Garcia (rlgarcia@ujaen.es) Universidad de Jaén
Arkaitz Lopez Jauregi (alopezj@mondragon.edu) Mondragon Goi Eskola Politeknikoa Jma S.Coop
Marcos López Lago (mllago@uvigo.es) Universidad de Vigo
Jesus Lopez Lopez (jlopez@ind.uned.es) Universidad Nacional de Educación a Distancia
José Gonzalo López López (jose.lopez24@graduado.umh.es) Universidad Miguel Hernández de Elche
Alberto Lopez Rosado (alopezro@nebrija.es) Universidad Nebrija
Pablo Lorenzino (pablolorenzino@gmail.com) Universidad de Sevilla
Miguel Angel Lorenzo Fernández (mlorenzo@usal.es) Universidad de Salamanca
Urbano Lugrís Armesto (ulugris@udc.es) Universidad de La Coruña
Ander Malbadi Cocho (ander.malbadi@gmail.com) Mondragon Goi Eskola Politeknikoa Jma S.Coop
Oscar Martel Fuentes (omartel@dim.ulpgc.es) Univ. Las Palmas de Gran Canaria
José Martínez Casas (jomarc12@mcm.upv.es) Universidad Politécnica de Valencia
Jordi Ramon Martínez Miralles (jmartinez.miralles@upc.edu) Universitat Politècnica de Catalunya
María Dolores Martínez Rodrigo (mrodrigo@emc.uji.es) Universitat Jaume I
Silvia Martínez Rodríguez (silvia.martinez@ehu.es) Universidad del País Vasco
Juana Mayo Nuñez (juana@us.es) Universidad de Sevilla
Jose Luis Menendez Cuñado (inscripcionesels@iat.es) Airbus Military
Laura Montero García (lamonter@ing.uc3m.es) Universidad Carlos III de Madrid

Marta Covadonga Mora Aguilar (mmora@emc.uji.es) Universitat Jaume I
Angel Luis Morales Robredo (angelluis.morales@uclm.es) Universidad de Castilla - La Mancha
Cristina Moriano Sanchez (cmoriano@nebrija.es) UNIVERSIDAD NEBRIJA
Belén Muñoz Abella (mmunoz@ing.uc3m.es) Universidad Carlos III de Madrid
Juan Manuel Muñoz Guijosa (jmguijosa@etsii.upm.es) Universidad Politécnica de Madrid
Amelia Nápoles Alberro (amelia.napoles@upc.edu) Universitat Politècnica de Catalunya
Fermín Navarro-Medina (fermin.navarro@upm.es) Universidad Politécnica de Madrid
Miguel Ángel Naya Villaverde (minaya@udc.es) Universidad de La Coruña
Antonio Javier Nieto Quijorna (antoniojavier.nieto@uclm.es) Universidad de Castilla-La Mancha
Álvaro Noriega González (noriegalvaro@uniovi.es) Universidad de Oviedo
Miguel Angel Oliva I Meyer (ma.oliva@umh.es) Universitat Miguel Hernández d'Elx
Aitor Oyanguren Garcia (aoyanguren@mondragon.edu) Mondragon Goi Eskola Politeknikoa Jma S.Coop
Rosa Pàmies (rosa.pamies@upc.edu) Universitat Politècnica de Catalunya
Ana María Pedrosa Sánchez (anpedsan@dimmm.upv.es) Universitat Politècnica de València
Juan Carlos Pérez Cerdán (juha@usal.es) Universidad de Salamanca
Jesús Ángel Pérez Fernández (jesus.perez.fernandez@upm.es) Universidad Politécnica de Madrid
Antonio Pérez González (aperez@emc.uji.es) Universitat Jaume I
Victor Petuya Arcocha (victor.petuya@ehu.es) Universidad del País Vasco
Publio Pintado Sanjuán (publio.pintado@uclm.es) Universidad de Castilla La Mancha
Charles Pinto Cámara (charles.pinto@ehu.es) Universidad del País Vasco
Leonardo Plaun (leonardo_plaun@yahoo.com.ar) Universidad Tecnológica Nacional-Buenos Aires
Maria Prado Novoa (maria.prado@uma.es) Universidad de Málaga
Luis Rodríguez de Tembleque Solano (luisroteso@us.es) Universidad de Sevilla
Adrián Rodríguez Ezquerro (adrian.rodriiguez@ehu.es) Universidad del País Vasco
Pablo Rodríguez Mateos (pablo.rodriiguez@unileon.es) Universidad de León
David Rodríguez Salgado (drs@unex.es) Universidad de Extremadura
Higinio Rubio Alonso (hrubio@ing.uc3m.es) Universidad Carlos III de Madrid
Patricia Rubio Herrero (prubio@ing.uc3m.es) Universidad Carlos III de Madrid

Lourdes Rubio Ruiz de Aguirre (lrubio@ing.uc3m.es) Universidad Carlos III de Madrid
Oscar Salgado (osalgado@ikerlan.es) IK4-IKERLAN
José Luis San Román García (jlsanro@ing.uc3m.es) Universidad Carlos III de Madrid
Antonio Sánchez Egea (sanchezegea.antonio@gmail.com) Universitat Politècnica de Catalunya
Miguel Sánchez Lozano (msanchez@umh.es) Universidad Miguel Hernández de Elche
Francisco Sánchez Marín (francisco.sanchez@emc.uji.es) Universitat Jaume I
Sofia Sánchez Mateo (sofiasm88@gmail.com) Universidad Miguel Hernández
Eva María Sánchez Orgaz (evsncor@upvnet.upv.es) Universidad Politécnica de Valencia
Ismael Sánchez Ramos (ismael.sanchezramos@mscsoftware.com) Universidad Politécnica de Madrid MSC Software
Joaquín L. Sancho Bru (sancho@emc.uji.es) Universitat Jaume I
Emilio Sanjurjo Maroño (emilio.sanjurjo@udc.es) Universidad de La Coruña
Jorge Santolaria Mazo (jsmazo@unizar.es) Universidad de Zaragoza
Javier Sanz López (javlop@cidaut.es) Fundación Cidaut (Centro de investigación en transporte y energía)
Paul Sas (paul.sas@mech.kuleuven.be) KU Leuven
Mariano Saura Sánchez (msaura.sanchez@upct.es) Universidad Politécnica de Cartagena
Francisco Javier Servan Blanco (javier.servan@military.airbus.com) Airbus Military
Antonio Simón Mata (mata@uma.es) Universidad de Málaga
Dani Soler (dsoler@mondragon.edu) Mondragon Goi Eskola Politeknikoa Jma S.Coop
Enrique Soriano Heras (esoriano@ing.uc3m.es) Universidad Carlos III de Madrid
Carlos Toledo Rey (carlos.toledo@cdti.es) CDTI-MINECO
Manuel Tur Valiente (matuva@mcm.upv.es) Universitat Politècnica de València
Francisco Valdivia Calvo (fvaldiviaf@gmail.com) CPIFP "Corona de Aragón"
José Manuel Vasco Olmo (jvasco@ujaen.es) Universidad de Jaén
Iñaki Veci Barrero (inaki.veci@gmail.com) Mondragon Goi Eskola Politeknikoa Jma S.Coop
Emilio Velasco Sánchez (emilio.velasco@umh.es) Universidad Miguel Hernández de Elche
Margarita Vergara Monedero (vergara@emc.uji.es) Universitat Jaume I
Fernando Viadero Rueda (viaderof@unican.es) Universidad de Cantabria



José Luis Vicéns Moltó (agricol@msn.com)
Universidad Politécnica de Cartagena
José Luis Viesca Rodríguez (viescajose@uniovi.es)
Universidad de Oviedo
Carlos Vila Pastor (carlos.vila@esid.uji.es)
Universitat Jaume I
Jordi Viñolas Prat (jvinolas@ceit.es)
Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Gipuzkoa
José Antonio Yagüe Fabra (jyague@unizar.es)
Universidad de Zaragoza
Alejandro Yáñez Santana, Alejandro (myanez@dim.ulpgc.es)
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Blas Zamora Parra (blas.zamora@upct.es)
Universidad Politécnica de Cartagena
