

ACTAS

DE LAS

XXXVIII Jornadas de Automática

Gijón · Palacio de Congresos · 6, 7 y 8 de Septiembre de 2017



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo



CEA
*Comité Español
de Automática*

Colabora

Gijón

Convention Bureau

Actas de

XXXVIII

Jornadas de Automática

© 2017 Universidad de Oviedo
© Los autores

Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo
Campus de Humanidades. Edificio de Servicios. 33011 Oviedo (Asturias)
Tel. 985 10 95 03 Fax 985 10 95 07
[http: www.uniovi.es/publicaciones](http://www.uniovi.es/publicaciones)
servipub@uniovi.es

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

Todos los derechos reservados. De conformidad con lo dispuesto en la legislación vigente, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes reproduzcan o plagien, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, fijada en cualquier tipo y soporte, sin la preceptiva autorización.

Prefacio

Las *Jornadas de Automática* se celebran desde hace **40 años** en una universidad nacional facilitando el encuentro entre expertos en esta área en un foro que permite la puesta en común de las nuevas ideas y proyectos en desarrollo. Al mismo tiempo, propician la siempre necesaria colaboración entre investigadores del ámbito de la Ingeniería de Control y Automática, así como de campos afines, a la hora de abordar complejos proyectos de investigación multidisciplinares.

En esta ocasión, las Jornadas estarán organizadas por la Universidad de Oviedo y se han celebrado del 6 al 8 de septiembre de 2017 en el Palacio de Congresos de Gijón, colaborando tanto la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón (EPI) como el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica de Computadores y de Sistemas del que depende el Área de Ingeniería de Sistemas y Automática.

Además de las habituales actividades científicas y culturales, esta edición es muy especial al celebrarse el **50 aniversario de la creación de CEA**, Comité Español de Automática. Igualmente este año se conmemora el 60 aniversario de la Federación Internacional del Control Automático de la que depende CEA. Así se ha llevado a cabo la presentación del libro que se ha realizado bajo la coordinación de D. Sebastián Dormido, sobre la historia de la Automática en España en una sesión en la que han participado todos los ex-presidentes de CEA conjuntamente con el actual, D. Joseba Quevedo.

Igualmente hemos contado con la presencia de conferenciantes de prestigio para las sesiones plenarias, comunicaciones y ponencias orales en las reuniones de los 9 grupos temáticos, contribuciones en formato póster. Se ha celebrado también el concurso de CEABOT, así como una nueva Competición de Drones, con el ánimo de involucrar a más estudiantes de últimos cursos de Grado/Máster.

En el marco de las actividades culturales programadas se ha podido efectuar un recorrido en el casco antiguo situado en torno al Cerro de Santa Catalina y visitar la Laboral.

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López
Presidente del Comité Organizador

Program Committee

Antonio Agudo	Institut de Robòtica i Informàtica Industrial
Rosa M Aguilar	University of La Laguna.
Luciano Alonso	University of Cantabria
Ignacio Álvarez García	Universidad de Oviedo
Antonio Javier Artuñedo García	Centre for Automation and Robotics (CSIC-UPM)
José M. Azorín	Miguel Hernandez University of Elche
Pedro Balaguer	Universitat Jaume I
Antonio Javier Barragán Piña	Universidad de Huelva
Alfonso Baños	Universidad de Murcia
Guillermo Bejarano	University of Seville
Gerardo Beruvides	Centro de Automática y Robótica
Carlos Bordons	University of Seville
Jose Manuel Bravo	University of Huelva
Jose Luis Calvo-Rolle	University of A Coruña
Fernando Castaño Romero	Centro de Automática y Robótica (UPM -CSIC)
José Luis Casteleiro-Roca	University of Coruña
Alvaro Castro-Gonzalez	Universidad Carlos III de Madrid
Ramon Costa-Castelló	Universitat Politècnica de Catalunya
Abel A. Cuadrado	University of Oviedo
Arturo De La Escalera	Universidad Carlos III de Madrid
Emma Delgado	Universidad de Vigo
Jose-Luis Diez	Universitat Politecnica de Valencia
Manuel Domínguez	Universidad de León
Juan Manuel Escaño	Universidad de Sevilla
Mario Francisco	University of Salamanca
Maria Jesus Fuente	Universidad de Valladolid
Juan Garrido	Universtiy of Cordoba
Antonio Giménez	Universidad de Almeria
Evelio Gonzalez	Universidad de La Laguna
José-Luis Guzmán	Universidad de Almería
Rodolfo Haber	Center for Automation and Robotics (UPM-CSIC)
César Ernesto Hernández	Universidad de Almería
Eloy Irigoyen	UPV/EHU
Agustin Jimenez	Universidad PolitÁcnica de Madrid
Emilio Jiménez	University of La Rioja
Jesus Lozano	Universidad de Extremadura
Jorge Luis Madrid	Centro de Automática y Robótica
Luis Magdalena	Universidad Politécnica de Madrid
David Martin Gomez	Universidad Carlos III de Madrid
Fernando Matia	Universidad Politecnica de Madrid
Joaquim Melendez	Universitat de Girona
Juan Mendez	Universidad de La Laguna
Luis Moreno	Universidad Carlos III de Madrid
María Dolores Moreno Rabel	Universidad de Extremadura
David Muñoz	Universidad de Sevilla
Antonio José Muñoz-Ramirez	Universidad de Málaga
Jose Luis Navarro	Universidad Politecnica de Valencia
Manuel G. Ortega	University of Seville
Andrzej Pawlowski	UNED
Mercedes Perez de La Parte	University of La Rioja
Ignacio Peñarrocha	Universitat Jaume I de Castelló, Spain
José Luis Pitarch	Universidad de Valladolid

Daniel Pérez	University of Oviedo
Emilio Pérez	Universitat Jaume I
Juan Pérez Oria	Universidad de Cantabria
MiguelÁngel Ridao	Universidad de Sevilla
Gregorio Sainz-Palmero	Universidad de Valladolid
Antonio Sala	Universitat Politecnica de Valencia
Ester Sales-Setién	Universitat Jaume I
Jose Sanchez	UNED
Javier Sanchis Saez	Universitat Politecnica de Valencia (UPV)
José Pedro Santos	ITEFI-CSIC
Matilde Santos	Universidad Complutense de Madrid
Alvaro Serna	University of Valladolid
José Enrique Simó	Universidad Politécnica de Valencia
José A. Somolinos	ETS I Navales. Universidad Politecnica de Madrid
Fernando Tadeo	Univ. of Valladolid
Alejandro Tapia	Universidad de Loyola Andalucía
David Tena	Universitat Jaume I
Jesús Torres	Universidad de La Laguna
Pedro M. Vallejo	Universidad de Salamanca
Guilherme Vianna	Universidad de Sevilla
Alejandro Vignoni	AI2 - UPV
Ramón Vilanova	UAB
Francisco Vázquez	Universidad de Cordoba
Jesús M. Zamarreño	University of Valladolid

Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

Balbastre, Patricia
Beltrán de La Cita, Jorge
Bermudez-Cameo, Jesus
Blanco-Claraco, Jose-Luis
Blanes, Francisco
Bonin-Font, Francisco

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

Garita, Cesar
Gimenez, Antonio
Gruber, Patrick
Guindel, Carlos

Hernandez Ruiz, Alejandro
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

Marin, Raul
Marín Plaza, Pablo
Mañanas, Miguel Angel
Morales, Rafael
Moreno, Francisco-Angel

Núñez, Luis Ramón

Ponz Vila, Aurelio
Posadas-Yague, Juan-Luis
Poza-Luján, Jose-Luis
Pumarola, Albert

Raya, Rafael
Revestido Herrero, Elías
Rocon, Eduardo
Ruiz Sarmiento, José Raúl
Ruiz, Adria

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor

Table of Contents

Ingeniería de Control	
<hr/>	
TÚNEL DE AGUA PARA PRUEBAS Y CARACTERIZACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES DE TURBINAS HIDROCINÉTICAS	1
<i>Eduardo Alvarez, Manuel Rico-Secades, Antonio Javier Calleja Rodríguez, Joaquín Fernández Francos, Aitor Fernández Jiménez, Mario Alvarez Fernández and Samuel Camba Fernández</i>	
Reduction of population variability in protein expression: A control engineering approach.	8
<i>Yadira Boada, Alejandro Vignoni and Jesús Picó</i>	
CONTROL ROBUSTO DEL PH EN FOTOBIOREACTORES MEDIANTE RECHAZO ACTIVO DE PERTURBACIONES	16
<i>José Carreño, Jose Luis Guzman, José Carlos Moreno and Rodolfo Villamizar</i>	
Control reset para maniobra de cambio de carril y validación con CarSim	23
<i>Miguel Cerdeira, Pablo Falcón, Antonio Barreiro, Emma Delgado and Miguel Díaz-Cacho</i>	
Maniobra de aterrizaje automática de una Cessna 172P modelada en FlightGear y controlada desde un programa en C	31
<i>Mario de La Rosa, Antonio Javier Gallego and Eduardo Fernández</i>	
Alternativas para el control de la red eléctrica aislada en parques eólicos marinos	38
<i>Carlos Díaz-Sanahuja, Ignacio Peñarrocha, Ricardo Vidal-Albalade and Ester Sales-Setién</i>	
CONTROL PREDICTIVO DISTRIBUIDO UTILIZANDO MODELOS DIFUSOS PARA LA NEGOCIACIÓN ENTRE AGENTES	46
<i>Lucía Fargallo, Silvana Roxani Revollar Chavez, Mario Francisco, Pastora Vega and Antonio Cembellín</i>	
Control Predictivo en el espacio de estados de un captador solar tipo Fresnel	54
<i>Antonio Javier Gallego, Mario de La Rosa and Eduardo Fernández</i>	
Control predictivo para la operación eficiente de una planta formada por un sistema de desalación solar y un invernadero	62
<i>Juan Diego Gil Vergel, Lidia Roca, Manuel Berenguel, Alba Ruiz Aguirre, Guillermo Zaragoza and Antonio Giménez</i>	
Depuración de Aguas Residuales en la Industria 4.0	70
<i>Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel, Ana María Jiménez Arévalo, Laura Eiroa Mateo and Fco. Javier Fernández-De-Cañete-Rodríguez</i>	
Control robusto con QFT del pH en un fotobioreactor raceway	77
<i>Ángeles Hoyo Sánchez, Jose Luis Guzman, Jose Carlos Moreno and Manuel Berenguel</i>	
Revisión sistemática de la literatura en ingeniería de sistemas. Caso práctico: técnicas de estimación distribuida de sistemas ciberfísicos	84
<i>Carmelina Ierardi, Luis Orihuela Espina, Isabel Jurado Flores, Álvaro Rodríguez Del Nozal and Alejandro Tapia Córdoba</i>	
Desarrollo de un Controlador Predictivo para Autómatas programables basado en la normativa IEC 61131-3	92
<i>Pablo Krupa, Daniel Limon and Teodoro Alamo</i>	
Diseño de un emulador de aerogenerador de velocidad variable DFIG y control de pitch ...	100
<i>Manuel Lara Ortiz, Juan Garrido Jurado and Francisco Vázquez Serrano</i>	

Observación de la fracción de agua líquida en pilas de combustible tipo PEM de cátodo abierto.....	108
<i>Julio Luna and Ramon Costa-Castelló</i>	
Control Predictivo Basado en Datos.....	115
<i>José María Manzano, Daniel Limón, Teodoro Álamo and Jan Peter Calliess</i>	
Control MPC basado en un modelo LTV para seguimiento de trayectoria con estabilidad garantizada.....	122
<i>Sara Mata, Asier Zubizarreta, Ione Nieva, Itziar Cabanes and Charles Pinto</i>	
Implementación y evaluación de controladores basados en eventos en la norma IEC-61499.	130
<i>Oscar Miguel-Escrig, Julio-Ariel Romero-Pérez and Esteban Querol-Dolz</i>	
AUTOMATIZACIÓN Y MONITORIZACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE ENSAYO DE MOTORES.....	138
<i>Alfonso Poncela Méndez, Miguel Ochoa Vega, Eduardo J. Moya de La Torre and F. Javier García Ruíz</i>	
OPTIMIZACIÓN Y CONTROL EN CASCADA DE TEMPERATURA DE RECINTO MEDIANTE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	146
<i>David Rodríguez, José Enrique Alonso Alfaya, Guillermo Bejarano Pellicer and Manuel G. Ortega</i>	
Diseño LQ e implementación distribuida para la estimación de estado.....	154
<i>Álvaro Rodríguez Del Nozal, Luis Orihuela, Pablo Millán Gata, Carmelina Ierardi and Alejandro Tapia Córdoba</i>	
Estimación de fugas en un sistema industrial real mediante modelado por señales aditivas.	160
<i>Ester Sales-Setién, Ignacio Peñarrocha and David Tena</i>	
Advanced control based on MPC ideas for offshore hydrogen production.....	167
<i>Alvaro Serna, Fernando Tadeo and Julio. E Normey-Rico</i>	
Transfer function parameters estimation by symmetric send-on-delta sampling.....	174
<i>José Sánchez, María Guinaldo, Sebastián Dormido and Antonio Visioli</i>	
An Estimation Approach for Process Control based on Asymmetric Oscillations.....	181
<i>José Sánchez, María Guinaldo Losada, Sebastian Dormido, José Luis Fernández Marrón and Antonio Visioli</i>	
Robust PI controller for disturbance attenuation and its application for voltage regulation in islanded microgrid.....	189
<i>Ramon Vilanova, Carles Pedret and Orlando Arrieta</i>	
Infraestructura para explotación de datos de un simulador azucarero.....	197
<i>Jesús M. Zamarreño, Cristian Pablos, Alejandro Merino, L. Felipe Acebes and De Prada César</i>	
<hr/>	
Automar	
<hr/>	
INFRAESTRUCTURA PARA ESTUDIAR ADAPTABILIDAD Y TRANSPARENCIA EN EL CENTRO DE CONTROL VERSÁTIL.....	203
<i>Juan Antonio Bonache Seco, José Antonio Lopez Orozco, Eva Besada Portas and Jesús Manuel de La Cruz</i>	
ARQUITECTURA DE CONTROL HÍBRIDA PARA LA NAVEGACIÓN DE VEHÍCULOS SUBMARINOS NO TRIPULADOS.....	211
<i>Francisco J. Lastra, Jesús A. Trujillo, Francisco J. Velasco and Elías Revestido</i>	

Exploración y Reconstrucción 3D de Fondos Marinos Mediante AUVs y Sensores Acústicos	218
<i>Oscar L. Manrique Garcia, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos</i>	
AUTOMATIZACIÓN DE MANIOBRAS PARA UN TEC DE 2GdL	226
<i>Marina Pérez de La Portilla, José Andrés Somolinos Sánchez, Amable López Piñeiro, Rafael Morales Herrera and Eva Segura</i>	
MERBOTS PROJECT: OVERALL DESCRIPTION, MULTISENSORY AUTONOMOUS PERCEPTION AND GRASPING FOR UNDERWATER ROBOTICS INTERVENTIONS	232
<i>Pedro J. Sanz, Raul Marin, Antonio Peñalver, David Fornas and Diego Centelles</i>	
<hr/> Bioingeniería <hr/>	
MARCADORES CUADRADOS Y DEFORMACIÓN DE OBJETOS EN NAVEGACIÓN QUIRÚRGICA CON REALIDAD AUMENTADA	238
<i>Eliana Aguilar, Oscar Andres Vivas and Jose Maria Sabater-Navarro</i>	
Entrenamiento robótico de la marcha en pacientes con Parálisis Cerebral: definición de objetivos, propuesta de tratamiento e implementación clínica preliminar	244
<i>Cristina Bayón, Teresa Martín-Lorenzo, Beatriz Moral-Saiz, Óscar Ramírez, Álvaro Pérez-Somarriba, Sergio Lerma-Lara, Ignacio Martínez and Eduardo Rocon</i>	
PREDICCIÓN DE ACTIVIDADES DE LA VIDA DIARIA EN ENTORNOS INTELIGENTES PARA PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA	251
<i>Arturo Bertomeu-Motos, Santiago Ezquerro, Juan Antonio Barios, Luis Daniel Lledó, Francisco Javier Badesa and Nicolas Garcia-Aracil</i>	
Sistema de Visión Estereoscópico para el guiado de un Robot Quirúrgico en Operaciones de Cirugía Laparoscópica HALS.....	256
<i>Carlos Castedo Hernández, Rafael Estop Remacha, Eusebio de La Fuente López and Lidia Santos Del Blanco</i>	
Head movement assessment of cerebral palsy users with severe motor disorders when they control a computer thought eye movements.....	264
<i>Alejandro Clemotte, Miguel A. Velasco and Eduardo Rocon</i>	
Diseño de un sensor óptico de fuerza para exoesqueletos de mano.....	270
<i>Jorge Diez Pomares, Andrea Blanco Ivorra, José María Catalan Orts, Francisco Javier Badesa Clemente, José María Sabater and Nicolas Garcia Aracil</i>	
POSIBILIDADES DEL USO DE TRAMAS ARTIFICIALES DE IMAGEN MOTORA PARA UN BCI BASADO EN EEG	276
<i>Josep Dinarès-Ferran, Christoph Guger and Jordi Solé-Casals</i>	
EFFECTOS SOBRE LA ERD EN TAREAS DE CONTROL DE EXOESQUELETO DE MANO EMPLEANDO BCI.....	282
<i>Santiago Ezquerro, Juan Antonio Barios, Arturo Bertomeu-Motos, Luisa Lorente, Nuria Requena, Irene Delegido, Francisco Javier Badesa and Nicolas Garcia-Aracil</i>	
Formulación Topológica Adaptada para la Simulación y Control de Exoesqueletos Accionados con Transmisiones Harmonic Drive.....	288
<i>Andres Hidalgo Romero and Eduardo Rocon</i>	

Identificación de contracciones isométricas de la extremidad superior en pacientes con lesión medular incompleta mediante características espectrales de la electromiografía de alta densidad (HD-EMG)	296
<i>Mislav Jordanic, Mónica Rojas-Martínez, Joan Francesc Alonso, Carolina Migliorelli and Miguel Ángel Mañanas</i>	
Diseño de una plataforma para analizar el efecto de la estimulación mecánica aferente en el temblor de pacientes con temblor esencial	302
<i>Julio S. Lora, Roberto López, Jesús González de La Aleja and Eduardo Rocon</i>	
DEFINICIÓN DE UN PROTOCOLO PARA LA MEDIDA PRECISA DEL RANGO CERVICAL EMPLEANDO TECNOLOGÍA INERCIAL	308
<i>Álvaro Martín, Rafael Raya, Cristina Sánchez, Rodrigo Garcia-Carmona, Oscar Ramirez and Abraham Otero</i>	
SISTEMA BRAIN-COMPUTER INTEFACE DE NAVEGACIÓN WEB ORIENTADO A PERSONAS CON GRAVE DISCAPACIDAD.....	313
<i>Víctor Martínez-Cagigal, Javier Gómez-Pilar, Daniel Álvarez, Eduardo Santamaría-Vázquez and Roberto Hornero</i>	
ESTRATEGIAS DE NEUROESTIMULACIÓN TRANSCRANEAL POR CORRIENTE DIRECTA PARA MEJORA COGNITIVA	320
<i>Silvia Moreno Serrano, Mario Ortiz and José María Azorín Poveda</i>	
COMPARATIVA DE ALGORITMOS PARA LA DETECCIÓN ONLINE DE IMAGINACIÓN MOTORA DE LA MARCHA BASADO EN SEÑALES DE EEG	328
<i>Marisol Rodriguez-Ugarte, Irma Nayeli Angulo Sherman, Eduardo Iáñez and Jose M. Azorin</i>	
DETECCIÓN, MEDIANTE UN GUANTE SENSORIZADO, DE MOVIMIENTOS SELECCIONADOS EN UN SISTEMA ROBOTIZADO COLABORATIVO PARA HALS	334
<i>Lidia Santos, José Luis González, Eusebio de La Fuente, Juan Carlos Fraile and Javier Pérez Turiel</i>	
BIOSENSORES PARA CONTROL Y SEGUIMIENTO PATOLOGÍAS REUMATOIDES	340
<i>Amparo Tirado, Raúl Marín, José V Martí, Miguel Belmonte and Pedro Sanz</i>	
Assessment of tremor severity in patients with essential tremor using smartwatches	347
<i>Miguel A. Velasco, Roberto López-Blanco, Juan P. Romero, M. Dolores Del Castillo, J. Ignacio Serrano, Julián Benito-León and Eduardo Rocon</i>	
INTERFAZ CEREBRO-ORDENADOR PARA EL CONTROL DE UNA SILLA DE RUEDAS A TRAVÉS DE DOS PARADIGMAS DE NAVEGACIÓN	353
<i>Fernández-Rodríguez Álvaro, Velasco-Álvarez Francisco and Ricardo Ron-Angevin</i>	
<hr/> Control Inteligente <hr/>	
Aprendizaje por Refuerzo para sistemas lineales discretos con dinámica desconocida: Simulación y Aplicación a un Sistema Electromecánico	360
<i>Henry Diaz, Antonio Sala and Leopoldo Armesto</i>	
Diseño de sistemas de control en cascada clásico y borroso para el seguimiento de trayectorias	368
<i>Javier G. Gonzalez, Rodolfo Haber, Fernando Matia and Marcelino Novo</i>	

ANÁLISIS FORMAL DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS NO LINEALES MEDIANTE REDES NEURONALES.....	376
<i>Eloy Irigoyen, Mikel Larrea, A. Javier Barragán, Miguel Ángel Martínez and José Manuel Andújar</i>	
Predicción de la energía renovable proveniente del oleaje en las islas de Fuerteventura y Lanzarote.	384
<i>G.Nicolás Marichal, Deivis Avila, Ángela Hernández, Isidro Padrón and José Ángel Rodríguez</i>	
Aplicación de Redes Neuronales para la Estimación de la Resistencia al Avance en Buques	393
<i>Daniel Marón Blanco and Matilde Santos</i>	
Novel Fuzzy Torque Vectoring Controller for Electric Vehicles with per-wheel Motors	401
<i>Alberto Parra, Martín Dendaluze, Asier Zubizarreta and Joshué Pérez</i>	
REPOSTAJE EN TIERRA DE UN AVIÓN MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS .	408
<i>Elías Plaza and Matilde Santos</i>	
VISUALIZACIÓN WEB INTERACTIVA PARA EL ANÁLISIS DEL CHATTER EN LAMINACIÓN EN FRÍO	416
<i>Daniel Pérez López, Abel Alberto Cuadrado Vega and Ignacio Díaz Blanco</i>	
BANCADA PARA ANÁLISIS INTELIGENTE DE DATOS EN MONITORIZACIÓN DE SALUD ESTRUCTURAL.....	424
<i>Daniel Pérez López, Diego García Pérez, Ignacio Díaz Blanco and Abel Alberto Cuadrado Vega</i>	
CONTROL DE UN VEHÍCULO CUATRIRROTOR BASADO EN REDES NEURONALES.....	431
<i>Jesus Enrique Sierra and Matilde Santos</i>	
CONTROL PREDICTIVO FUZZY CON APLICACIÓN A LA DEPURACIÓN BIOLÓGICA DE FANGOS ACTIVADOS.....	437
<i>Pedro M. Vallejo Llamas and Pastora Vega Cruz</i>	
<hr/>	
Educación en Automática	
REFLEXIONES SOBRE EL VALOR DOCENTE DE UNA COMPETICION DE DRONES EN LA EDUCACIÓN PARA EL CONTROL	445
<i>Ignacio Díaz Blanco, Alvaro Escanciano Urigüen, Antonio Robles Alvarez and Hilario López García</i>	
Uso del Haptic Paddle con aprendizaje basado en proyectos	451
<i>Juan M. Gandarias, Antonio José Muñoz-Ramírez and Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel</i>	
REPRESENTACION INTEGRADA DE ACCIONAMIENTOS MECANICOS Y CONTROL DE EJES ORIENTADA A LA COMUNICACIÓN Y DOCENCIA EN MECATRONICA	457
<i>Julio Garrido Campos, David Santos Esterán, Juan Sáez López and José Ignacio Armesto Quiroga</i>	
Construcción y modelado de un prototipo fan & plate para prácticas de control automático	465
<i>Cristina Lampon, Javier Martin, Ramon Costa-Castelló and Muppaneni Lokesh Chowdary</i>	

EDUCACION EN AUTOMATICA E INDUSTRIA 4.0 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS 3D	471
<i>Jose Ramon Llata, Esther Gonzalez-Sarabia, Carlos Torre-Ferrero and Ramon Sancibrian</i>	
Desarrollo e implementación de un sistema de control en una planta piloto hibrida.....	479
<i>Maria P. Marcos, Cesar de Prada and Jose Luis Pitarch</i>	
LA INFORMÁTICA INDUSTRIAL EN LAS INGENIERÍAS INDUSTRIALES	486
<i>Rogelio Mazaeda, Eusebio de La Fuente López, José Luis González, Eduardo J. Moya de La Torre, Miguel Angel García Blanco, Javier García Ruiz, María Jesús de La Fuente Aparicio, Gregorio Sainz Palmero and Smaranda Cristea</i>	
Ventajas docentes de un flotador magnético para la experimentación de técnicas control ..	495
<i>Eduardo Montijano, Carlos Bernal, Carlos Sagües, Antonio Bono and Jesús Sergio Artal</i>	
PROGRAMACIÓN ATRACTIVA DE PLC	502
<i>Eduardo J. Moya de La Torre, F. Javier García Ruíz, Alfonso Poncela Méndez and Victor Barrio Lángara</i>	
MODERNIZACIÓN DE EQUIPO FEEDBACK MS-150 PARA EL APRENDIZAJE ACTIVO EN INGENIERÍA DE CONTROL	510
<i>Perfecto Reguera Acevedo, Miguel Ángel Prada Medrano, Antonio Morán Álvarez, Juan José Fuertes Martínez, Manuel Domínguez González and Serafín Alonso Castro</i>	
INNOVACIÓN PEDAGÓGICA EN LA FORMACIÓN DEL PERFIL PROFESIONAL PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL A TRAVÉS DE UNA APROXIMACIÓN HOLÍSTICA.	517
<i>Juan Carlos Ríos, Zaneta Babel, Daniel Martínez, José María Paredes, Luis Alonso, Pablo Hernández, Alejandro García, David Álvarez, Jorge Miranda, Constantino Manuel Valdés and Jesús Alonso</i>	
Aprendiendo Simulación de Eventos Discretos con JaamSim	522
<i>Enrique Teruel and Rosario Aragüés</i>	
RED NEURONAL AUTORREGRESIVA NO LINEAL CON ENTRADAS EXÓGENAS PARA LA PREDICCIÓN DEL ELECTROENCEFALOGRAMA FETAL...	528
<i>Rosa M Aguilar, Jesús Torres and Carlos Martín</i>	
ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MATERIA EN REACTORES RACEWAYS.....	534
<i>Marta Barceló, Jose Luis Guzman, Francisco Gabriel Acién, Ismael Martín and Jorge Antonio Sánchez</i>	
MODELADO DINÁMICO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE FRÍO VINCULADO A UN CICLO DE REFRIGERACIÓN	539
<i>Guillermo Bejarano Pellicer, José Joaquín Suffo, Manuel Vargas and Manuel G. Ortega</i>	
Predictor Intervalar basado en hiperplano soporte	547
<i>José Manuel Bravo Caro, Manuel Vasallo Vázquez, Emilian Cojocarú and Teodoro Alamo Cantarero</i>	
Dynamic simulation applied to refinery hydrogen networks	555
<i>Anibal Galan Prado, Cesar De Prada, Gloria Gutierrez, Rafael Gonzalez and Daniel Sarabia</i>	

APROXIMACIÓN DE MODELOS ALGEBRAICOS MEDIANTE ALAMO Y ECOSIMPRO	563
<i>Carlos Gómez Palacín, José Luis Pitarch, Gloria Gutiérrez and Cesar De Prada</i>	
A Causal Model to Analyze Aircraft Collision Avoidance Deadlock Scenarios	569
<i>Miquel Àngel Piera Eroles, Julia de Homdedeu, Maria Del Mar Tous, Thimjo Koca and Marko Radanovic</i>	
ONLINE DECISION SUPPORT FOR AN EVAPORATION NETWORK	575
<i>José Luis Pitarch, Marc Kalliski, Carlos Gómez Palacín, Christian Jasch and Cesar De Prada</i>	
Predicción de la irradiancia a partir de datos de satélite mediante deep learning	582
<i>Javier Pérez, Jorge Segarra-Tamarit, Hector Beltran, Carlos Ariño, José Carlos Alfonso Gil, Aleks Attanasio and Emilio Pérez</i>	
MODELO DINÁMICO ORIENTADO AL TRATAMIENTO Y SEGUIMIENTO DE LA LEUCEMIA MIELOIDE CRÓNICA	589
<i>Gabriel Pérez Rodríguez and Fernando Morilla</i>	
Modelado y optimización de la operación de un sistema de bombeo de múltiples depósitos	596
<i>Roberto Sanchis Llopis and Ignacio Peñarrocha</i>	
DEVELOPMENT OF A GREY MODEL FOR A MEDIUM DENSITY FIBREBOARD DRYER IN ECOSIMPRO	604
<i>Pedro Santos, Jose Luis Pitarch and César de Prada</i>	
DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE FALLOS MEDIANTE MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LAS FECHAS DE LIMPIEZA PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS	611
<i>Jorge Segarra-Tamarit, Emilio Pérez, Hector Beltran, Enrique Belenguer and José Luis Gandía</i>	
Modelado de micro-central hidráulica para el diseño de controladores con aplicación en regiones aisladas de Honduras	618
<i>Alejandro Tapia Córdoba, Pablo Millán Gata, Fabio Gómez-Estern Aguilar, Carmelina Ierardi and Álvaro Rodríguez Del Nozal</i>	
FRAMEWORK PARA EL MODELADO DE UN LAGO DE DATOS	626
<i>J.M Torres, R.M. Aguilar, C.A. Martin and S. Diaz</i>	
SIMULADOR CARDIOVASCULAR PARA ENSAYO DE ROBOTS DE NAVEGACION AUTONOMA	633
<i>José Emilio Traver, Juan Francisco Ortega Morán, Ines Tejado, J. Blas Pagador, Fei Sun, Raquel Pérez-Aloe, Blas M. Vinagre and F. Miguel Sánchez Margallo</i>	
PLANIFICACION DE LA PRODUCCION BASADA EN CONTROL PREDICTIVO PARA PLANTAS TERMOSOLARES	641
<i>Manuel Jesús Vasallo Vázquez, José Manuel Bravo Caro, Emilian Cojocarú and Manuel Emilio Gegundez Arias</i>	
Evaluación multicriterio para la optimización de redes de energía	649
<i>Ascensión Zafra Cabeza, Rafael Espinosa, Miguel Àngel Ridao Carlini and Carlos Bordóns Alba</i>	
Percibiendo el entorno en los robots sociales del RoboticsLab	657
<i>Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo Montoya, Àlvaro Castro-Gonzalez, Juan José Gamboa, Marcos Maroto Gómez, Sara Marqués Villaroya, Antonio J. Pérez Vidal and Miguel Àngel Salichs</i>	

DISEÑO DE UNA PRÓTESIS DE MANO ADAPTABLE AL CRECIMIENTO	664
<i>Marta Ayats and Raul Suarez</i>	
COOPERATIVISMO BIOINSPIRADO BASADO EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS HORMIGAS	672
<i>Brayan Bermudez, Kristel Novoa and Miguel Valbuena</i>	
PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN EXOESQUELETO DE MIEMBRO SUPERIOR PARA SOPORTE DE CARGAS	680
<i>Andrea Blanco Ivorra, Jorge Diez Pomares, David Lopez Perez, Francisco Javier Badesa Clemente, Miguel Ignacio Sanchez and Nicolas Garcia Aracil</i>	
Estructura de control en ROS y modos de marcha basados en máquinas de estados de un robot hexápodo	686
<i>Raúl Cebolla Arroyo, Jorge De Leon Rivas and Antonio Barrientos</i>	
USING AN UAV TO GUIDE THE TELEOPERATION OF A MOBILE MANIPULATOR	694
<i>Josep Arnau Claret and Luis Basañez</i>	
Estudio de los patrones de marcha para un robot hexápodo en tareas de búsqueda y rescate	701
<i>Jorge De León Rivas and Antonio Barrientos</i>	
SISTEMA DE INTERACCIÓN VISUAL PARA UN ROBOT SOCIAL	709
<i>Mario Domínguez López, Eduardo Zalama Casanova, Jaime Gómez García-Bermejo and Samuel Marcos Pablos</i>	
Mejora del Comportamiento Proxémico de un Robot Autónomo mediante Motores de Inteligencia Artificial Desarrollados para Plataformas de Videojuegos	717
<i>David Fernández Chaves, Javier Monroy and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	
Micrófonos de contacto: una alternativa para sensado táctil en robots sociales	724
<i>Juan José Gamboa, Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo, Marcos Maroto Gómez and Miguel A. Salichs</i>	
Clasificación de información táctil para la detección de personas	732
<i>Juan M. Gandarias, Jesús M. Gómez-De-Gabriel and Alfonso García-Cerezo</i>	
Planificación para interceptación de objetivos: Integración del Método Fast Marching y Risk-RRT	738
<i>David Alfredo Garzon Ramos, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos</i>	
ESTABILIZACIÓN DE UNA BOLA SOBRE UN PLANO UTILIZANDO UN ROBOT PARALELO 6-RSS	746
<i>Daniel González, Lluís Ros and Federico Thomas</i>	
TELEOPERACIÓN DE INSTRUMENTOS QUIRÚRGICOS ARTICULADOS	754
<i>Ana Gómez Delgado, Carlos Perez-Del-Pulgar, Antonio Reina Terol and Victor Muñoz Martinez</i>	
CONTROL OF A ROBOTIC ARM FOR TRANSPORTING OBJECTS BASED ON NEURO-FUZZY LEARNING VISUAL INFORMATION	760
<i>Juan Hernández Vicén, Santiago Martínez de La Casa Díaz and Carlos Balaguer</i>	
PLATAFORMA BASADA EN LA INTEGRACIÓN DE MATLAB Y ROS PARA LA DOCENCIA DE ROBÓTICA DE SERVICIO	766
<i>Carlos G. Juan, Jose Maria Vicente, Alvaro Garcia and Jose Maria Sabater-Navarro</i>	

Estimadores de fuerza y movimiento para el control de un robot de rehabilitación de extremidad superior.....	772
<i>Aitziber Mancisidor, Asier Zubizarreta, Itziar Cabanes, Pablo Bengoa and Asier Brull</i>	
Definiendo los elementos que constituyen un robot social portable de bajo coste	780
<i>Marcos Maroto Gómez, José Carlos Castillo, Fernando Alonso-Martín, Juan José Gamboa, Sara Marqués Villarroya and Miguel Ángel Salichs</i>	
Interfaces táctiles para Interacción Humano-Robot	787
<i>Sara Marqués Villarroya, Jose Carlos Castillo Montoya, Fernando Alonso Martín, Marcos Maroto Gómez, Juan José Gamboa and Miguel A. Salichs</i>	
HERRAMIENTAS DE ENTRENAMIENTO Y MONITORIZACIÓN PARA EL DESMINADO HUMANITARIO	793
<i>Hector Montes, Roemi Fernandez, Pablo Gonzalez de Santos and Manuel Armada</i>	
Control a Baja Velocidad de una Rueda con Motor de Accionamiento Directo mediante Ingeniería Basada en Modelos	799
<i>Antonio José Muñoz-Ramírez, Jesús Manuel Luque-Bedmar, Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel, Anthony Mandow, Javier Serón and Alfonso Garcia-Cerezo</i>	
SIMULACIÓN DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS USANDO V-REP BAJO ROS	806
<i>Cándido Otero Moreira, Enrique Paz Domonte, Rafael Sanz Dominguez, Joaquín López Fernández, Rafael Barea, Eduardo Romera, Eduardo Molinos, Roberto Arroyo, Luís Miguel Bergasa and Elena López</i>	
Cinemática y prototipado de un manipulador paralelo con centro de rotación remoto para robótica quirúrgica.....	814
<i>Francisco Pastor, Juan M. Gandarias and Jesús M. Gómez-De-Gabriel</i>	
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE SINGULARIDADES AISLADAS EN ROBOTS PARALELOS MEDIANTE DESARROLLOS DE TAYLOR DE SEGUNDO ORDEN.....	821
<i>Adrián Peidro Vidal, Óscar Reinoso, Arturo Gil, José María Marín and Luis Payá</i>	
INTERFAZ DE CONTROL PARA UN ROBOT MANIPULADOR MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL	829
<i>Elena Peña-Tapia, Juan Jesús Roldán, Mario Garzón, Andrés Martín-Barrio and Antonio Barrientos</i>	
Evolución de la robótica social y nuevas tendencias	836
<i>Antonio J. Pérez Vidal, Alvaro Castro-Gonzalez, Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo Montoya and Miguel A. Salichs</i>	
DISEÑO MECÁNICO DE UN ASISTENTE ROBÓTICO CAMARÓGRAFO CON APRENDIZAJE COGNITIVO	844
<i>Irene Rivas-Blanco, M Carmen López-Casado, Carlos Pérez-Del-Pulgar, Francisco García-Vacas, Víctor Fernando Muñoz, Enrique Bauzano and Juan Carlos Fraile</i>	
CÁLCULO DE FUERZAS DE CONTACTO PARA PRENSIONES BIMANUALES.....	852
<i>Francisco Abiud Rojas-De-Silva and Raul Suarez</i>	
Modelado del Contexto Geométrico para el Reconocimiento de Objetos.....	860
<i>José Raúl Ruiz Sarmiento, Cipriano Galindo and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	
Estimación Probabilística de Áreas de Emisión de Gases con un Robot Móvil Mediante la Integración Temporal de Observaciones de Gas y Viento	868
<i>Carlos Sanchez-Garrido, Javier Monroy and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	

MANIPULADOR AÉREO CON BRAZOS ANTROPOMÓRFICOS DE ARTICULACIONES FLEXIBLES	876
<i>Alejandro Suarez, Guillermo Heredia and Anibal Ollero</i>	
EVALUACIÓN DE UN ENTORNO DE TELEOPERACIÓN CON ROS	864
<i>David Vargas Frutos, Juan Carlos Ramos Martínez, José Luis Samper Escudero, Miguel Ángel Sánchez-Urán González and Manuel Ferre Pérez</i>	

Sistemas de Tiempo Real

GENERACIÓN DE CÓDIGO IEC 61131-3 A PARTIR DE DISEÑOS EN GRAFCET....	892
<i>María Luz Alvarez Gutierrez, Isabel Sarachaga Gonzalez, Arantzazu Burgos Fernandez, Nagore Iriondo Urbistazu and Marga Marcos Muñoz</i>	
CONTROL EN TIEMPO REAL Y SUPERVISIÓN DE PROCESOS MEDIANTE SERVIDORES OPC-UA	900
<i>Francisco Blanes Noguera and Andrés Benlloch Faus</i>	
Control de la Ejecución en Sistemas de Criticidad Mixta	906
<i>Alfons Crespo, Patricia Balbastre, Jose Simo and Javier Coronel</i>	
GENERACIÓN AUTOMÁTICA DEL PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN TIA PORTAL PARA MÁQUINAS MODULARES	913
<i>Darío Orive, Aintzane Armentia, Eneko Fernandez and Marga Marcos</i>	
DDS en el desarrollo de sistemas distribuidos heterogéneos con soporte para criticidad mixta	921
<i>Hector Perez and J. Javier Gutiérrez</i>	
ARQUITECTURA DISTRIBUIDA PARA EL CONTROL AUTÓNOMO DE DRONES EN INTERIOR	929
<i>Jose-Luis Poza-Luján, Juan-Luis Posadas-Yaguë, Giovanni-Javier Tipantuña-Topanta, Francisco Abad and Ramón Mollá</i>	
Ingeniería Conducida por Modelos en Sistemas de Automatización Flexibles	935
<i>Rafael Priego, Elisabet Estévez, Darío Orive, Isabel Sarachaga and Marga Marcos</i>	
Estudio e implementación de Middleware para aplicaciones de control distribuido	942
<i>Jose Simo, Jose-Luis Poza-Lujan, Juan-Luis Posadas-Yaguë and Francisco Blanes</i>	

Visión por Computador

Real-Time Image Mosaicking for Mapping and Exploration Purposes	948
<i>Abdulla Al-Kaff, Juan Camilo Soto Triviño, Raúl Sosa San Frutos, Arturo de La Escalera and José María Armingol Moreno</i>	
ALGORITMO DE SLAM UTILIZANDO APARIENCIA GLOBAL DE IMÁGENES OMNIDIRECCIONALES	956
<i>Yerai Berenguer, Luis Payá, Mónica Ballesta, Luis Miguel Jiménez, Sergio Cebollada and Oscar Reinoso</i>	
Medición de Oximetría de Pulso mediante Imagen fotopletismográfica.....	964
<i>Juan-Carlos Cobos-Torres, Jordan Ortega Rodríguez, Pablo J. Alhama Blanco and Mohamed Abderrahim</i>	
Algoritmo de captura de movimiento basado en visión por computador para la teleoperación de robots humanoides.....	970
<i>Juan Miguel Garcia Haro and Santiago Martinez de La Casa</i>	

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DETECCIÓN DE ROSTROS EN IMÁGENES DIGITALES	976
<i>Natalia García Del Prado, Victor Gonzalez Castro, Enrique Alegre and Eduardo Fidalgo Fernández</i>	
LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE FUGA PARA SISTEMA DE DETECCIÓN DE LÍNEAS DE CARRIL	983
<i>Manuel Ibarra-Arenado, Tardi Tjahjadi, Sandra Robla-Gómez and Juan Pérez-Oria</i>	
Oculus-Crawl, a Software Tool for Building Datasets for Computer Vision Tasks	991
<i>Iván De Paz Centeno, Eduardo Fidalgo Fernández, Enrique Alegre Gutiérrez and Wesam Al Nabki</i>	
Clasificación automática de obstáculos empleando escáner láser y visión por computador ..	999
<i>Aurelio Ponz, Fernando Garcia, David Martin, Arturo de La Escalera and Jose Maria Armingol</i>	
T-SCAN: OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS CON COLOR Y TEMPERATURA EN INTERIOR DE EDIFICIOS	1007
<i>Tomás Prado, Blanca Quintana, Samuel A. Prieto and Antonio Adan</i>	
EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA REALIZAR RESÚMENES AUTOMÁTICOS DE VÍDEOS	1015
<i>Pablo Rubio, Eduardo Fidalgo, Enrique Alegre and Víctor González</i>	
SIMULADOR PARA LA CREACIÓN DE MUNDOS VIRTUALES PARA LA ASISTENCIA A PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA EN SILLA DE RUEDAS ..	1023
<i>Carlos Sánchez Sánchez, María Cidoncha Jiménez, Emiliano Pérez, Ines Tejado and Blas M. Vinagre</i>	
Calibración Extrínseca de un Conjunto de Cámaras RGB-D sobre un Robot Móvil	1031
<i>David Zúñiga-Nöel, Rubén Gómez Ojeda, Francisco-Ángel Moreno and Javier González Jiménez</i>	

BANCADA PARA ANÁLISIS INTELIGENTE DE DATOS EN MONITORIZACIÓN DE SALUD ESTRUCTURAL

Daniel Pérez López, Diego García Pérez, Ignacio Díaz Blanco, Abel Alberto Cuadrado Vega
 Área de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Oviedo
 Campus Universitario de Gijón, s/n.
 {dperez, diegogarcia, cuadrado}@isa.uniovi.es, idiaz@uniovi.es

Resumen

Todas las estructuras están sometidas a diversos factores que afectan a su funcionamiento óptimo, incluso pueden provocar fallos en las mismas. La monitorización de la salud estructural consta de métodos que estudian el estado de una estructura, de manera que se identifique o localice un posible defecto mediante técnicas de análisis de vibraciones. Para explorar este campo de estudio es preciso tener una fuente de datos procedentes de un sistema real. Para ello, se propone diseñar un banco de ensayos en un laboratorio, el cual permita flexibilidad en su configuración, repetibilidad en los ensayos y fácil acceso a los datos medidos. En este trabajo se presenta el diseño de un sistema de banco de ensayos para la monitorización de salud estructural, formado por: una estructura metálica sencilla, un sistema de excitación de la estructura y herramientas de adquisición de las señales de vibración. Por último, se presenta un primer trabajo de análisis modal de las vibraciones basado en un análisis de componentes principales (principal component analysis, PCA).

Palabras clave: monitorización de salud estructural, métodos basados en vibración, análisis inteligente de datos

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de monitorización de salud estructural (*structural health monitoring*, SHM) son aquellos capaces de monitorizar el rendimiento de sistemas mecánicos (máquinas, aeronaves, grandes estructuras, etc.), detectando las desviaciones del sistema con respecto a un estado óptimo, generalmente el estado inicial. Estas desviaciones se denominan daños, los cuales pueden clasificarse en defectos, si únicamente afectan al rendimiento del sistema, o en fallos si estos defectos llevan al sistema a un estado en el que se comprometa su correcto funcionamiento, dejando de ser apto para el usuario.

Las técnicas SHM tienen como objetivo detectar tanto fallos como defectos en los sistemas mecáni-

cos aportando, además, información característica sobre ellos. Dentro de la literatura [17], una de las muchas formas de clasificar las técnicas SHM, es según la cantidad de información con la que caracterizan un defecto:

- Nivel 1: determinan la existencia de un defecto.
- Nivel 2: determinan la localización del defecto.
- Nivel 3: cuantifican la severidad del daño.
- Nivel 4: predicen el tiempo de vida del sistema.

A la hora de afrontar estos objetivos uno de los métodos más comunes en el estado del arte es el análisis de vibraciones del sistema, conocido como *vibration-based methods* [12]. Este tipo de técnicas se basan en el análisis modal de vibraciones medidas en el propio sistema monitorizado. El análisis de vibraciones es un método consolidado en la monitorización de defectos en máquinas rotatorias o *condition monitoring* (CM) como se denomina en la literatura [8, 9]. CM es un campo de estudio análogo a SHM, y por tanto es común hacer uso de técnicas similares basadas en vibraciones en ambos campos de estudio, pero se diferencian en que los datos de vibraciones recogidos de máquinas rotatorias suelen ser más invariantes a condiciones de entorno que las medidas procedentes de grandes estructuras, lo que dificulta en gran medida el análisis de salud estructural.

Profundizando en los métodos basados en análisis de vibraciones, el paradigma principal de este tipo de técnicas, tanto para CM como para SHM, es el *reconocimiento estadístico de patrones*, el cual según [13] se divide en cuatro tareas principales:

1. Evaluación operativa.
2. Adquisición de datos y su normalización.
3. Extracción de características.
4. Desarrollo de modelos.

Todos los ámbitos definidos por [13], salvo el primero, presentan una fuerte conexión con el análisis inteligente de datos (*intelligent data analysis*, IDA) aplicado a problemas de ingeniería, uno de los principales objetivos de las líneas de investigación activas en nuestro grupo [11, 10, 16]. Es, por tanto, una motivación iniciar una línea de investigación en este campo, ya que muchos de los conceptos de IDA adquiridos en trabajos anteriores son perfectamente transferibles al ámbito del SHM. Además, ciertas cuestiones abiertas de SHM, como conseguir una invariabilidad de los datos a las condiciones de entorno mediante una correcta extracción de características [15], pueden servir de motivación para la aplicación de técnicas novedosas de IDA como el *aprendizaje profundo* o *deep learning*, las cuales son objeto de interés en nuestra actividad investigadora.

Para iniciar una línea de estudio en SHM es claramente necesario un repositorio de datos de partida. En este punto se puede optar por repositorios públicos [6], o por la recogida de datos propios, los cuales pueden proceder de sistemas reales en funcionamiento, o de bancos de ensayo que simulen un sistema real. De las tres posibilidades planteadas, consideramos que la última opción parece la más adecuada para el inicio de una investigación en este campo, ya que un banco de ensayos modular permite simular problemas de estudio a medida, pudiendo regular escalonadamente la dificultad de los mismos. El objetivo de este artículo es mostrar el diseño de una bancada, que permita la recogida de medidas de vibraciones de una estructura simple para su posterior análisis modal.

En el apartado 2, se describirá el diseño propuesto y los detalles técnicos del banco de ensayos. En el apartado 3 se muestra un ejemplo de extracción de características y una proyección basada en el análisis de componentes principales (*principal component analysis*, PCA). Las limitaciones que presenta nuestro diseño y los aspectos a mejorar son expuestos en el apartado 4. Por último, en el apartado 5 se describen las conclusiones de nuestro diseño, así como las líneas de trabajo futuras.

2. DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS

2.1. ESTRUCTURA METÁLICA

La estructura consta de una base, dos pilares (elementos verticales) y una viga que los une horizontalmente, formada por 3 barras unidas por medio de tornillos, tal como se aprecia en la figura 1.

El carácter modular de la estructura nos permi-

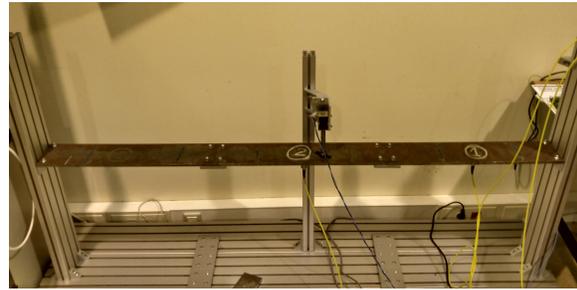


Figura 1: Imagen de la estructura. Se muestra la estructura propuesta, el actuador y los acelerómetros situados en las posiciones 1 (izquierda) y 2 (central) de la estructura.

te modificar su configuración fácilmente, con el fin de introducir perturbaciones de distinta índole al sistema, simulando situaciones anómalas características en los sistemas reales (desgastes en los anclajes, cambios anómalos en la distribución de las cargas, etc). Con esta configuración planteada se pretende imitar una estructura con viga de directriz recta, uno de los elementos estructurales básicos de los que se componen estructuras más complejas como estructuras formadas con vigas en celosía.

2.2. SISTEMA DE EXCITACIÓN

A la hora de desarrollar un sistema automático que determine la salud de una estructura, es necesario tener un módulo de adquisición de datos. Como se ha mencionado en la introducción, los métodos de adquisición más comunes son aquellos que están basados en el concepto de *vibration-based damage detection* [14]. Este tipo de sistemas engloban tres aspectos: 1) sistema de excitación, 2) tipo de sensores y 3) el número de sensores y su localización dentro de la estructura.

Este estudio se centra en el diseño del sistema de excitación ya que es el único aspecto de los mencionados que no depende del tipo de análisis a realizar en las etapas posteriores a la adquisición de datos [9]. En muchos de los sistemas basados en vibraciones no es necesario el uso de ningún excitador del sistema, sino que con la propia vibración natural del sistema es suficiente para extraer la información necesaria de su estado, pero en el caso concreto de bancadas que simulen a pequeña escala un sistema real es necesario el uso de una excitación externa, ya que carecen de vibración natural.

Una vez definida la necesidad de un sistema de excitación, para su diseño se debe satisfacer necesidades comunes en el desarrollo de metodologías de análisis de datos, como pueden ser una alta acce-

sibilidad a los datos, flexibilidad a la hora de cambiar su configuración y la repetibilidad de los ensayos. De acuerdo con estas funcionalidades mencionadas se propone un sistema de excitación formado por tres bloques: 1) percutor, 2) preaccionador y 3) controlador.



Figura 2: Imagen del actuador desmontado.

2.2.1. Percutor

El percutor, como se muestra en la figura 2, lo constituye una bobina de 24 V y 1A, la cual genera un campo magnético que atrae el eje metálico hacia su núcleo. En uno de los extremos del eje, se tiene una rosca con una tuerca que permiten sujetar un muelle. Cuando la bobina está energizada el muelle se encuentra contraído y cuando la corriente dentro de la bobina es cero, el muelle arrastra el eje hasta su posición de reposo, consiguiendo un movimiento lineal y golpeando la superficie de la bancada.



Figura 3: Imagen del actuador acoplado a la bancada.

En la figura 3 se pueden ver el percutor y el montaje que lo acopla a la bancada. Se puede apreciar como en la superficie de la estructura se recubre con un material aislante (de color negro) justo en la zona donde impacta el percutor. Esto es debido a que el campo magnético creado por la bobina es tan fuerte que es capaz de atraer la propia estructura hacia el núcleo de la bobina. Por ello, se debe interponer entre el eje y la estructura un medio no magnético.

2.2.2. Preaccionador

El preaccionador es el driver MD22 [3] mostrado en la figura 4, utilizado para el control de motores de corriente continua de media y baja potencia. Este driver alimentado con 24 V, está constituido por un puente en H capaz de regular el sentido y la intensidad de la corriente de salida llegando a valores máximos de 5A, por lo que es perfectamente apto para el control de activación de nuestra bobina.

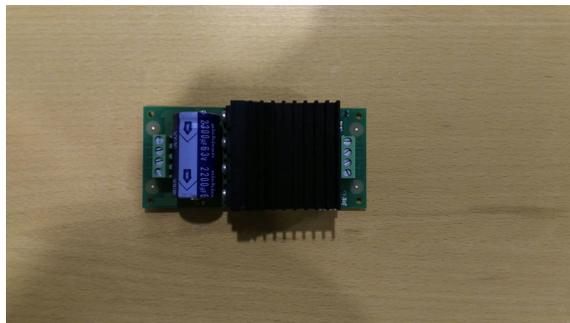


Figura 4: Driver MD22.

Este driver es capaz de regular la corriente que circula por la bobina del percutor, actuando como un relé que abre o cierra el circuito de alimentación de la bobina del percutor. En este caso, no interesa regular la corriente, por lo que se hace uso de su modo de funcionamiento como relé, o modo analógico. En este modo, con una señal de control de 0 V, se alimenta la bobina con +24 V, mientras que con una señal de control de 2,5 V, la bobina se desconecta.

En el momento que se inicia una recogida de datos, la bobina se activa contrayendo el muelle y elevando el eje. En este estado, el driver está alimentado en su entrada de control con 2,5V. A la hora de realizar un golpeo, se debe enviar al driver un pulso de 0V, por lo que la señal de golpeo es en lógica inversa.

2.2.3. Controlador

Las señales de control que rigen el comportamiento del driver, son enviadas por el controlador, en nuestro caso un *arduino mega 2560* [4]. Este modelo de arduino contiene un microcontrolador (AVR ATmega2560), el cual se puede programar mediante el IDE propietario de arduino.

El diseño del programa cargado en el controlador atiende principalmente a una de las funcionalidades de la bancada: la disponibilidad de los datos. De acuerdo con esta premisa se ha considerado que el banco de ensayos pueda ser manejado vía serie desde un ordenador desde el cual se puedan iniciar los ensayos y recoger los datos medidos por los sen-

sores. Por ello, el programa cargado en el microcontrolador tiene como cometido leer las órdenes enviadas por parte del PC vía serie, y actuar sobre la bancada acorde a estas consignas.

La comunicación serie en el PC, que en definitiva es la interfaz de manejo de la bancada para el usuario, debe ser manejada dentro de un entorno de desarrollo que soporte una comunicación serie (C++, Java, Python, etc). A la hora optar por uno de estos entornos se eligió Python [5], el cual es ampliamente reconocido en el ámbito de la ciencia de datos y que facilitará las etapas posteriores a la adquisición de datos dentro del paradigma de reconocimiento de patrones.

El programa alojado en arduino es muy sencillo: en ausencia de eventos por parte del bus serie el microcontrolador ha de suministrar al driver un nivel de tensión constante de 2,5V; cuando llega una orden “start” desde Python vía serie, el arduino envía un pulso de 0V de amplitud y 100 ms de duración al driver, produciendo un impacto en la bancada por parte del actuador.

Gracias a esta configuración del sistema de excitación es posible tener una alta flexibilidad a la hora de definir la excitación del ensayo, pudiendo generar ensayos con un único impacto, impactos a frecuencias determinadas o planificar una batería de ensayos en instantes específicos. Los resultados presentados en este artículo han sido obtenidos mediante señales procedentes de ensayos con un único impacto.

2.3. SENSORES Y ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS

La respuesta de la estructura a la entrada introducida por el sistema de excitación es recogida por dos acelerómetros, fijados sobre la parte inferior de la viga en las posiciones 1 y 2 de la estructura como muestra en la figura 1. Los acelerómetros se deben alimentar con el adaptador de señal, el cual además de alimentar los acelerómetros, acondiciona la señal para su posterior lectura por un osciloscopio. El osciloscopio que realiza esta medida es el modelo DPO2014B de *Tektronix* [7], el cual ha sido elegido por la posibilidad de conexión serie con un PC a través de Python. Esta conexión se gestiona bajo el estándar VISA [2], protocolo que nos permite la comunicación entre Python y el osciloscopio, gracias al módulo *pyVISA* [1]. Mediante el módulo *PyVISA* es posible recoger en un entorno Python las señales de los acelerómetros muestreadas a alta frecuencia (130 kHz).

Mediante un script se acciona el percutor, enviando la orden por el puerto serie, se capturan los

datos mediante el módulo *pyVISA* y se guardan en un fichero JSON, el cual almacena los ensayos realizados con distintas configuraciones de la bancada como datos de entrenamiento para futuros análisis. El nombre de este fichero se corresponde con la configuración de la bancada en el momento del ensayo y con el instante de tiempo que se inició el ensayo.

3. EXPERIMENTO Y RESULTADOS

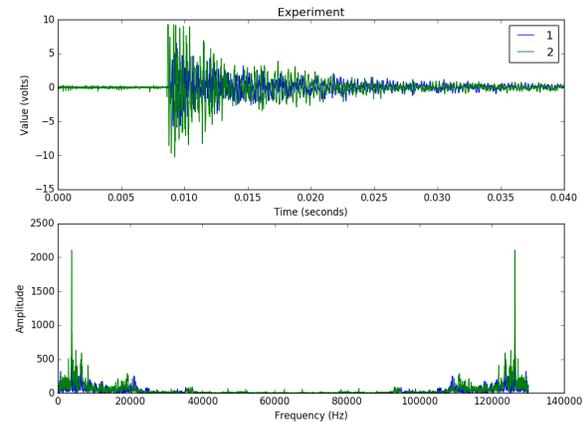


Figura 5: Evolución temporal de un ensayo (arriba) y su espectro (debajo).

Para probar la validez del diseño propuesto, se realizó un experimento preliminar en el que se puede ver reflejadas la mayoría de las características del paradigma de reconocimiento estadístico de patrones. Con este pequeño experimento se pretende acotar las ventajas y las limitaciones del diseño (estructura, sistema de excitación) y de la metodología empleada para la captura de los datos.

En la figura 5 se representa la adquisición de uno de los ensayos de entrenamiento en la que se pueden ver las señales de respuesta de los dos sensores en el momento del impacto (arriba) y la representación de su transformada de Fourier (debajo).

3.1. EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS

Tras la captura de los datos de entrenamiento se procede a la extracción de características, mediante otro script, el cual lee los datos de entrenamiento capturados y realiza el procesamiento. Para ello, se extraen las características de las señales de vibraciones medidas por los acelerómetros en bandas de frecuencia determinadas, generando un vector de características, que contiene las energías en dichas bandas, para varios instantes de tiempo. Este vector, por tanto, describe la evolución

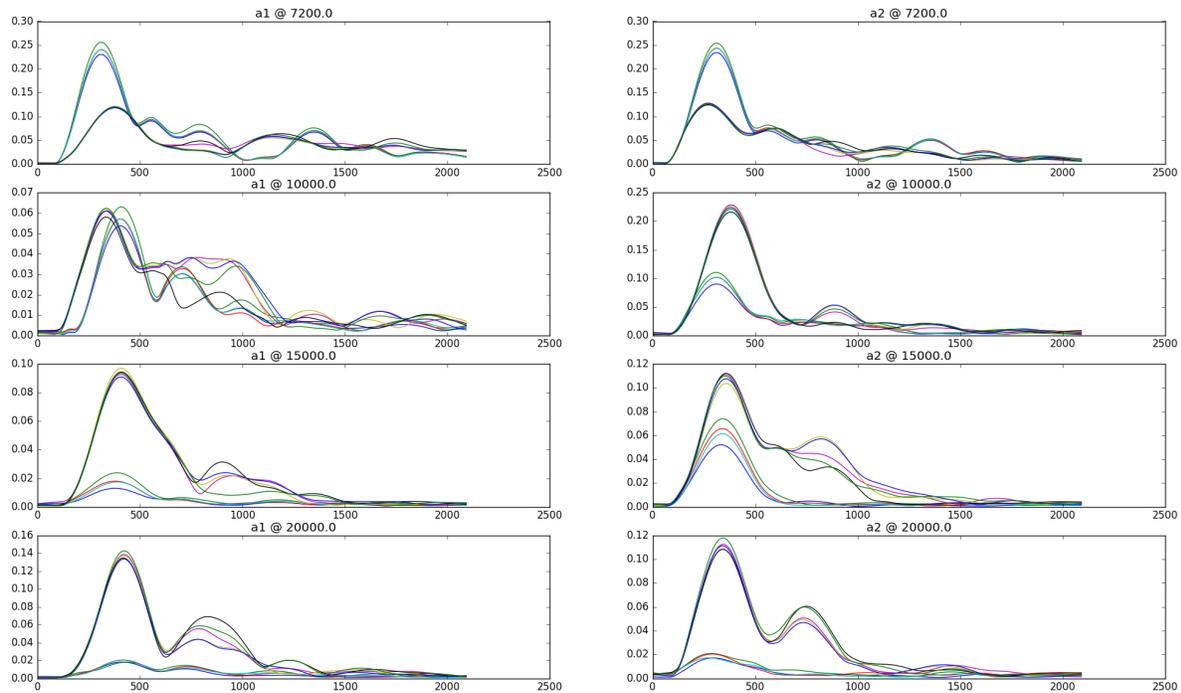


Figura 6: Evolución temporal de los armónicos de los dos sensores (en ambas columnas) a las frecuencias 7200, 10000, 15000, 20000 Hz.

temporal de los armónicos del sistema, constituyendo una expresión tiempo-frecuencia del estado dinámico de vibración, que contiene información detallada sobre su condición estructural.

Para el procesamiento de los datos se extraen las características de los acelerómetros en unas bandas de frecuencia determinadas. Los rangos de estas bandas de frecuencia son de 10 Hz y las frecuencias elegidas experimentalmente son de 7200, 10000, 15000, 20000 Hz. El tamaño de ventana elegida fue de 1024. Posteriormente se remuestra el resultado de manera que se obtienen 21 valores en cada frecuencia elegida para ambos acelerómetros. En la figura 6 se puede ver el procesado en estas frecuencias para las señales de los dos acelerómetros correspondientes a varios ensayos recogidos en la bancada. El color de las líneas se refiere a cada uno de los ensayos mostrados.

3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO: PROYECCIÓN PCA DE LOS ENSAYOS

Se propone como método de análisis una proyección de los datos en un plano, utilizando una de las técnicas de reducción de la dimensión más populares, el análisis de componentes principales (*prin-*

cipal component analysis, PCA), la cual encuentra combinaciones lineales ortogonales con mayor varianza en los datos. Para ello se hace un escalado previo de los datos para que los valores se encuentren dentro de unos rangos determinados.

Los datos, recogidos a modo de ejemplo, se dividen en un grupo de entrenamiento y otro grupo que simula nuevos ensayos de test. Los estados en la estructura recogidos en los datos capturados consisten en una situación normal, con todos los tornillos apretados, y otra situación con uno de los tornillos aflojado. Como se ha descrito en el anterior apartado, se extraen las características con 21 valores de 4 bandas de frecuencia para los 2 acelerómetros y se formatean en un único vector de manera que cada punto contiene un total de 168 valores. En la figura 7 se puede ver la proyección PCA resultante de un grupo de ensayos realizados de manera continuada. Se observa la separación clara de ambas situaciones de la estructura y que la proyección de los registros reservados para el test se sitúan en la zona del mapa correspondiente a la del estado de la estructura en el momento en el que se midieron.

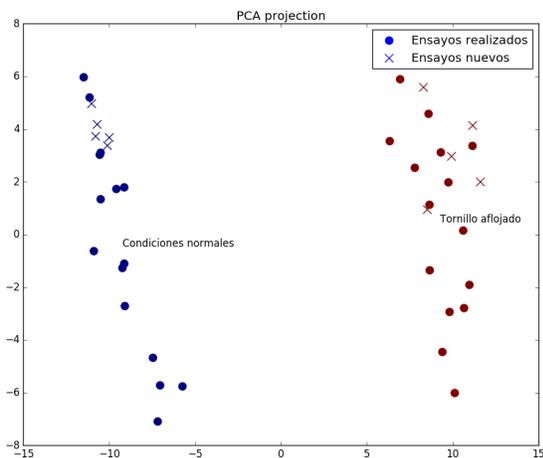


Figura 7: Proyección PCA. Círculos datos de entrenamiento, cruces datos de test. Color azul estado normal de la estructura y rojo estado de fallo (tornillo aflojado).

4. LIMITACIONES

A continuación se describen algunas limitaciones que se han identificado durante el desarrollo del sistema propuesto. La lógica inversa en el funcionamiento del percutor hace que la bobina se encuentre energizada en todo momento salvo en el momento de realizar un impacto, que es cuando se libera. Esto produce un calentamiento en el percutor que puede limitar su uso de manera continua y prolongada.

La variabilidad en los datos recogidos podría afectar a la repetibilidad de los ensayos en diferentes situaciones de la estructura. La adquisición se realiza tras una captura del osciloscopio que se dispara cuando una de las señales supera un umbral determinado. Para la realización de una adquisición continua de datos, se puede utilizar una tarjeta de adquisición cuyas salidas podrían incluso utilizarse para accionar el sistema de excitación, el cual podría constar de un dispositivo más avanzado utilizado por profesionales como los *shakers* electrodinámicos.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se describe la construcción de una bancada de ensayos para la monitorización de salud estructural. Esto permite la realización de diferentes experimentos por medio de una excitación de la estructura, la adquisición y el análisis de las señales de vibraciones en el dominio de la frecuencia y su visualización en un mapa 2D utilizando una técnica de reducción de la dimensión.

El montaje realizado incluye un sistema de excitación, accionado vía software, que provoca un impacto en la estructura, excitándola y recogiendo su respuesta modal mediante un osciloscopio conectado a un ordenador. El procesado de los datos consiste en la construcción de una matriz de datos cuyos atributos contienen las energías de la respuesta en determinadas bandas de frecuencia. Mediante un análisis de componentes principales se proyectan los puntos de ensayos en un mapa, en el cual pueden compararse con la proyección de otros puntos que definen diferentes ensayos de entrenamiento cubriendo diferentes situaciones de ejemplo que se pueden dar en la estructura.

Este montaje proporciona un excelente escenario en la adquisición de datos de ensayos reales para el estudio y validación de algoritmos aplicados en la monitorización de salud estructural. Como trabajo futuro quedarían tareas como tratar el calentamiento que se produce en el sistema de excitación, una organización modular del software que permita programar diferentes grupos de ensayos de manera automática o la estandarización de los datos recogidos añadiendo metadatos como el tipo de excitación, los defectos o fallos simulados. Otro aspecto que incrementaría el valor de nuestro banco de ensayos sería la implementación de un servicio remoto que permita al usuario realizar ensayos a través de una página web, aumentado de esta manera la flexibilidad y el acceso a los datos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO), Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) “Una manera de hacer Europa”, bajo el proyecto de referencia DPI2015-69891-C2-2-R y por el Gobierno del Principado de Asturias a través del programa “Severo Ochoa” de ayudas predoctorales para la investigación y docencia del Principado de Asturias.

Referencias

- [1] Documentación pyvisa. <https://pyvisa.readthedocs.io/en/stable/>. Accessed: 2017-03-23.
- [2] Ivi foundation page. <http://www.ivifoundation.org/specifications/default.aspx>. Accessed: 2017-03-20.
- [3] Md22 datasheet. <https://www.robot-electronics.co.uk/htm/md22tech.htm>. Accessed: 2017-02-09.

- [4] Página oficial arduino mega. <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>. Accessed: 2017-06-09.
- [5] Página oficial python. <https://www.python.org/>. Accessed: 2017-03-23.
- [6] Shm data sets and software. <http://www.lanl.gov/projects/national-security-education-center/engineering/software/shm-data-sets-and-software.php>. Accessed: 2017-06-07.
- [7] Tektronik dpo2014b. <http://www.tek.com/oscilloscope/mso2000-dpo2000>. Accessed: 2017-03-20.
- [8] D. E. Bently and T. Hatch'Charles. Fundamentals of rotating machinery diagnostics. *Mechanical Engineering-CIME*, 125(12):53–54, 2003.
- [9] E. P. Carden and P. Fanning. Vibration based condition monitoring: a review. *Structural health monitoring*, 3(4):355–377, 2004.
- [10] I. Díaz, A. A. Cuadrado, A. B. Díez, and M. Domínguez. Manifold learning for visualization of vibrational states of a rotating machine. In *ICANN (2)*, pages 285–292, 2011.
- [11] I. Díaz Blanco, M. Domínguez González, A. A. Cuadrado, and J. J. Fuertes Martínez. A new approach to exploratory analysis of system dynamics using som. applications to industrial processes. *Expert Systems With Applications*, 34(4):2953–2965, 2008.
- [12] S. W. Doebling, C. R. Farrar, M. B. Prime, and others. A summary review of vibration-based damage identification methods. *Shock and vibration digest*, 30(2):91–105, 1998.
- [13] C. R. Farrar, S. W. Doebling, and D. A. Nix. Vibration-based structural damage identification. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 359(1778):131–149, 2001.
- [14] C. R. Farrar and K. Worden. An introduction to structural health monitoring. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1851):303–315, 2007.
- [15] Hoon Sohn. Effects of environmental and operational variability on structural health monitoring. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1851):539–560, 2007.
- [16] D. Pérez, F. García-Fernández, I. Díaz, A. Cuadrado, D. Ordonez, A. Díez, and M. Domínguez. Visual analysis of a cold rolling process using a dimensionality reduction approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(8):1865–1871, 2013.
- [17] A. Rytter. *Vibrational based inspection of civil engineering structures*. PhD thesis, Dept. of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg University, 1993.