

# 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](mailto: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 Politécnic 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
Miguel Ángel Ridao	Universidad de Sevilla
Gregorio Sainz-Palmero	Universidad de Valladolid
Antonio Sala	Universitat Politècnica de Valencia
Ester Sales-Setién	Universitat Jaume I
Jose Sanchez	UNED
Javier Sanchis Saez	Universitat Politècnica 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 Politécnica 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 Córdoba
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

---

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/> <b>Automar</b> <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/> <b>Bioingeniería</b> <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/> <b>Control Inteligente</b> <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/> <b>Educación en Automática</b> <hr/>	
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>	

# 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)

Mislav Jordanić

Departamento de Ingeniería de Sistemas, Automática e Informática Industrial (ESAI), Centre de Recerca en Enginyeria Biomèdica (CREB), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN), Barcelona, España

Mónica Rojas-Martínez

Departamento de Bioingeniería, Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia  
Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN), Departamento de Ingeniería de Sistemas, Automática e Informática Industrial (ESAI), Centre de Recerca en Enginyeria Biomèdica (CREB), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, España

Joan Francesc Alonso

Departamento de Ingeniería de Sistemas, Automática e Informática Industrial (ESAI), Centre de Recerca en Enginyeria Biomèdica (CREB), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN), Barcelona, España

Carolina Migliorelli

Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN), Departamento de Ingeniería de Sistemas, Automática e Informática Industrial (ESAI), Centre de Recerca en Enginyeria Biomèdica (CREB), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, España

Miguel Ángel Mañanas

Departamento de Ingeniería de Sistemas, Automática e Informática Industrial (ESAI), Centre de Recerca en Enginyeria Biomèdica (CREB), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN), Barcelona, España

## Resumen

*La actividad mioeléctrica puede ser utilizada para la identificación de tareas motoras. En este estudio se investigaron diferentes características frecuenciales para la identificación de cuatro tareas motoras de la extremidad superior (flexión, extensión, supinación, y pronación) en pacientes con lesión medular incompleta. También se evaluaron los niveles de esfuerzo y la identificación de las tareas durante fatiga. Aunque se obtuvieron buenos resultados, las características frecuenciales mostraron su utilidad únicamente para la identificación de tareas, mientras que no aportaron información adecuada para la identificación de los niveles de esfuerzo o la identificación durante un ejercicio de fatiga.*

**Palabras Clave:** lesión medular incompleta, control mioeléctrico, EMG de alta densidad, HD-EMG, reconocimiento de patrones, rehabilitación.

## 1 INTRODUCCIÓN

La electromiografía de superficie (EMG) consiste en el registro no invasivo de la actividad mioeléctrica mediante electrodos colocados en la superficie de la piel. Las señales registradas mediante esta técnica se componen de potenciales de acción que viajan a lo largo de las fibras musculares durante la contracción, y es directamente proporcional a los impulsos neuronales que hacen que se disparen. En consecuencia, la señal EMG contiene información neuromuscular valiosa que puede usarse para la evaluación de las estrategias de control de las tareas motoras [1].

Aunque la comunidad académica ha estudiado ampliamente este enfoque durante las últimas décadas, se trata todavía de un problema pendiente de solución. Los sistemas disponibles comercialmente más habituales utilizan métodos basados en umbrales [2]. Mediante señales EMG de dos músculos (habitualmente un par agonista-antagonista) se mide la intensidad de la contracción, y cuando un músculo

supera el umbral se produce el movimiento en una dirección. Si se supera en el otro músculo, el movimiento se produce en dirección contraria. Esta estrategia puede controlar únicamente un grado de libertad, de manera que si se desea controlar una prótesis con varios grados de libertad, el usuario debe cambiar entre ellos mediante un conmutador o la coactivación de ambos músculos [3].

A lo largo de los años, se han realizado grandes e importantes mejoras en los mecanismos de control protésico y los enfoques basados en el reconocimiento de patrones han pasado a considerarse tecnología de vanguardia [4]. Mediante el reconocimiento de patrones, las tareas asociadas a cualquier grado de libertad se pueden activar en cualquier instante, sin necesidad de seleccionar manualmente uno de ellos como activo. Existe cierto consenso en el hecho que el clasificador utilizado no es demasiado importante para la identificación de las tareas, y por eso se prefieren clasificadores sencillos y rápidos como el análisis discriminante lineal (LDA, por sus siglas en inglés) [4]. Por otro lado, la selección de características con las que clasificar estas tareas es todavía materia de debate. Principalmente se utilizan características derivadas del análisis en el dominio del tiempo, puesto que son sencillas y ofrecen un buen rendimiento, pero algunos autores también sugieren el uso de variables obtenidas en el dominio frecuencial o tiempo-frecuencia [5].

De manera alternativa, recientemente se ha propuesto el uso de características espaciales obtenidas mediante electromiografía de alta densidad (HD-EMG) en sujetos sanos [6][7] y también en pacientes con lesión medular incompleta [8][9]. La HD-EMG consiste en un registro multicanal de electromiografía en el que los electrodos se distribuyen en una cuadrícula bidimensional, de manera que se obtiene más información sobre la actividad mioeléctrica [10]. Este artículo investiga la combinación de variables de intensidad y frecuencia obtenidas de la HD-EMG como características para la identificación de tareas motoras en pacientes con lesión medular incompleta. Estos pacientes realizaron cuatro tareas motoras de la extremidad superior (flexión y extensión, y supinación y pronación del antebrazo) a tres niveles de esfuerzo diferentes mientras se registraba la HD-EMG sobre cinco músculos involucrados en esas tareas: *biceps brachii*, *triceps brachii*, *brachioradialis*, *anconeus*, y *pronator teres*. Se calculó la intensidad para cada músculo como el logaritmo del valor cuadrático medio promedio de todos los canales que registraron su actividad. Dos medidas frecuenciales, habituales en la literatura, fueron calculadas para cada músculo: la frecuencia media promedio y la frecuencia mediana promedio. La primera se obtuvo mediante el promedio de la frecuencia media de cada canal relacionado con el

músculo estudiado, y la segunda mediante el promediado de la frecuencia mediana.

Se evaluaron las combinaciones resultantes de utilizar intensidades y frecuencias medias o intensidades y frecuencias medianas como características para la identificación de tareas y también para la identificación de niveles de esfuerzo. Además, el rendimiento de estas características se evaluó durante pruebas de fatiga. Los resultados obtenidos se compararon con los obtenidos únicamente con las características de intensidad.

## 2 METODOLOGÍA

Diez pacientes con lesión medular incompleta (edad:  $44 \pm 19$  años; altura  $167 \pm 9$  cm; peso:  $76 \pm 11$  kg), y valorados C o D en la escala ASIA, fueron seleccionados para el experimento.

Los sujetos realizaron las pruebas sentados con la espalda recta delante de una mesa, con su brazo dominante anclado a la altura de la muñeca mediante un brazo mecánico.

Para el registro, se usaron tres matrices de electrodos de fabricación propia. Fueron diseñados con ojales de plata insertados en tejido no conductor, formando cuadrículas con una distancia entre electrodos de 10 mm. Dos de las matrices (6 filas por 12 columnas cada una) se colocaron sobre el brazo, una cubriendo el *biceps brachii* y la otra el *triceps brachii*. Una tercera matriz (6 filas por 16 columnas) se colocó en el antebrazo, cubriendo el *anconeus*, el *pronator teres*, y el *brachioradialis*. Una vez colocadas las matrices de sensores, se aplicó gel conductor en cada electrodo a través de la abertura del ojal.

Se registraron señales monopares de HD-EMG usando dos amplificadores de electromiografía de 128 canales disponibles comercialmente (LISiN-OT Bioelettronica) usando una frecuencia de muestreo de 2048 Hz, un filtro paso banda entre 10 y 750 Hz, y un convertidor analógico digital de 12 bits. Además de las señales bioeléctricas, el par de fuerzas ejercido se midió en ambos lados del brazo mecánica usando sendos sensores de torsión (OT Bioelettronica, rango de 150 Nm).

En el experimento, los pacientes realizaron cuatro ejercicios isométricos diferentes con la extremidad superior a tres niveles de esfuerzo, concretamente: flexión, extensión, supinación, y pronación del antebrazo a un 10%, 30% y 50% de la máxima contracción voluntaria (MCV). Dicha MCV fue obtenida al principio del protocolo de registro mediante el cálculo de la máxima contracción medida tras tres intentos consecutivos. Durante cada una de las medidas, se mostraba a los sujetos el par de torsión en una pantalla a modo de realimentación visual.

Las contracciones voluntarias submáximas del protocolo de registro fueron ejecutadas de manera aleatoria con respecto a la tarea y el nivel de

esfuerzo. Cada una de las medidas consistió en mantener la contracción durante 10 segundos al nivel deseado, y se realizaron descansos de tres minutos entre medidas consecutivas para evitar la aparición de fatiga. Finalmente, los sujetos realizaron la prueba de resistencia en la que cada una de las tareas se ejecutó al 50% de la MCV hasta que no se pudo mantener la contracción a causa de la fatiga. El protocolo de registro y los equipos de medida fueron previamente descritos en [9].

## 2.2 EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS

Las señales HD-EMG se filtraron usando un filtro paso banda Butterworth de 4º orden, con frecuencias de corte de 15 y 350 Hz. Siguiendo el procedimiento descrito en [11], se identificaron los canales con artefactos y se generaron y segmentaron los mapas de activación de intensidad. De esta manera, únicamente se conservaron los canales correspondientes a los músculos de interés para su análisis posterior.

Se tuvieron en cuenta tres medidas para la clasificación:

- Intensidad
- Frecuencia media
- Frecuencia mediana

Se calculó la intensidad ( $Int_n$ ) como el valor cuadrático medio de la señal EMG ( $emg_n$ ) registrada en el canal  $n$ , mientras que las frecuencias media ( $MNF_n$ ) y mediana ( $MDF_n$ ) se obtuvieron como las frecuencias media y mediana del canal  $n$ , respectivamente:

$$Int_n = RMS(emg_n) \quad (1)$$

$$MNF_n = \frac{\int_{15Hz}^{350Hz} f \cdot P_n(f) df}{\int_{15Hz}^{350Hz} P_n(f) df} \quad (2)$$

$$MDF_n = \int_{15Hz}^{350Hz} P_n(f) df = \int_{MDF_n}^{350Hz} P_n(f) df \quad (3)$$

, donde  $P_n$  es la densidad espectral de potencia de la señal EMG ( $emg_n$ ) estimada mediante el periodograma de Welch.

A continuación, se promediaron estos valores para todos los canales correspondientes a un músculo específico para obtener una única medida para cada uno de los cinco músculos estudiados: intensidad promedio (I), frecuencia media promedio (Fmean), y frecuencia mediana promedio (Fmedian):

$$I = \log_{10} \frac{1}{N} \sum_n Int_n \quad (4)$$

$$Fmean = \frac{1}{N} \sum_n MNF_n \quad (5)$$

$$Fmedian = \frac{1}{N} \sum_n MDF_n \quad (6)$$

Nótese que se usó el logaritmo de la intensidad media para resolver el problema de no linealidad, como se ha sugerido en estudios previos [6][7][8][9].

Las características utilizadas para la identificación del movimiento fueron combinaciones de las medidas descritas anteriormente: solamente la intensidad promedio (I), la combinación de intensidad promedio y frecuencia media promedio (I+Fmean), y la combinación de intensidad promedio y frecuencia mediana promedio (I+Fmedian).

La identificación de las tareas (4 clases) y la identificación de tareas y niveles de esfuerzo (12 clases) fue realizada mediante un LDA. El conjunto de datos fue dividido en dos, un conjunto de entrenamiento y uno de prueba, usando muestreo estratificado y una ratio de 70%-30%. Para prevenir el error estadístico de tipo 3, se usó validación cruzada repitiendo este muestreo estratificado (*repeated holdout*) [12]. Los resultados se expresaron en base a sensibilidad ( $S$ ) y precisión ( $P$ ):

$$S = \frac{VP}{VP + FN} \quad (7)$$

$$P = \frac{VP}{VP + FP} \quad (8)$$

, donde  $VP$  indica los verdaderos positivos,  $FN$  los falsos negativos, y  $FP$  los falsos positivos [9].

Adicionalmente, se evaluó el efecto de la fatiga en la identificación de tareas usando las pruebas de resistencia registradas al final del protocolo, dividiendo cada prueba en 5 segmentos de la misma longitud. El clasificador se entrenó usando el primero de ellos, y se evaluó usando los cinco segmentos disponibles.

## 2 RESULTADOS

Las tablas 1 y 2 muestran los resultados de la identificación de tareas y de tareas y niveles de esfuerzo, respectivamente. Puede observarse que al añadir las características frecuenciales a las de intensidad, los resultados superan a los obtenidos cuando la identificación se realiza únicamente con la intensidad. I+Fmean supera de manera significativa los otros dos conjuntos de características ( $p < 0.05$ ) e I+Fmedian también es significativamente superior a I, tanto en la identificación de tareas como de tareas y niveles de esfuerzo.

Tabla 1: Identificación de tareas

Características	Sensibilidad (%)	Precisión (%)
I	93.8 ± 5.1	94.2 ± 5.0
I+Fmedian	94.7 ± 4.7	95.0 ± 4.6
I+Fmean	95.5 ± 4.2	95.7 ± 4.0

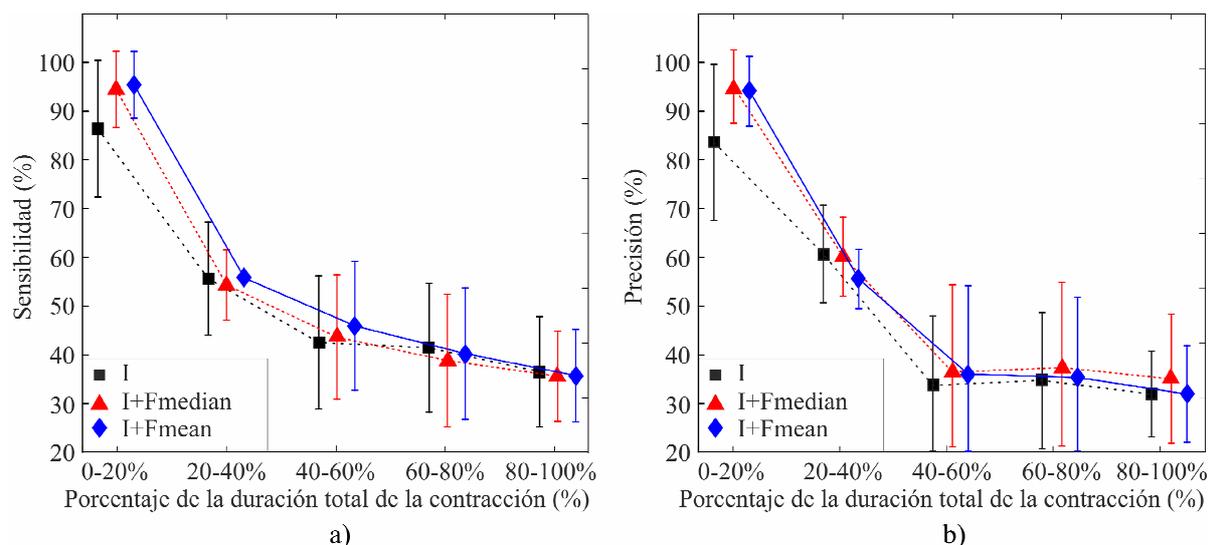


Figura 1: Sensibilidad (a) y precisión (b) de la identificación de tareas durante la prueba de fatiga usando los conjuntos de características I, I+Fmedian, y I+Fmean.

Tabla 2: Identificación de tareas y niveles de esfuerzo

Características	Sensibilidad (%)	Precisión (%)
I	85.3 ± 5.3	86.8 ± 5.2
I+Fmedian	86.3 ± 5.7	87.8 ± 5.4
I+Fmean	87.4 ± 5.5	88.7 ± 5.3

Para analizar más en detalle la capacidad del clasificador de discriminar entre niveles de esfuerzo específicos, se realizaron pruebas adicionales: se identificó el nivel de esfuerzo para cada tarea separadamente. Esto conllevó el uso de cuatro clasificadores diferentes, uno para cada tarea, para identificar tres niveles de esfuerzo. Solamente se utilizaron las características relacionadas con los pares de músculos agonistas y antagonistas, tal y como se describe en [6]: *biceps brachii* y *triceps brachii* para flexión y extensión, *biceps brachii*, *brachioradialis*, y *anconeus* para supinación, y *anconeus* y *pronator teres* para pronación. Los resultados de este análisis se muestran en las tablas 3 y 4. Mientras que con la flexión y la pronación no se observan diferencias significativas entre los conjuntos de características, con la extensión I+Fmean supera significativamente a I, y con la supinación I+Fmean supera de manera significativa a los otros dos conjuntos.

Tabla 3: Sensibilidad promedio en la identificación de niveles de esfuerzo

Tarea	I (%)	I+Fmedian (%)	I+Fmean (%)
Flexión	88.6 ± 9.8	87.9 ± 10.7	88.1 ± 10.8
Extensión	80.5 ± 13.2	82.0 ± 12.6	82.4 ± 12.1
Supinación	85.0 ± 11.7	87.0 ± 9.9	88.9 ± 9.2
Pronación	73.9 ± 8.2	73.7 ± 10.3	73.3 ± 10.2

Tabla 4: Precisión promedio en la identificación de niveles de esfuerzo

Tarea	I (%)	I+Fmedian (%)	I+Fmean (%)
Flexión	89.8 ± 9.3	89.0 ± 10.2	89.2 ± 10.1
Extensión	81.6 ± 13.6	83.2 ± 12.6	83.8 ± 11.7
Supinación	86.4 ± 11.2	87.8 ± 9.9	89.8 ± 8.9
Pronación	75.4 ± 9.1	75.8 ± 10.7	75.5 ± 10.1

Los resultados de la identificación de tareas durante fatiga se muestran en la figura 1. Únicamente se encontraron diferencias significativas durante el primer tramo (20%) del tiempo total de registro.

### 3 DISCUSIÓN

Este trabajo evalúa el uso de características frecuenciales calculadas a partir de la HD-EMG para la identificación de tareas motoras en la extremidad superior en pacientes con lesión medular incompleta. Se tuvieron en cuenta la frecuencia media y la frecuencia mediana en combinación con el valor cuadrático medio de la señal mioeléctrica. Un clasificador lineal sencillo y rápido (LDA) fue usado para identificar tareas y niveles de esfuerzo.

Los resultados demuestran que la identificación de tareas y de tareas y niveles de esfuerzo se puede beneficiar significativamente de la incorporación de características frecuenciales, especialmente la frecuencia media (I+Fmean). Por otro lado, al identificar el nivel de esfuerzo en tareas específicas, no ofrecieron resultados superiores en flexión o pronación, pero durante extensión y supinación I+Fmean mejoró significativamente la identificación. Al examinar la robustez de la combinación de intensidad y características frecuenciales ante fatiga

muscular, únicamente se encontraron diferencias entre los diferentes conjuntos de características al inicio de la prueba, cuando el efecto de la fatiga es mínimo. Este resultado puede explicarse por el hecho de que la frecuencia de la señal EMG se ve enormemente afectada por la fatiga [13]. De hecho, la frecuencia media y la frecuencia mediana son medidas utilizadas habitualmente para cuantificar y monitorizar la fatiga muscular [14]. Puesto que hay un cambio evidente en la frecuencia debido a la fatiga, estas medidas no consiguen ser efectivas para la identificación de tareas, ya que se trata de una aplicación en la cual las características deberían ser robustas e independientes de la fatiga.

Como extensiones futuras de este trabajo, sería interesante analizar la distribución espacial de la frecuencia en los músculos. Las características extraídas de este tipo de información podrían ser útiles en la identificación de tareas puesto que ya se ha demostrado que la distribución espacial de intensidad mejora los resultados.

Además, la distribución espacial de frecuencia podría proporcionar información sobre el tipo y la localización de fibras musculares en el músculo, ayudando a entender la influencia de la lesión sobre las estrategias de reclutamiento de fibras musculares específicas. Esto sería de gran ayuda para entender este tipo de lesiones y podría jugar un papel importante en la planificación de la terapia de rehabilitación.

Finalmente, dado que la frecuencia del EMG es un indicador importante de la fatiga muscular, la distribución espacial de la frecuencia podría usarse para monitorizar la fatiga y como información para los terapeutas durante el diagnóstico y la terapia. Por otro lado, en control de prótesis podría aportar información adicional para ajustar y adaptar el clasificador y así incrementar su robustez.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a los doctores Úrsula Costa y Josep Medina del Servicio de Rehabilitación Funcional del Hospital de Neurorehabilitación Institut Guttmann su colaboración en el reclutamiento de pacientes y el soporte clínico durante el desarrollo de los experimentos. Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el MINECO de España (DPI2014-59049-R) y por una beca de formación de investigadores (FI 2014) de AGAUR, Generalitat de Catalunya, España.

### Referencias

- [1] R. Merletti and P. (Philip A. . Parker, *Electromyography : physiology, engineering, and noninvasive applications*. Wiley-IEEE Press, 2004.
- [2] P. A. Parker and R. N. Scott, "Myoelectric control of prostheses," *Crit. Rev. Biomed. Eng.*, vol. 13, no. 4, pp. 283–310, 1986.
- [3] D. Farina, R. Merletti, and R. M. Enoka, "The extraction of neural strategies from the surface EMG: an update.," *J. Appl. Physiol.*, vol. 117, no. 11, pp. 1215–30, Dec. 2014.
- [4] M. Hakonen, H. Piitulainen, and A. Visala, "Current state of digital signal processing in myoelectric interfaces and related applications," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 18, pp. 334–359, 2015.
- [5] M. A. Oskoei and H. Hu, "Myoelectric control systems-A survey," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 2, no. 4, pp. 275–294, 2007.
- [6] M. Rojas-Martínez, M. a. Mañanas, J. F. Alonso, and R. Merletti, "Identification of isometric contractions based on High Density EMG maps," *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 23, no. 1, pp. 33–42, 2013.
- [7] M. Jordanić, M. Rojas-Martínez, M. A. Mañanas, J. F. Alonso, and H. R. Marateb, "A novel spatial feature for the identification of motor tasks using HD-EMG," *Sensors*, vol. Submitted , 2017.
- [8] M. Jordanic, M. Rojas-Martínez, M. A. Mañanas, and J. F. Alonso, "Spatial distribution of HD-EMG improves identification of task and force in patients with incomplete spinal cord injury," *J. Neuroeng. Rehabil.*, vol. 13, no. 1, p. 41, 2016.
- [9] M. Jordanić, M. Rojas-Martínez, M. A. Mañanas, and J. F. Alonso, "Prediction of isometric motor tasks and effort levels based on high-density EMG in patients with incomplete spinal cord injury," *J. Neural Eng.*, vol. 13, no. 4, p. 046002, 2016.
- [10] R. Merletti, A. Botter, A. Troiano, E. Merlo, and M. A. Minetto, "Technology and instrumentation for detection and conditioning of the surface electromyographic signal: State of the art," *Clin. Biomech.*, vol. 24, no. 2, pp. 122–134, 2009.
- [11] M. Rojas-Martínez, M. a Mañanas, and J. F. Alonso, "High-density surface EMG maps from upper-arm and forearm muscles.," *J. Neuroeng. Rehabil.*, vol. 9, p. 85, Jan. 2012.
- [12] F. Mosteller, "A k-Sample Slippage Test for an Extreme Population on JSTOR," *Ann. Math. Stat.*, vol. 19, no. 1, pp. 58–65, 1948.

- [13] N. K. Vøllestad, "Measurement of human muscle fatigue," *J. Neurosci. Methods*, vol. 74, no. 2, pp. 219–227, 1997.
- [14] H. Hermens and B. Freriks, *SENIAM 9: European Recommendations for Surface ElectroMyoGraphy, results of the SENIAM project (CD)*. Roessingh Research and Development, 1999.