

# 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 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

---

<b>Ingeniería de Control</b>	
<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 FOTOBIORREACTORES 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>	

# DETECCIÓN, MEDIANTE UN GUANTE SENSORIZADO, DE MOVIMIENTOS SELECCIONADOS EN UN SISTEMA ROBOTIZADO COLABORATIVO PARA HALS

Lidia Santos, José L. González, Eusebio de la Fuente, Juan C. Fraile, Javier P. Turiel.  
ITAP - Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción, Universidad de Valladolid.  
lidia.santos@uva.es ; {jossan, efuente, jcfraile, turiel}@eii.uva.es

## Resumen

*El uso de robots ha permitido importantes progresos en el campo de la cirugía laparoscópica convencional. Sin embargo, se ha prestado poca atención a la cirugía laparoscópica asistida a mano, una cirugía en la que el cirujano introduce la mano no dominante en el abdomen del paciente. El riesgo de colisión entre la mano del cirujano y la herramienta movida por el robot es un problema que ha de abordarse.*

*También ha habido un creciente interés en los wearables, lo que nos lleva a la aplicación de un guante sensorizado que colabora con un robot en este tipo de cirugía. El objetivo de este trabajo es analizar la información proporcionada por un guante sensorizado de los movimientos de la mano del cirujano para determinar las acciones que llevará a cabo el robot colaborativo.*

*La inclusión de un guante quirúrgico sensorizado en cirugía laparoscópica asistida por la mano (Hand Assisted Laparoscopic Surgery, HALS) dentro de un sistema colaborativo robotizado permitiría enviar información sobre movimientos específicamente seleccionados realizados por la mano del cirujano durante la intervención. Para ello han de definirse de forma unívoca ciertos movimientos de la mano que se han de identificar online para que el robot colaborativo realice las actividades pertinentes.*

**Palabras Clave:** HALS (Hand Assisted Laparoscopic Surgery), cirugía laparoscópica asistida por la mano, guante de datos sensorizado, *wearable*, patrones de movimiento, sistema colaborativo.

## 1 INTRODUCCIÓN

La cirugía laparoscópica asistida por la mano (Hand Assisted Laparoscopic Surgery, HALS) es un tipo de cirugía laparoscópica en la que el cirujano introduce su mano no dominante en la cavidad abdominal del paciente, recuperando así el sentido del tacto y las habilidades para suturar y diseccionar con la mano, las cuales se habían perdido con la cirugía laparoscópica

tradicional [16] y dotando a esta cirugía de las ventajas de la cirugía abierta convencional y la cirugía laparoscópica [1, 7, 10, 15, 16]. La cirugía laparoscópica ha ido evolucionando e incluyendo nuevas herramientas para aportar una mayor estabilidad y precisión en los movimientos de los endoscopios [2, 3, 17], como la utilización de brazos quirúrgicos como el robot Da-Vinci o robots asistentes semiautónomos [4, 11]. También ofrece ventajas frente a la laparotomía como son hospitalizaciones más cortas, incisiones más pequeñas y menos pérdidas de sangre [5, 9].

Por otro lado, el creciente desarrollo de guantes sensorizados ha propiciado su utilización en diferentes ámbitos que abarcan desde la rehabilitación hasta la interpretación de la lengua de signos. [6]. Se propone, por tanto, la utilización de un guante sensorizado por parte del cirujano en operaciones de cirugía laparoscópica.

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación cuyo objetivo principal es el desarrollo de un sistema robotizado colaborativo para cirugía laparoscópica asistida por la mano. Como parte de este proyecto se considera el desarrollo e integración en el sistema de un guante quirúrgico sensorizado y un sistema de visión artificial. Para ello, se propone mejorar la funcionalidad del guante del cirujano, incluyendo diferentes sensores para la captación de la posición de la mano pudiendo así realizar operaciones en colaboración con robots quirúrgicos mediante un sistema colaborativo robotizado.

En cada instante, el guante quirúrgico sensorizado obtendrá la posición de la mano, que se define como la postura que adopta, es decir, el grado de flexión de cada dedo. A su vez, el sistema de visión determinará la localización de la punta de los dedos respecto a un eje de referencia determinado.

Los datos de posición y localización se utilizarán tanto para evitar colisiones con herramientas laparoscópicas, así como para generar un entorno de realidad aumentada con los datos de la cavidad abdominal del paciente y la mano del cirujano.

Por ello, en este artículo se plantea su utilización para la comunicación con un robot colaborativo en una cirugía laparoscópica asistida por la mano. Se espera que el sistema reconozca la fase actual de la intervención mediante la identificación de los movimientos de la mano del cirujano. Con esta información, los brazos robóticos actuarán de forma colaborativa con el cirujano y le asistirán con la herramienta articulada y ubicando el endoscopio y los mini-robots en las localizaciones adecuadas para proporcionar una visión completa y adecuada del campo quirúrgico, permitiendo realizar la cirugía con seguridad y precisión.

Para llevarlo a cabo se ha utilizado un guante de datos para poder analizar *online* los movimientos realizados por la mano que el cirujano introduce durante la operación en la cavidad abdominal del paciente. Se han definido diferentes movimientos teniendo en cuenta los movimientos que se realizan con la mano a analizar durante una cirugía HALS [13]. Dichos movimientos definidos no han de confundirse con movimientos realizados comúnmente durante la operación y servirán para generar comandos que, a través del sistema de control global, serán enviados al robot colaborativo para su ejecución durante la operación.

El guante sensorizado se ha considerado como un instrumento ideal para medir la cinemática de la mano en aplicaciones tales como la rehabilitación, la realidad virtual, la actuación musical, los videojuegos, la teleoperación y la robótica [6, 8, 12, 14].

En este estudio se ha usado un guante comercial, 5DT Data Glove, de 5 sensores, que se caracteriza por la utilización de sensores basados en fibra óptica con una resolución A/D de 12 bits. Viene provisto con un terminal USB para realizar la conexión con un PC por lo que se elimina la necesidad de una fuente de alimentación externa. El guante de 5 sensores posee un sensor por dedo por lo que proporciona un único dato para definir la posición de cada dedo colocado según podemos ver en la Figura 1.



Figura 1: Posición de los sensores en el guante 5DT de 5 sensores.

El programa de gestión del guante detecta el puerto USB en el que está conectado y comienza la inicialización del guante en la que se recogen los

valores del tipo de mano (derecha o izquierda) y el tipo de guante dependiendo del número de sensores que tiene. Posteriormente el guante pasa a la toma y envío de datos con los valores de los 5 sensores con una frecuencia de muestreo de 75 Hz.

Usando este guante, se han definido varios movimientos de la mano, con un significado específico, que puede realizar el cirujano durante una HALS, y se ha desarrollado un algoritmo para su detección. Los movimientos definidos anteriormente no se deben confundir con los movimientos realizados comúnmente durante la operación. Se enviarán a un sistema de reconocimiento y gestión global para generar los comandos pertinentes que se enviarán al robot colaborativo para su ejecución durante la cirugía.

En este artículo se comentarán los resultados referidos a un movimiento seleccionado como ejemplo.

## 2 DEFINICIÓN DE MOVIMIENTO A DETECTAR

Los movimientos seleccionados no corresponden a gestos estáticos de la mano sino a gestos dinámicos, e intencionados, que van a tener un significado en el sistema, en relación con los comandos que el cirujano desea enviar al robot colaborativo en el curso de la operación quirúrgica. Dado que tienen un significado concreto, han de definirse previamente según un perfil. Cuando el cirujano realiza el movimiento, éste se ejecutará en un intervalo como una secuencia de posiciones que toma la mano, siendo capturadas por los sensores del guante e identificados por un algoritmo que reconoce el movimiento por comparación con el patrón. La velocidad a la que se realizan los movimientos a identificar es mayor que el resto de los realizados durante la operación. En la figura 2 se muestran las posiciones inicial y final de un movimiento específico seleccionado como ejemplo en este artículo y que se puede interpretar como un comando de acercamiento de la herramienta laparoscópica.

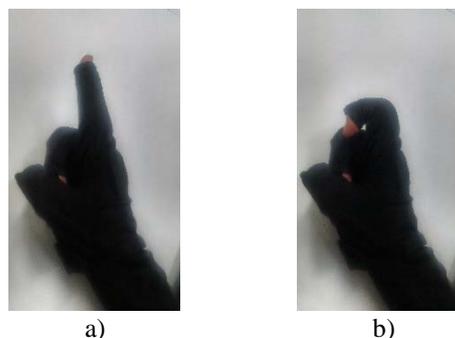


Figura 2: Posiciones inicial, a), y final, b), del movimiento seleccionado como ejemplo.

La posición a), con el dedo índice extendido, pasaría a la posición b), flexionando el dedo. Posteriormente se volvería a la posición a), extendiendo el dedo índice. Se considera que el movimiento se ha realizado cuando se detecte la secuencia a-b-a-b-a. El ciclo completo podría repetirse varias veces. El resto de los dedos de la mano permanecen quietos, por lo que su posición a lo largo del movimiento no cambia significativamente.

### 3 TOMA DE DATOS Y ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO

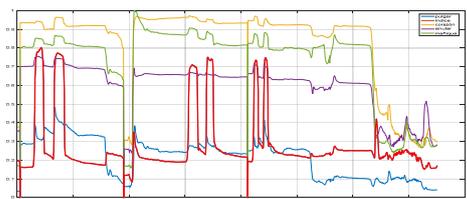


Figura 3: Captura de datos de los sensores del guante

La figura 3 muestra una captura típica de datos de los sensores del guante asociados a los dedos de la mano. El eje de abscisas representa el tiempo y el de ordenadas, entre 0 y 1, muestra la flexión del sensor correspondiente, con valores bajos, cercanos a 0 cuando está flexionado, y con valores altos, cercanos a 1, cuando está extendido. Pueden observarse, siguiendo la línea roja correspondiente a la señal del dedo índice, que el ciclo completo del movimiento definido previamente se ha repetido, aparentemente, tres veces.

En el análisis de los datos se ha de tener en cuenta cómo se realiza el movimiento, tanto en recorrido de flexión/expansión de los dedos involucrados como en velocidad, para que no se confunda con movimientos realizados de manera accidental.

El primer paso consiste en la caracterización del movimiento seleccionado para generar las ordenes que serán enviadas al robot colaborativo. En la Figura 4 se representa el movimiento seleccionado. Para su análisis y caracterización se ha de tener en cuenta: el valor de flexión proporcionado por el guante y proporcional a la flexión del sensor y por tanto del dedo correspondiente (Figura 4), la velocidad a la que se realiza (Figura 5), y el tiempo en el que se lleva a cabo. Por ello habrá que definir unos parámetros característicos que variarán según el tipo de movimiento y la persona que lo realiza, lo que hace necesario un aprendizaje previo, para cada persona y cada movimiento, que permita su parametrización.

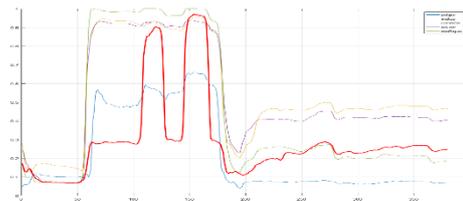


Figura 4: Gráfica con los valores proporcionados por el guante de datos durante la realización del movimiento seleccionado.

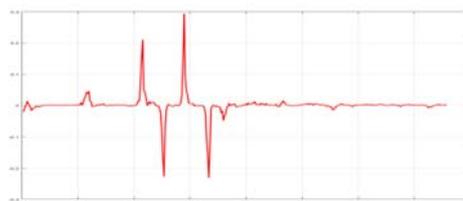


Figura 5: Gráfica de la velocidad del dedo índice durante la realización del movimiento.

Analizando la velocidad (Figura 5) podemos observar cuándo se realizan movimientos a una velocidad mayor que los movimientos realizados de forma involuntaria. Según sea negativa o positiva la velocidad, podemos saber si el dedo está realizando un movimiento de apertura o de cierre. Estas velocidades servirán como umbral para que el algoritmo desarrollado considere que se está realizando un moviendo.

Observando las gráficas obtenidas al realizar el movimiento seleccionado, podemos diferenciar movimientos de cierre y apertura, flexión/expansión de los dedos, coincidiendo respectivamente con los descensos y ascensos en la gráfica.

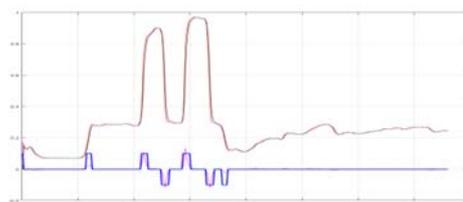


Figura 6: Gráfica con los valores proporcionados por el guante de datos durante la realización del movimiento seleccionado, correspondiente al dedo índice.

### 4 DEFINICIÓN DE PATRONES DE MOVIMIENTO

Para obtener el patrón de cada movimiento se ha tenido en cuenta los dedos involucrados, la velocidad de los movimientos y el carácter en sí del movimiento (flexión o extensión).

Hallando las características particulares de cada movimiento definido en el protocolo, podemos crear un patrón para su identificación.

Teniendo en cuenta la velocidad consideramos sólo si el dedo está en movimiento o no. Tenemos que considerar la velocidad a la que se realizan los movimientos para no confundir los movimientos definidos con otros realizados durante la operación.

El análisis de la velocidad es importante ya que no sólo analizamos la posición inicial y final del movimiento, sino que también buscamos analizar cómo se llega de la una a la otra. Con ello nos aseguramos de que el movimiento se realiza de manera precisa, conscientemente, y no es debido a diferentes posiciones que adoptará la mano del cirujano durante la intervención.

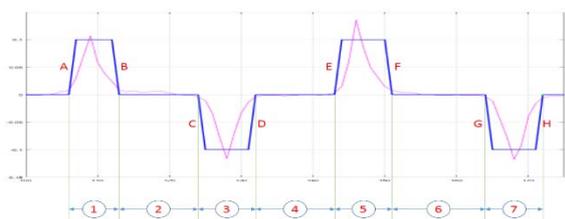


Figura 7. Caracterización del patrón de movimiento seleccionado

Para obtener los parámetros característicos del movimiento definido, se tiene en cuenta varias tomas del mismo movimiento realizado por la misma persona. La Figura 7 muestra el patrón del movimiento seleccionado. Se consideran 7 intervalos delimitados por flancos ascendentes o descendentes de la curva de velocidad (curva rosa) cuando sobrepasan un cierto valor de umbral. Para que el movimiento se considere realizado, se han de detectar los 7 intervalos, así como que los valores de la señal, correspondiente a flexión/expansión completa, alcancen unos valores que dependen de la persona que realiza el movimiento.

Para cada uno de los 7 intervalos se define un rango de valores, que también serán propios de cada persona. La forma de caracterizarlos consiste en realizar múltiples repeticiones del movimiento, tras un aprendizaje, y calcular la media y desviación típica de cada intervalo.

## 5 DETECCIÓN DE PATRONES

El algoritmo desarrollado analiza los valores de cada sensor buscando los patrones definidos de cada movimiento que se defina.

Comparando el valor actual del guante respecto del valor en el instante anterior podemos deducir si el

dedo en cuestión está flexionándose, estirándose o permanece en la misma posición. Con la comparación de dichos valores y teniendo en cuenta el tiempo, podemos obtener la velocidad con la que se está realizando el movimiento del dedo.

Se han definido umbrales para evitar que no se consideren como movimiento pequeñas oscilaciones.

Lo primero que hace el algoritmo es catalogar el movimiento de cada dedo como flexión, extensión o paro analizando el valor de cada sensor con el valor en el instante anterior. Para que se considere movimiento debe superar un umbral para evitar catalogar de forma errónea una oscilación del dedo como un movimiento.

Dos consideraciones: una para considerarse movimiento respecto con el valor anterior y otra estar el tiempo suficiente como para considerarlo el movimiento definido.

El algoritmo analiza los valores del sensor para detectar algún sub-movimiento perteneciente a los movimientos que se definan. Una vez que detecta un sub-movimiento, lo cataloga como posible parte de un movimiento y sigue analizando los valores para confirmar o no si se realizan todos los sub-movimientos que definen el posible movimiento a detectar.

Si no hay confirmación, sigue buscando sub-movimientos que puedan corresponder con el inicio de algún movimiento.

El algoritmo para la detección de movimientos analizará las velocidades a la que se están moviendo los dedos para detectar si puede considerarse parte de alguno de ellos.

## 6 PRUEBAS

Las pruebas realizadas están relacionadas con la definición y detección de movimientos, así como con la precisión de la detección de los mismos.

En la Figura 7 se muestra una captura de datos del guante para la prueba de detección del movimiento seleccionado. En el eje de ordenadas no se representa el valor real de los datos medidos por los sensores, que está entre 0 y 1, sino que se ha separado la representación de cada sensor, aunque a escala, para facilitar la interpretación. Se observa que, aunque el dedo índice es el que se mueve intencionadamente para reproducir el movimiento, el resto de los dedos siguen movimientos no intencionados. Se ha de tener en cuenta que el movimiento de los dedos no es completamente independiente, sino que el movimiento intencionado de unos, por ejemplo, el

índice, conlleva un movimiento no intencionado de otros, como se refleja en la figura 8:

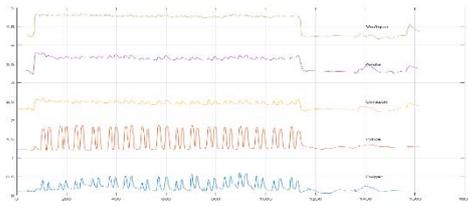


Figura 8: Captura de datos del guante en prueba de movimiento

Como se puede ver en la Figura 8, el movimiento seleccionado se ha reproducido, aparentemente, 16 veces. En la Figura 9 se representan los datos correspondientes al sensor del dedo índice, así como las líneas de velocidad y de seguimiento del patrón caracterizado en la figura 6. Se observa que, en realidad, el movimiento se ha detectado en 14 ocasiones, representado con asteriscos verdes en la curva del patrón, y en dos ocasiones ha fallado la detección, debido a que los datos no concuerdan con los parámetros que definen el patrón de movimiento. En concreto, alguna de las siguientes razones: que el nivel los datos correspondientes a la flexión del dedo índice alcance un valor inferior a 0.3 y en el caso de la expansión sobrepase el valor de 0.7, que se siga el perfil de movimiento, o que las duraciones temporales de cada intervalo, estén dentro de los rangos que se definan para la persona que realiza el movimiento, es decir, a partir de los valores medios y desviación típica de cada intervalo temporal tras múltiples repeticiones intencionadas del movimiento.

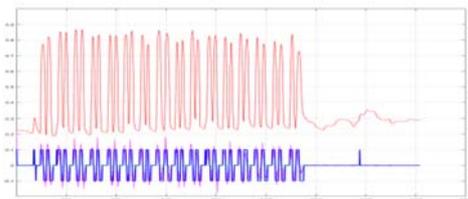


Figura 9: Datos correspondientes al dedo índice y seguimiento del patrón de movimiento

En los experimentos realizados con el guante, el algoritmo desarrollado permite detectar el movimiento definido entre varios movimientos realizados. Lógicamente, para ser identificados con el patrón, los movimientos ejecutados por el cirujano deben comenzar y terminar con posiciones similares a las de los patrones y no incluir movimientos intermedios extraños.

La identificación de estos movimientos no sólo se basa en las posiciones inicial y final a sí mismo, sino que las posiciones y velocidades se analizan en cada momento para determinar si conforman un patrón similar al del modelo. Esto permite analizar patrones

con más información y que se pueden identificar de una forma mucho más confiable evitando errores en aquellas situaciones donde las posiciones son similares pero la velocidad de ejecución de la maniobra es muy diferente.

## 7 CONCLUSIONES

En este artículo, se ha considerado el uso de un guante sensorizado que incorpora 5 sensores, uno por cada dedo, para su uso en cirugía laparoscópica asistida por la mano (HALS). El objetivo ha consistido en identificar el proceso que el cirujano está llevando a cabo en cada momento y, por tanto, poder enviar automáticamente los comandos pertinentes a un robot colaborativo. Las características de los movimientos de los dedos han sido estudiadas desde la posición inicial hasta la final en las operaciones / maniobras contempladas. Estos patrones se han unido al algoritmo de detección y ha permitido obtener un sistema que ha demostrado ser muy efectivo en la discriminación de este primer conjunto de movimientos considerados.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, a través del subproyecto: "Sensorized HALS. Entorno sensorizado para cirugía laparoscópica asistida por la mano", definido dentro del proyecto coordinado "Sistema robotizado colaborativo para cirugía laparoscópica asistida por la mano". DPI2013-47196-C3-3-R.

## Referencias

- [1] Aalbers G. J., Doeksen a, Van Berge M. I. Henegouwen, Bemelman W., (2010) "Hand-assisted laparoscopic versus open approach in colorectal surgery: a systematic review", *Colorectal Dis.*, vol. 12, no. 4, pp. 287–295.
- [2] Bauzano, E., (2013) "A minimally invasive surgery robotic assistant for HALS-SILS techniques", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 112:2, Nov. 2013, pp. 272-283.
- [3] Bauzano, E., Garcia-Morales, I., del Saz-Orozco, P., Fraile, J.C., Muñoz, V.F., (2014) "Robot collaborative assistance for suture procedures via minimally invasive surgery", *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 252, pp. 255-269.
- [4] Da Vinci Surgery: Minimally Invasive Surgery. <http://www.davincisurgery.com/> (28 abril 2017)

- [5] Ding J., Xia Y., Liao G., Zhang Z., Liu S., Zhang Y., Yan Z. (2014) "Hand-assisted laparoscopic surgery versus open surgery for colorectal disease: a systematic review and meta-analysis," *The American Journal of Surgery*, vol. 207, no. 1, pp. 109–119
- [6] Dipietro, L., Sabatini, A.M., Dario, P. (2008) "A survey of glove-based systems and their applications", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 38:4, pp 461-482.
- [7] Jayne D.G., Thorpe H.C., Copeland J., Quirke P., Brown J.M., Guillou P. J., (2010) "Five-year follow-up of the Medical Research Council CLASICC trial of laparoscopically assisted versus open surgery for colorectal cancer," *Br. J. Surg.*, vol. 97, no. 11, pp. 1638–1645.
- [8] LaViola, J.J. (1999), "A survey of hand posture and gesture recognition techniques and technology". Brown Univ. Providence. RI.
- [9] Leraas H. J., Ong C. T., Sun Z., Adam M. A., Kim J., Gilmore B. F., Ezekian B., Nag U. S., Mantyh C. R., Migaly J. (2017) "Hand-Assisted Laparoscopic Colectomy Improves Perioperative Outcomes Without Increasing Operative Time Compared to the Open Approach: a National Analysis of 8791 Patients", *J Gastrointest Surg.* 21:4, pp. 684-691
- [10] Nakajima K., Lee S. W., Cocilovo C., Foglia C., Sonoda T., Milsom J. W., (2004) "Laparoscopic total colectomy: Hand-assisted vs standard technique," *Surg. Endosc. Other Interv. Tech.*, vol. 18, no. 4, pp. 582–586.
- [11] Proyecto BROCA. <http://www.proyecto-broca.es> (28 abril 2017)
- [12] Sánchez-Margallo, F. M.; Pérez-Duarte, F. J.; Sánchez-Margallo, J. A.; Lucas-Hernández, M.; Matos-Azevedo, A. M.; Díaz-Güemes, I. (2014) "Application of a motion capture data glove for hand and wrist ergonomic analysis during laparoscopy". *Minim. Invasive Ther. Allied Technol.* 23,pp. 350–356.
- [13] Shiozaki A., et al. (2017) "Hand-assisted technique beneficial for laparoscopic transhiatal esophagectomy with en-bloc dissection of middle and lower mediastinal lymph nodes: roles of the operator's left hand", *Esophagus*, 14: 2, pp 138–145
- [14] Sturman, D. J.; Zeltzer, D. (1994) "A Survey of Glove-based Input", *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 14, pp. 30–39.
- [15] Swanson T. W., Meneghetti A. T., Sampath S., Connors J. M., and Panton O. N. M, (2011) "Hand-assisted laparoscopic splenectomy versus open splenectomy for massive splenomegaly: 20-Year experience at a Canadian centre," *Can. J. Surg.*, vol. 54, no. 3, pp. 189–193.
- [16] Targarona, E.M., Gracia, E., Garriga, J., Martínez-Bru, C., Cortés, M., Boluda, R., Lerma, L., Trías, M., (2002) "Prospective randomized trial comparing conventional laparoscopic colectomy with hand-assisted laparoscopic colectomy: Applicability, immediate clinical outcome, inflammatory response, and cost", *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 16:2, pp. 234-239.
- [17] Taylor, R.H., Funda, J., Eldridge, B., Gomory, S., Gruben, K., LaRose, D., Talamini, M., Kavoussi, L., Anderson, J., (1995) "A telerobotic assistant for laparoscopic surgery", *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 14:3, pp. 279-288.