

ACTAS

DE LAS

XXXVIII Jornadas de Automática

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



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo



CEA
*Comité Español
de Automática*

Colabora

Gijón

Convention Bureau

Actas de

XXXVIII

Jornadas de Automática

© 2017 Universidad de Oviedo
© Los autores

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

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

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

Prefacio

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

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

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

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

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

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López
Presidente del Comité Organizador

Program Committee

Antonio Agudo	Institut de Robòtica i Informàtica Industrial
Rosa M Aguilar	University of La Laguna.
Luciano Alonso	University of Cantabria
Ignacio Álvarez García	Universidad de Oviedo
Antonio Javier Artuñedo García	Centre for Automation and Robotics (CSIC-UPM)
José M. Azorín	Miguel Hernandez University of Elche
Pedro Balaguer	Universitat Jaume I
Antonio Javier Barragán Piña	Universidad de Huelva
Alfonso Baños	Universidad de Murcia
Guillermo Bejarano	University of Seville
Gerardo Beruvides	Centro de Automática y Robótica
Carlos Bordons	University of Seville
Jose Manuel Bravo	University of Huelva
Jose Luis Calvo-Rolle	University of A Coruña
Fernando Castaño Romero	Centro de Automática y Robótica (UPM -CSIC)
José Luis Casteleiro-Roca	University of Coruña
Alvaro Castro-Gonzalez	Universidad Carlos III de Madrid
Ramon Costa-Castelló	Universitat Politècnica de Catalunya
Abel A. Cuadrado	University of Oviedo
Arturo De La Escalera	Universidad Carlos III de Madrid
Emma Delgado	Universidad de Vigo
Jose-Luis Diez	Universitat Politecnica de Valencia
Manuel Domínguez	Universidad de León
Juan Manuel Escaño	Universidad de Sevilla
Mario Francisco	University of Salamanca
Maria Jesus Fuente	Universidad de Valladolid
Juan Garrido	Universtiy of Cordoba
Antonio Giménez	Universidad de Almeria
Evelio Gonzalez	Universidad de La Laguna
José-Luis Guzmán	Universidad de Almería
Rodolfo Haber	Center for Automation and Robotics (UPM-CSIC)
César Ernesto Hernández	Universidad de Almería
Eloy Irigoyen	UPV/EHU
Agustin Jimenez	Universidad PolitÁcnica de Madrid
Emilio Jiménez	University of La Rioja
Jesus Lozano	Universidad de Extremadura
Jorge Luis Madrid	Centro de Automática y Robótica
Luis Magdalena	Universidad 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
MiguelÁngel Ridao	Universidad de Sevilla
Gregorio Sainz-Palmero	Universidad de Valladolid
Antonio Sala	Universitat Politecnica de Valencia
Ester Sales-Setién	Universitat Jaume I
Jose Sanchez	UNED
Javier Sanchis Saez	Universitat Politecnica de Valencia (UPV)
José Pedro Santos	ITEFI-CSIC
Matilde Santos	Universidad Complutense de Madrid
Alvaro Serna	University of Valladolid
José Enrique Simó	Universidad Politécnica de Valencia
José A. Somolinos	ETS I Navales. Universidad Politecnica de Madrid
Fernando Tadeo	Univ. of Valladolid
Alejandro Tapia	Universidad de Loyola Andalucía
David Tena	Universitat Jaume I
Jesús Torres	Universidad de La Laguna
Pedro M. Vallejo	Universidad de Salamanca
Guilherme Vianna	Universidad de Sevilla
Alejandro Vignoni	AI2 - UPV
Ramón Vilanova	UAB
Francisco Vázquez	Universidad de Cordoba
Jesús M. Zamarreño	University of Valladolid

Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

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

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

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

Hernandez Ruiz, Alejandro
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

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

Núñez, Luis Ramón

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

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

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor

Table of Contents

Ingeniería de Control	
<hr/>	
TÚNEL DE AGUA PARA PRUEBAS Y CARACTERIZACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES DE TURBINAS HIDROCINÉTICAS	1
<i>Eduardo Alvarez, Manuel Rico-Secades, Antonio Javier Calleja Rodríguez, Joaquín Fernández Francos, Aitor Fernández Jiménez, Mario Alvarez Fernández and Samuel Camba Fernández</i>	
Reduction of population variability in protein expression: A control engineering approach.	8
<i>Yadira Boada, Alejandro Vignoni and Jesús Picó</i>	
CONTROL ROBUSTO DEL PH EN 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/> Automar <hr/>	
INFRAESTRUCTURA PARA ESTUDIAR ADAPTABILIDAD Y TRANSPARENCIA EN EL CENTRO DE CONTROL VERSÁTIL.....	203
<i>Juan Antonio Bonache Seco, José Antonio Lopez Orozco, Eva Besada Portas and Jesús Manuel de La Cruz</i>	
ARQUITECTURA DE CONTROL HÍBRIDA PARA LA NAVEGACIÓN DE VEHÍCULOS SUBMARINOS NO TRIPULADOS.....	211
<i>Francisco J. Lastra, Jesús A. Trujillo, Francisco J. Velasco and Elías Revestido</i>	

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

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

ANÁLISIS FORMAL DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS NO LINEALES MEDIANTE REDES NEURONALES.....	376
<i>Eloy Irigoyen, Mikel Larrea, A. Javier Barragán, Miguel Ángel Martínez and José Manuel Andújar</i>	
Predicción de la energía renovable proveniente del oleaje en las islas de Fuerteventura y Lanzarote.....	384
<i>G.Nicolás Marichal, Deivis Avila, Ángela Hernández, Isidro Padrón and José Ángel Rodríguez</i>	
Aplicación de Redes Neuronales para la Estimación de la Resistencia al Avance en Buques	393
<i>Daniel Marón Blanco and Matilde Santos</i>	
Novel Fuzzy Torque Vectoring Controller for Electric Vehicles with per-wheel Motors.....	401
<i>Alberto Parra, Martín Dendaluze, Asier Zubizarreta and Joshué Pérez</i>	
REPOSTAJE EN TIERRA DE UN AVIÓN MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS .	408
<i>Elías Plaza and Matilde Santos</i>	
VISUALIZACIÓN WEB INTERACTIVA PARA EL ANÁLISIS DEL CHATTER EN LAMINACIÓN EN FRÍO.....	416
<i>Daniel Pérez López, Abel Alberto Cuadrado Vega and Ignacio Díaz Blanco</i>	
BANCADA PARA ANÁLISIS INTELIGENTE DE DATOS EN MONITORIZACIÓN DE SALUD ESTRUCTURAL.....	424
<i>Daniel Pérez López, Diego García Pérez, Ignacio Díaz Blanco and Abel Alberto Cuadrado Vega</i>	
CONTROL DE UN VEHÍCULO CUATRIRROTOR BASADO EN REDES NEURONALES.....	431
<i>Jesus Enrique Sierra and Matilde Santos</i>	
CONTROL PREDICTIVO FUZZY CON APLICACIÓN A LA DEPURACIÓN BIOLÓGICA DE FANGOS ACTIVADOS.....	437
<i>Pedro M. Vallejo Llamas and Pastora Vega Cruz</i>	
<hr/> Educación en Automática <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>	

Uso del Haptic Paddle con aprendizaje basado en proyectos

Juan M. Gandarias, Antonio J. Muñoz-Ramírez y Jesús M. Gómez-de-Gabriel
 Dto. de Ingeniería de Sistemas y Automática
 Escuela de Ingenierías Industriales
 Universidad de Málaga
 jesus.gomez@uma.es

Resumen

En este trabajo se presenta la experiencia de la utilización docente de un dispositivo háptico desarrollado como una nueva versión del Haptic Paddle, creado en la Universidad de Stanford a mediados de los 90. Se trata de un dispositivo educativo de bajo coste y simple que puede ser ensamblado y programado por los estudiantes, y que se usó para enseñanza de dinámica de sistemas. El diseño realizado usa una electrónica completamente off the shelf, rodamientos y tornillería métrica estándar y piezas fabricadas mediante impresión 3D. En este trabajo se presenta este dispositivo junto con la experiencia de su utilización docente, mediante aprendizaje basado en proyectos, en una asignatura de máster de ingeniería mecatrónica. Se trata de la primera experiencia con un total de ocho kits de haptic paddle en la asignatura de Teleoperación y Telerrobótica, junto con aprendizaje basado en proyectos (ABP) y el uso de lenguajes de modelado. Se describen la organización y el desarrollo de las sesiones de prácticas con conclusiones sobre la adecuación de los dispositivos y métodos utilizados.

Palabras clave: Educación, Ingeniería basada en modelos, Aprendizaje basado en proyectos, Haptics, Teleoperación, Simulink.

1. INTRODUCCIÓN

Las nuevas tendencias en la enseñanza de la ingeniería vienen ligadas a conceptos como aprendizaje colaborativo (AC), aprendizaje basado en problemas/proyectos (ABP) o el aprendizaje autónomo, entre otros. La incorporación de estos conceptos en la formación universitaria forma parte de una metodología integradora que aproxima al estudiante a su futura vida profesional.

El uso de equipos de prácticas de bajo coste se ha visto impulsado en los últimos años en distintas ramas de la ingeniería como la robótica [6] y la telerrobótica [13] gracias a la aparición de nuevas tecnologías basadas en software y hardware libres como el uso de impresoras 3D o plataformas, co-

mo Arduino. En este sentido se pueden encontrar un gran número de trabajos en los que se utilizan equipos de prácticas con distintas metodologías docentes. En [7], por ejemplo, se describe el uso de robots móviles LEGO NXT con LabVIEW en asignaturas de mecatrónica.

Dentro del uso de equipos de prácticas de robótica y la aplicación de distintas metodologías docentes, se pueden encontrar trabajos en los que se aplica el uso de programación basada en lenguajes de modelado de dominio específico [6, 8, 14]. En otros trabajos se aplica la programación basada en modelos de dominio específico con el fin de aliviar la carga del docente [1, 2, 3].

Por otro lado, existen equipos de prácticas basados en dispositivos hápticos. Entre ellos destaca en el uso de las paletas hápticas o *haptic paddle* [15]. El *haptic paddle* es un dispositivo didáctico de realimentación de fuerzas que dispone de un único grado de libertad, actuado mediante un motor de corriente continua, con un sensor de posición angular y un microcontrolador, generalmente, basado en Arduino. Este tipo de dispositivos ha sido ampliamente probado en labores docentes de robótica, háptica y teleoperación, modelado y simulación de sistemas y programación de entornos virtuales [10, 16, 9, 4, 13, 5].

Si bien existen diferencias entre las distintas versiones, todas las paletas hápticas comparten un a serie de características principales :

- Un grado de libertad: Lo que reduce su coste y complejidad
- Realimentación de fuerzas de tipo impedancia: el dispositivo usa como entradas el par, y devuelve su posición. La fuerza que se presenta al usuario se calcula en base al desplazamiento.
- Motor eléctrico de corriente continua.
- Interfaz de usuario de tipo palanca.
- Control mediante un microcontrolador embebido en tiempo real.

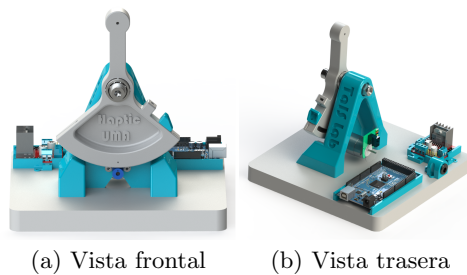


Figura 1: Vista frontal y trasera de los equipos de prácticas utilizados durante el curso 2016/2017

Este artículo presenta las experiencias del uso de la metodología ABP y de programación basada en lenguajes de modelado de dominio específico (simulink) con los *haptics paddle*. Asimismo, se hace una valoración de los resultados obtenidos en base a los modelos docentes aplicados.

El desarrollo e implementación de los haptic paddle se ha realizado en el *TaISLab (Teleoperation and Interactive Systems Laboratory)* del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Málaga [19]. Asimismo, se ha creado un repositorio Github [18] donde se encuentran los archivos y programas relacionados con el proyecto.

El artículo se estructura de la siguiente manera. En la sección 2, se presentan las características de los equipos de prácticas utilizados, así como los detalles de implementación y las metodologías docentes aplicadas. En la sección 3 se describe el entorno de aplicación de los haptic paddle y las distintas técnicas de enseñanza. A continuación se detallan la experiencia y los resultados obtenidos y, por último, se describen las conclusiones.

2. HAPTIC PADDLE DEL TAISLAB

2.1. Características generales

En la figura 1 se muestra la vista lateral y frontal del dispositivo haptic paddle desarrollado para la aplicación de las metodologías docentes que se describen en este artículo.

En la figura 2 se pueden observar algunos de los equipos de prácticas que se han construido para su utilización en la asignatura de Teleoperación y Teilerrobótica del Máster en Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Málaga.

Cada de uno de estos equipos consta de un *haptic paddle* construido mediante técnicas de fabricación aditivas con impresoras 3D comerciales de tecnología FDM (Modelado de Fusión por Depo-

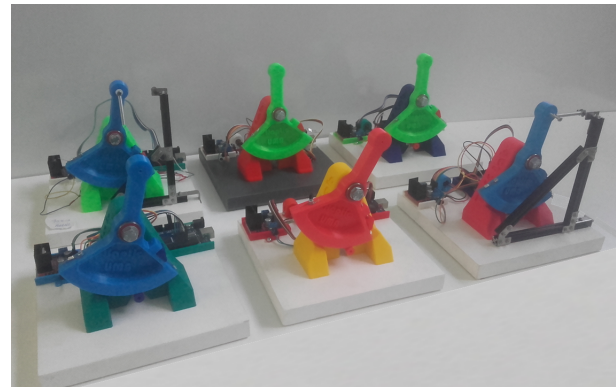


Figura 2: Equipos de prácticas utilizados durante el curso 2016/2017, junto con los dispositivos de calibración utilizados

sición), siguiendo el modelo presentado en [4], que dispone de transmisión tipo *capstan*, un motor de corriente continua *mitsumi* de la serie m25n-2 con un encoder óptico de 448 pulsos por revolución, un Arduino Mega 2560 y una etapa de potencia L298N.

2.2. Modelado de dominio específico y ABP

Uno de los objetivos principales que persigue el uso de estos equipos de prácticas es el uso de la programación basada en modelos de dominio específico, como es el caso de Simulink. El motivo principal es eliminar la necesidad de explicar conceptos de programación, de forma que el profesor se pueda centrar en los contenidos propios de la materia.

Para llevar a cabo las actividades de esta forma, se les ha proporcionado a los alumnos los bloques de lectura del encoder y de actuación y se les ha propuesto una serie de prácticas guiadas que les sirvan para familiarizarse con la plataforma Simulink y afianzar algunos conceptos teóricos explicados con anterioridad. Finalmente, se les ha pedido que realicen un proyecto que servirá como trabajo de evaluación de su aprendizaje, siguiendo la metodología ABP.

En el ABP se crea una experiencia de aprendizaje que motiva al estudiante mediante la realización de un proyecto donde se ponen en práctica conceptos ya aprendidos pero que se muestran insuficientes para la resolución del proyecto. Se crea así la necesidad del aprendizaje de nuevos conceptos, donde el profesor posee tan sólo el papel de guía y el estudiante debe tomar un rol activo, desarrollando así capacitaciones que van a requerir en su vida profesional.

Una definición extendida de aprendizaje colabo-

rativo (AC) recogida en [17] lo identifica con la adquisición de destrezas y actitudes que ocurren como resultado de la integración en grupo. Esto es lo deseable para la consecución de los objetivos de aprendizaje fijados en la asignatura, si bien, para que ello ocurra no basta con juntar a los estudiantes sino que es necesario que exista interactividad, sincronía y negociación, tal y como plantea [11], aportando a su vez la siguientes ventajas al estudiante: seguridad en sí mismo, pensamiento crítico, solidaridad, respeto y reducción del individualismo.

El ABP es un estimulante del AC referido a pequeños grupos (dos estudiantes en este trabajo), donde los grupos reciben instrucciones del profesor para lograr el objetivo del proyecto propuesto, y los estudiantes trabajan en su consecución aprendiendo a través de la colaboración. Algunos autores como [12] usan la denominación de Aprendizaje Basado en Proyectos Colaborativo (ABPC) para este caso particular.

Todo ABP debe de cumplir con dos condicionantes: ser interesante para los estudiantes a nivel personal, y cumplir con un fin educativo. El interés de los estudiante se motiva proponiéndoles que ellos mismos creen el enunciado y objetivos del proyecto, mientras que el fin educativo se consigue definiendo los componentes y herramientas a utilizar (haptic paddle) y supervisando que los proyectos propuestos se encuentren dentro de los contenidos de la asignatura.

3. APLICACIÓN DOCENTE

3.1. Asignatura

Los *haptic paddle* se han utilizado en la asignatura *Teleoperación y Telerrobótica* del *Máster en Ingeniería Mecatrónica* de la *Universidad de Málaga* durante el segundo cuatrimestre del curso 2016-17. La asignatura cuenta con 14 alumnos, por lo que se han dispuesto 8 equipos de prácticas, y los alumnos han formado equipos por parejas o individuales. En la imagen de la figura 3 se observa el uso por parte de los alumnos de los dispositivos de prácticas durante la primera semana de prácticas, donde los propios alumnos efectúan el ensamblado mecánico de los dispositivos. En la figura 4 se pueden ver algunos alumnos de la asignatura y los autores.

La primera parte de la asignatura incluye temario teórico (Véase tabla 1) donde se incluye un resumen del temario.

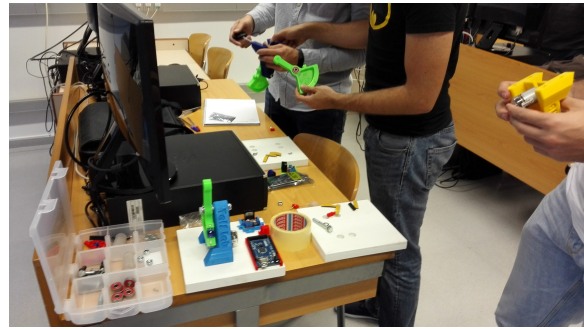


Figura 3: Montaje de los equipos por parte de los alumnos durante una sesión de prácticas



Figura 4: Alumnos de la asignatura Teleoperación y Telerrobótica del Máster en Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Málaga, junto a los autores de este artículo durante una sesión de prácticas con los *haptic paddle*

Tabla 1: Temario resumido de la asignatura de teleoperación y telerrobótica.

Semana	Tema
1	Introducción a la Teleoperación y la Telerrobótica
2	Haptics
3	Problemas y Métodos de Teleoperación
4	Sistemas Bilaterales
5	Retardos y métodos de evitación de los efectos
6	Métodos telerrobóticos
7-12	Proyecto tutorizado
13	Presentación de proyecto y evaluación

3.2. Conocimientos previos al uso de los equipos

Dado que la asignatura pertenece al segundo semestre del máster, se pueden presuponer ciertos conocimientos que los alumnos ya deben haber adquirido, o bien en el primer cuatrimestre de dicho máster, o bien a lo largo del grado que hayan realizado previo a su incorporación al máster. Los alumnos, por tanto, poseen conocimientos de programación hardware en lenguajes como C/C++, que conocen el entorno de Matlab y Simulink, con los que han desarrollado prácticas previamente en otras asignaturas del máster, conocimientos técnicos de electrónica relativos al uso de microcontroladores, sensores y actuadores, así como de teoría y estrategias de control y modelado de sistemas mecatrónicos.

3.3. Organización del programa de prácticas

La asignatura de Teleoperación y Telerrobótica se desarrolla a lo largo de 13 semanas, de las cuales las seis últimas se han dedicado al desarrollo del proyecto de alumnos. Cada semana cuenta con dos sesiones de 1.5 h, de las cuales la primera incluye presentaciones teóricas del profesor introduciendo los objetivos de la semana y proporcionando los métodos y materiales de trabajo, y la segunda es exclusivamente de trabajo tutorizado del alumno, tal como se resume en la tabla 2.

3.4. Proyectos derivados de la aplicación de la metodología ABP

Para la realización de proyectos, los alumnos se han organizado por grupos y se les ha pedido que diseñen sus propios proyectos. Los diferentes proyectos diseñados se recogen en la tabla 3.

Los proyectos han sido refinados con la ayuda del profesor para tener en cuenta las limitaciones de los dispositivos y del tiempo disponible para su realización.

4. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

La evaluación de la asignatura se compone de la evaluación de otras prácticas realizadas durante el curso, del resultado de un cuestionario, y de la evaluación de los resultados del proyecto.

Los resultados de los proyectos son defendidos mediante una breve presentación en la sesión de evaluación, junto con una demostración de su funcionamiento. Todos los proyectos, han alcanzado los objetivos y han superado correctamente las prue-

bas. No obstante existen diferencias en la complejidad del proyecto que hacen que se puntúen en mayor medida unos proyectos sobre otros.

Para evaluar de manera objetiva el efecto del uso de los haptic paddle como herramienta para el aprendizaje basado en proyectos, se ha utilizado un cuestionario con preguntas relacionadas con los dispositivos hápticos, que se formuló a alumnos del curso 2015/16 que no usaron este dispositivo, y a alumnos del curso 2016/17 que sí lo han utilizado como equipo de prácticas en su proyecto de la asignatura de Teleoperación y telerrobótica del Máster de Ingeniería Mecatrónica. No obstante, durante ambos cursos se han realizado también prácticas de otro tipo con dispositivos hápticos comerciales (Falcon) de tres grados de libertad, utilizando el lenguaje de programación LabVIEW.

El cuestionario está compuesto por trece preguntas de tipo test, con cuatro posibles respuestas en relación a los dispositivos hápticos: frecuencias de actualización, tipos de señales de entrada/salida, factores que influyen en su rendimiento, etc. Los resultados del cuestionario ofrecen una calificación media muy superior en el caso del curso 2016/17 (8.2 sobre 10) sobre el curso en el que no se utilizó (5.2 sobre 10), si bien el número de sesiones dedicado a trabajar sobre el tema se ha incrementado. En la figura 5 se muestra la comparación de las calificaciones medias por pregunta.

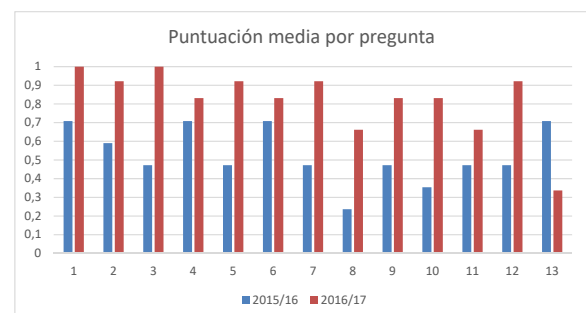


Figura 5: Resultados de la evaluación objetiva. Puntuaciones medias de cada una de las preguntas del test durante el curso en el que no se han usado los *haptic paddle* (2015/16) y en el que sí se han utilizado (2016/17) como plataforma para educación basada en proyectos

5. CONCLUSIONES

El uso de estos equipos docentes motiva en gran medida a los estudiantes y a los profesores, que junto con el uso del ABP y el permitir a los alumnos diseñar su propio proyecto aumentan dicha motivación. Esta diversidad en los proyectos debe ser supervisada por el profesor, pero aumenta la cohesión del grupo y mejora el aprendizaje co-

Tabla 2: Organización de sesiones prácticas del asignatura de Teleoperación y Telerrobótica. Cada semana incluye dos sesiones de 1.5h. La primera incluye presentaciones del profesor y la segunda es exclusivamente trabajo tutorizado del alumno.

Semana	Sesión 1	Sesión 2	Objetivos
7	Presentación del proyecto <i>Haptic Paddle</i>	Ensamblado mecánico	Dispositivo ensamblado
8	Electrónica de control y conexiónado	Conexiónado y test del sistema de control	Ejecución de los programas de test
9	Introducción a la programación del <i>Haptic Paddle</i> mediante <i>simulink</i>	Programación de modelos dinámicos	Ejemplo de muelle y fricción
10	Métodos y dispositivos de calibración de par y lectura de ángulo	Programación de bloques con magnitudes reales	Bloques con magnitudes reales
11	Diseño de proyectos. reglas, ideas y limitaciones	Diseño de proyecto	prototipo de proyecto
12	Proyecto	Documentación	vídeos, programas (modelos) y demostraciones

Tabla 3: Conjunto de proyectos diseñados por los diferentes grupos de prácticas.

Gr.	Título	Objetivos
1	Péndulo invertido	Programación de la dinámica de un péndulo invertido con visualización gráfica bidimensional.
2	Angry Haptics	Programación de un sistema compuesto por dos haptic paddle donde uno de ellos controla el lanzador y otro la recepción en una plataforma.
3	Rehabilitación de muñeca	Sistema de ejercicios con fuerzas progresivas en secuencia para la realización controlada de ejercicios de rehabilitación física.
4	Control de bola en plataforma	Control de la posición unidimensional de una bola sobre una plataforma pivotante con reflexión de fuerzas.
5	3D pong	Juego en el que se hace botar verticalmente una pelota con una raqueta y visualización 3D.
6	Haptic transparente	Compensación de la dinámica de la paleta y simulación de un péndulo rígido con fuerzas externas.

laborativo.

La relativa simplicidad del dispositivo permite llevar a la práctica teorías de modelado de sistemas dinámicos y de control fácilmente, y su bajo coste permite desplegar un conjunto de dispositivos para poder crear grupos de uno o dos estudiantes por grupo. Asimismo permite que los estudiantes construyan sus propios haptics o que se lleven a casa los equipos.

Como valoración general, consideramos que se ha mejorado la docencia en la asignatura mediante unas herramientas atractivas para los alumnos, que les proporcionan unos conocimientos prácticos y teóricos que son comprobados mediante los resultados de los cuestionarios objetivos.

Las siguientes aplicaciones docentes de estos sistemas podrían encaminarse a su uso en otras asignaturas como *Modelado y control* o *Control automático*, donde pueden ser de gran ayuda al

aprendizaje.

Agradecimientos

Este proyecto ha sido parcialmente financiado por el proyecto de Innovación educativa de la Universidad de Málaga PIE 15-180, por Seeed Studio (seeedstudio.com) e Ingeniería UNO (ingenieriauno.com).

Además, se agradece la colaboración de Sepehr Akbari Kalhor en los diseños de los prototipos, así como a todos los alumnos de la asignatura de Teleoperación y Telerrobótica del Máster de Mecatrónica.

Referencias

- [1] Cabre, T. P., Cairol, M. T., Calafell, D. F., Ribes, M. T., and Roca, J. P. (2013). Project-based learning example: controlling an educational robotic arm with computer vision. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 8(3):135–142.
- [2] Cappelleri, D. J. and Vitoroulis, N. (2013). The robotic decathlon: Project-based learning labs and curriculum design for an introductory robotics course. *IEEE Transactions on Education*, 56(1):73–81.
- [3] Carbonaro, M., Rex, M., and Chambers, J. (2004). Using lego robotics in a project-based learning environment. *The Interactive Multimedia Electronic Journal of Computer-Enhanced Learning*, 6(1).
- [4] Gandarias Palacios, J. M., Akbari Kalhor, S., and Gómez de Gabriel, J. M. (2016). Diseño y uso de una paleta háptica para prácticas de teleoperación con simulink.
- [5] Gassert, R., Metzger, J.-C., Leuenberger, K.,

- Popp, W. L., Tucker, M. R., Vigar, B., Zimmermann, R., and Lamercy, O. (2013). Physical student-robot interaction with the ethz haptic paddle. *IEEE Transactions on Education*, 56(1):9-17.
- [6] Gil, J., Muñoz, A., Torres, V., and Gómez, J. (2014). Uso de simulink y arduino para prácticas de robótica. *XXXV Jornadas de Automática. Valencia*.
- [7] Gomez-de Gabriel, J. M., Mandow, A., Fernandez-Lozano, J., and Garcia-Cerezo, A. J. (2011). Using lego nxt mobile robots with labview for undergraduate courses on mechatronics. *IEEE Transactions on Education*, 54(1):41-47.
- [8] Gómez de Gabriel, J. M., Muñoz Ramírez, A. J., and Fernández Lozano, J. J. (2015). Ingeniería basada en modelos en prácticas de robótica. *XXXVI Jornadas de Automática. Bilbao*.
- [9] Gorlewicz, J. L., Kratchman, L. B., and WEBSTER III, R. J. (2014). Haptic paddle enhancements and a formal assessment of student learning in system dynamics. *Advances in Engineering Education*, 4(2).
- [10] Gorlewicz, J. L. and Webster III, R. J. (2012). A formal assessment of the haptic paddle laboratories in teaching system dynamics. In *American Society for Engineering Education*. American Society for Engineering Education.
- [11] Johnson, D., Johnson, R., and Johnson, E. (1999). *Los nuevos círculos del aprendizaje La cooperación en el aula y la escuela*. Aique.
- [12] Maldonado Pérez, M. (2008). Aprendizaje basado en proyectos colaborativos. Una experiencia en educación superior. *Revista de Educación*, 14(28).
- [13] Martinez, M. O., Morimoto, T. K., Taylor, A. T., Barron, A. C., Pultorak, J. A., Wang, J., Calasanz-Kaiser, A., Davis, R. L., Blikstein, P., and Okamura, A. M. (2016). 3-d printed haptic devices for educational applications. In *Haptics Symposium (HAPTICS), 2016 IEEE*, pages 126-133. IEEE.
- [14] Muñoz Ramírez, A. J. and Gomez De Gabriel, J. M. (2016). Modelar o programar en prácticas de robótica. *XXXVII Jornadas de Automática. Madrid*.
- [15] Okamura, A. M., Richard, C., Cutkosky, M., et al. (2002). Feeling is believing: Using a force-feedback joystick to teach dynamic systems. *Journal of Engineering Education*, 91(3):345-349.
- [16] Rose, C. G., French, J. A., and O'Malley, M. K. (2014). Design and characterization of a haptic paddle for dynamics education. In *Haptics Symposium (HAPTICS), 2014 IEEE*, pages 265-270. IEEE.
- [17] Salinas, J. (2000). El aprendizaje colaborativo con los nuevos canales de comunicación. In Cabero, J., editor, *Nuevas Tecnologías aplicadas a la Educación*, pages 199-228. Síntesis.
- [18] TaisLab. <https://github.com/taislab/haptic-paddle>. <http://taislab.uma.es>.
- [19] TaisLab. Universidad de Málaga. <http://taislab.uma.es>.