



de Oviedo  
*Universidá d'Uviéu*  
*University of Oviedo*



Actas de

**XXXVIII**

**Jornadas de Automática**

© 2017 Universidad de Oviedo  
© Los autores

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

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

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

## Prefacio

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

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

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

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

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

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López  
Presidente del Comité Organizador



## Program Committee

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

Daniel Pérez	University of Oviedo
Emilio Pérez	Universitat Jaume I
Juan Pérez Oria	Universidad de Cantabria
Miguel Ángel Ridao	Universidad de Sevilla
Gregorio Sainz-Palmero	Universidad de Valladolid
Antonio Sala	Universitat 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

Nuñez, 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>	
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, Dario 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>	

# REFLEXIONES SOBRE EL VALOR DOCENTE DE UNA COMPETICIÓN DE DRONES EN LA EDUCACIÓN PARA EL CONTROL

Ignacio Díaz Blanco, Álvaro Escanciano Urigüen, Antonio Robles Álvarez, Hilario López García  
 Área de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Oviedo  
 Campus universitario de Gijón s/n, 33204  
 {idiaz,arobles,hilario}@uniovi.es, escanciano.alvaro@gmail.com

## Resumen

*En este artículo se plantea una reflexión sobre el potencial valor docente en el ámbito de la ingeniería y particularmente en la ingeniería de control de las competiciones de drones y se describen las características de una competición de drones presentada en las XXXVIII Jornadas de Automática (2017). La participación en una carrera de drones como la presentada en esta edición, requiere por parte de los participantes un despliegue de competencias de carácter multidisciplinar, que involucran conocimientos de control, electrónica, mecánica y aerodinámica, entre otros, tanto para el montaje del dron, como para optimizar su comportamiento de cara a la prueba. Un planteamiento adecuado y la integración eficiente de estos elementos puede aportar una considerable ventaja en la prueba. A lo largo del texto se hace una reflexión sobre todos estos aspectos, mostrando las ventajas en el ámbito de la educación en el control que puede aportar este tipo de pruebas.*

**Palabras clave:** Educación, ingeniería de control, drones

## 1. INTRODUCCIÓN

Hace apenas medio siglo, el mundo del aeromodelismo estaba reservado para unos pocos privilegiados que, combinando fuertes conocimientos teóricos con una gran capacidad práctica a la hora de construir prototipos, conseguían a duras penas unos minutos de vuelo. Con el paso del tiempo y la llegada de la era digital, la electrónica cada vez se fue reduciendo, no solo en tamaño sino también en coste y esto permitió introducir una gran cantidad de componentes electrónicos en un espacio muy reducido, con poco peso y al alcance de todos los bolsillos. En el mundo del aeromodelismo, la irrupción de esta electrónica (pequeña y barata), supuso la posibilidad de sustituir la estabilización mecánica que proporciona el efecto giroscópico de la máquina de vuelo rotativo más famosa (el helicóptero) por una estabilización electrónica, mucho más compleja y basada en el control independiente de cada uno de los 4, 6, 8 ó 12 motores de un

multirotor, que se denomina comúnmente *dron*.

La posibilidad de construir a bajo coste un dispositivo extremadamente versátil como el dron, y en todas sus etapas, conlleva una innumerable cantidad de decisiones de diseño que implican la puesta en práctica de conocimientos de un amplio espectro de disciplinas con especial protagonismo de la ingeniería de control, la integración de múltiples sistemas en una unidad eficiente y la aplicación de una metodología que implica diseño, montaje y pruebas de verificación. Todos estos ingredientes, que están en el ADN de la ingeniería de sistemas y automática, conforman un escenario óptimo en la formación de ingenieros de nuestra rama de conocimiento.

En el marco de las presentes XXXVIII Jornadas de Automática, se planteó llevar a cabo un concurso de drones, en aras de contribuir al objetivo de conseguir un mayor conocimiento e implicación de alumnos de último curso de grado y máster en temas de ingeniería de control, aunque también en otros aspectos de ingeniería, como la electrónica, el diseño aerodinámico, etc. La competición se realiza con cuadricópteros y hexacópteros con características de partida similares, incluyendo pruebas de habilidad, velocidad y máxima distancia en vuelo recorrida con una sola carga de batería.

De forma análoga a las competiciones de Fórmula 1, una competición de drones en diversas modalidades, como la que aquí se plantea, conlleva una importante componente tecnológica de carácter multidisciplinar, que implica la optimización de los drones desde cualquier aspecto que el participante considere ventajoso: aerodinámica, ajuste de los sistemas de control de vuelo (PID), equilibrio mecánico, etc. donde una adecuada optimización del dron, aportaría ventajas en varios niveles: menor consumo, mayores prestaciones dinámicas, estabilidad y maniobrabilidad, entre otras.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. La ludificación en la educación

La idea sobre la que se reflexiona en este trabajo, en la que se plantea el análisis de una competi-

ción de drones en cuanto a su valor docente en el ámbito de la ingeniería de control y de sistemas, tiene conexiones con el concepto de *ludificación* (del inglés, *gamification*). El término *ludificación* describe el uso de elementos de juego en contextos de no-juego, con el objetivo de involucrar a la gente en una variedad de tareas [5]. Uno de los elementos clave en la ludificación es la competición. La competición implica alcanzar un objetivo en un contexto de contienda entre varios rivales (individuos o equipos) donde generalmente se da un perdedor y un ganador. Aunque los beneficios en el ámbito de la educación del elemento de competición han sido objeto de cierta controversia [2] (por ejemplo, focalización en el objetivo y no en el proceso, o el estrés y desmotivación en caso de malos resultados) muchos estudios se inclinan por los beneficios, vinculándola con las ideas de motivación, reconocimiento, desafío y el fomento del aprendizaje activo.

La idea que se analiza aquí, como se verá más adelante, implica una competición en 4 modalidades (carrera, eficiencia, velocidad y diseño), por lo que las expectativas de fracaso son menores, al haber más opciones para el éxito. Por otra parte, la participación es por equipos, por lo que el impacto de una derrota es potencialmente menor al ser compartido.

## 2.2. Experiencias anteriores: carreras de drones

Un claro antecedente de la idea que se analiza en este artículo son las carreras de drones. En este sentido, la participación en el campeonato de España, celebrado en octubre de 2016 en Barcelona, sirve como referencia. En esta prueba pudo comprobarse ya el impacto de la ingeniería en la consecución de una ventaja competitiva en la consecución del éxito. La conclusión de los organizadores fue que no existe una configuración perfecta para un dron, sino más bien una configuración óptima para una prueba concreta en unas condiciones determinadas y en un momento de la competición conocido. Cada nueva parte del “hardware” del dron que se sustituye, impacta en la configuración de la aeronave y el control debe ser nuevamente reconfigurado.

Esta experiencia y otras carreras celebradas a nivel local ponen de manifiesto que el diseño, ajuste y parametrización del dron, aspectos estrechamente ligados a los paradigmas de la ingeniería de sistemas y de la ingeniería de control, tienen un impacto significativo en los resultados obtenidos en la prueba que, cuando menos, rivaliza con el factor de habilidad en el pilotaje.

## 3. VALOR EDUCATIVO EN INGENIERÍA DE CONTROL

### 3.1. METODOLOGÍA

#### 3.1.1. Flujo de trabajo

El diseño y construcción de un dron, especialmente si se destina a una competición, requiere al estudiante poner en práctica una *metodología* de optimización y diseño, basada en elaboración de hipótesis, prueba y error. Dependiendo del grado de dedicación, podrá atacar el diseño a varios niveles: diseño preliminar de controladores; simulación, empleando herramientas como simulink u otros más específicos como *gacebo*; pruebas reales con prototipo; y despliegue final (carrera).

Aunque existen textos excelentes sobre metodología de diseño de sistemas de control (ver, [3], cap. 10), la mera puesta en práctica de este flujo de trabajo le hará llegar, por sus propios medios, a muchas de las recomendaciones de diseño descritas en la literatura y le resultarán obvias al final del proceso. En definitiva, le transmiten, por inmersión, varios conceptos difícilmente transmisibles por medio de un estudio meramente teórico a través de los textos. Así, por ejemplo, podrá comprobar la existencia de múltiples grados de libertad en el diseño, la necesidad de encontrar un balance óptimo entre los mismos y la importancia del ciclo planificación-test. Todo ello tiene un enorme valor educativo de carácter *transversal* en la ingeniería de sistemas y control, que constituye una excelente formación complementaria a la impartida en los estudios reglados.

#### 3.1.2. Codiseño de proceso y control

Otro aspecto de importancia en control, fuertemente ligado a la metodología, es el diseño integrado (codiseño) del proceso y el control [1, 4]. En el diseño de sistemas de control, a menudo las modificaciones en la planta son una alternativa ventajosa frente las modificaciones en el propio sistema de control. Esta cuestión se ha planteado en sistemas aerodinámicos, en los que puede mejorarse la maniobrabilidad haciendo el diseño aerodinámico deliberadamente inestable [6] y delegando en el control para recuperar la estabilidad del conjunto [1]. Este enfoque está en la base del desempeño y maniobrabilidad que muestran los aviones de combate modernos.

En el diseño de drones a pequeña escala enfocados a carreras, o a competiciones específicas como la que se presenta en estas Jornadas, esta posibilidad se ve catalizada por la implantación y accesibilidad hoy en día de tecnologías de impresión 3D y las herramientas de simulación de elemen-

tos finitos, que brindan infinitas posibilidades de optimización en el diseño:

- Reducción del peso en el chasis, eliminando secciones del mismo que contribuyen poco a la resistencia mecánica del dron a partir de los resultados del cálculo de esfuerzos bajo simulación.
- Modificaciones en el chasis y otros elementos optimizando comportamiento aerodinámico, que faciliten el control dinámico de estabilidad del dron.
- Selección óptima de la posición y orientación de los elementos de propulsión (actuadores). En este sentido, por ejemplo, ya se han descrito configuraciones orientadas a carreras y competiciones, situando las hélices en dos niveles y con orientaciones específicas [7].

### 3.1.3. Grados de libertad en el diseño

Otra idea que se percibe en el diseño de un dron es que el control aporta *grados de libertad* en la ingeniería. El control permite modular el comportamiento de un sistema tecnológico dado. Además de aportar *estabilidad* (como en el caso de un segway), permite diseñar a medida la *maniobrabilidad* de un sistema. Aún sin conocimientos de teoría de control, los pilotos de drones son conscientes de que los conceptos de estabilidad y maniobrabilidad están, por propia naturaleza, reñidos. Si lo que se busca es un vuelo de precisión, tranquilo, estable, la ejecución de una ruta programada vía GPS o la filmación de un video de gran calidad, el modo de vuelo adecuado a configurar sería el “modo estable”, modo en el que toda la sensorización se pone al servicio del control y se dota al aparato de una gran estabilidad (sacrificando tiempos de respuesta y maniobrabilidad). Por el contrario, cuando lo que se desea es configurar una aeronave competitiva capaz de dejar a todas las demás atrás en una carrera mediante la ejecución de giros cerrados, loopings, tirabuzones y descensos en picado el modo correcto de vuelo a configurar, sería el denominado “modo acrobático”, en el que se desactiva toda la sensorización del dron y el control únicamente actúa como interfaz entre el piloto y la aeronave pero en ningún caso estabiliza la misma, es el piloto el que debe hacerlo. En este modo de vuelo, se prioriza, por tanto, la maniobrabilidad por encima de la estabilidad.

## 3.2. SISTEMAS DE CONTROL

Además de la metodología, que implica beneficios educativos de carácter transversal –aunque fuertemente ligados al control–, el diseño de un dron

tiene una componente de alto valor específico en ingeniería de control que es el propio diseño y ajuste de los sistemas de control.

Los sistemas de control están en el centro del diseño del dron y permiten mantener estable el dron a partir de la información aportada por los sensores (giróscopos o acelerómetros). Los frameworks típicos para programación del dron, constan habitualmente de un *firmware*, que se carga en la controladora del dron y que contiene la planificación de tareas y los lazos de estabilización y control del dron, y un *software* que permite la carga o transferencia del firmware, así como la modificación de parámetros y reglajes del mismo desde un ordenador. El software permite el ajuste de una amplísima variedad de parámetros, incluyendo acciones P, I, D para varios lazos independientes, como el ángulo o velocidad angular en los ejes *roll*, *pitch* y *yaw* (alabeo, cabeceo y guiñada), pero también multitud de ajustes adicionales, como la sensibilidad de los mandos o sistemas como el TPA (*throttle PID attenuation*), que reduce la intensidad de las acciones de control para valores elevados en la referencia, para evitar oscilaciones. La variedad de ajustes es extensísima y diferente en función del software/firmware empleado.

A la hora de diseñar el control de un dron, el usuario puede optar por el caso de menor complejidad, cargando en la controladora del dron los modos de vuelo por defecto, pudiendo reajustar a partir de ellos de forma independiente las acciones de control y resto de parámetros para los distintos lazos.

No obstante, en el caso de que los modos de vuelo preconfigurados no sean suficientes, existen infinidad de opciones de modificación del diseño. Los paquetes software de controladores de vuelo más extendidos son de código abierto, destacando algunos como *cleanflight* [8], o *librepilot* [9], ambos soportando gran variedad de controladoras y configuraciones de drones.

Al tratarse de herramientas de código abierto (por ejemplo, *cleanflight* está en *github* y *librepilot* puede encontrarse en *bitbucket*), es posible entrar a nivel de código para editar el existente o incluso crear nuevos programas y bucles de control que serán compilados y cargados a la controladora a través del software proporcionado por el fabricante. Esta última opción permitiría abordar virtualmente cualquier paradigma de control del estado del arte (control multivariable, esquemas adaptativos, control predictivo, etc.). Así, podrían, por ejemplo, plantearse esquemas híbridos, con distintos “modos de control” entre los que el dron podría conmutar en pleno vuelo, bien comandadas por el piloto, o bien de forma automática, en función de las condiciones de vuelo o de la prueba.



### 3.3. ASPECTOS TECNOLÓGICOS

El diseño del dron, finalmente, tiene una importantísima faceta tecnológica. El control está intrínsecamente ligado a los bloques físicos: sensores, actuadores y planta. La intensa componente tecnológica y de ingeniería que implica el diseño y el montaje un dron comporta dificultades y situaciones específicas que difícilmente pueden describirse en textos teóricos. En esta sección describimos, a modo de ejemplo, algunos de ellos:

#### 3.3.1. Montaje del dron

Supone un procedimiento común en ingeniería: consultar información técnica, implementar un sistema y probarlo. En el montaje del dron cabe incluir también el diseño del *frame* (chasis) mediante impresión 3D, mecanizado del carbono, etc.

#### 3.3.2. Características y dimensiones del dron

La elección y dimensionado del frame tiene también varias implicaciones que requieren una elección óptima. El tamaño incrementa el peso, pero admite hélices mayores. Por otra parte el material del que esté hecho el frame, influirá también en el peso y además en la resistencia mecánica, que confiere ventajas en carrera en caso de impacto. Estudio del efecto de la geometría, distancia entre ejes, etc.

#### 3.3.3. Hélices

Selección de las hélices (bipala, tripala). La elección del tipo y dimensiones de las hélices determina el empuje tanto absoluto como específico en función de las revoluciones. El tamaño de las hélices, asimismo, condiciona el tamaño del frame y por tanto el peso, por lo que implica alcanzar un balance óptimo. Finalmente, el número de palas tiene una influencia en características como la velocidad punta, aceleración y maniobrabilidad (siendo las bipala mejores en las dos primeras y las tripala superiores en la tercera).

#### 3.3.4. Circuitos estabilizadores de corriente

Efectos en el rendimiento del dron. Posible impacto en el consumo de batería.

## 4. CARACTERÍSTICAS DE LA PRUEBA

En la sección anterior se han hecho reflexiones y expuesto algunas de las múltiples facetas de valor docente que comporta el diseño y montaje de un

dron, por ejemplo para una competición convencional. Sin embargo, las competiciones de drones, en general, no están planteadas con un objetivo docente y, más concretamente, en el ámbito de la ingeniería de control. En este artículo se plantea una reflexión sobre la posibilidad de introducir algunas modificaciones y elementos específicos a una competición convencional con el objeto de incrementar su potencial valor educativo en el ámbito del control. Con este objeto, se describen algunas ideas generales, basadas en la experiencia de diseño de una competición de drones para las XXXVIII Jornadas de Automática con ingredientes específicos para alcanzar dicho propósito, con el objeto de que sirvan de utilidad o de guía para otras experiencias.

### 4.1. TIPOS DE DRON

Para asegurar la homogeneidad de la prueba, es conveniente establecer limitaciones al tipo y dimensiones de los drones y/o de sus componentes, incluyendo limitaciones de tamaño (medidas de frames), peso total, tipo de baterías, etc.

### 4.2. PRUEBAS

#### 4.2.1. Carrera en un circuito

La prueba de carrera es, probablemente, la más exigente, requiriendo habilidad en el pilotaje, velocidad de respuesta dinámica, estabilidad y maniobrabilidad. La carrera de drones puede planificarse con dinámica similar a la de una competición convencional, pero con algunos ingredientes específicos (obstáculos, túneles con geometrías difíciles, viento, etc.) que permitirán evaluar la maniobrabilidad y estabilidad en vuelo de los drones, conseguidas con el “tuneado” del dron (electrónica, aerodinámica, geometría) y el ajuste de los sistemas de control del dron.

#### 4.2.2. Máxima distancia recorrida en vuelo

Con este tipo de prueba se plantea evaluar la *eficiencia* en el consumo obtenida gracias al diseño y el ajuste de los sistemas de control, frente a la “eficacia” en carrera. La prueba puede diseñarse computando la máxima distancia que es capaz de recorrer en vuelo un dron con una sola batería cargada, en un circuito pequeño y sencillo que no suponga un reto para que, de esta forma, se prime la faceta de eficiencia.

#### 4.2.3. Velocidad entre dos puntos

Esta modalidad persigue poner a prueba la respuesta dinámica en el dron, el control de potencia

y la precisión para aterrizar en un punto. La prueba puede basarse en la realización un “Sprint” en línea recta, con despegue desde suelo, contabilizando el tiempo empleado en llegar desde la línea de salida a la línea de meta, aterrizando en un área dada.

Esta prueba, que supone una intensa demanda de corriente en la batería, podría combinarse con la prueba de eficiencia anterior, lo que plantea mayor dificultad en la optimización del conjunto.

#### 4.2.4. METODOLOGÍA Y DISEÑO

Este apartado tiene como objetivo evaluar la metodología aplicada y las decisiones en el diseño. Para ello, cada participante o equipo deberá elaborar un documento de diseño, en el que deberá describir todo el proceso (elección de los componentes, el diseño de los controladores, aspectos relativos a la integración de los sistemas, etc.) y argumentar el porqué de las decisiones adoptadas.

Los documentos pueden ser sometidos a un proceso de revisión por un comité, que valore de forma global la calidad de los documentos (argumentos, decisiones de diseño, presentación formal, legibilidad, etc.). Asimismo, el comité podrá recabar *in situ*, durante las fases de prueba, información acerca de los diseños y comprobar de primera mano cualquier aspecto que permita complementar las valoraciones. Finalmente, el comité los ordenará en un ranking.

#### 4.3. SISTEMA DE PARTICIPACIÓN CRUZADA

Uno de los retos de la prueba es el de aislar la componente de *habilidad* de la componente *técnica* en el resultado de la prueba. Los resultados de la competición, o al menos una parte de ellos, deben poder reflejar el rendimiento, maniobrabilidad y respuesta dinámica del dron de forma independiente de la habilidad del piloto. Una posibilidad es un sistema de participación cruzada, en el que cada dron sea pilotado por un número  $n$  de participantes, elegidos por sorteo, incluyendo el participante que presenta el dron. De esta manera, es posible evaluar de forma independiente el rendimiento de ambos agregando los resultados obtenidos en las pruebas por piloto y por dron.

#### 4.4. RANKING

A partir de las pruebas obtenidas, puede establecerse un *ranking global* de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- Se calculará la puntuación total de cada equipo sumando el valor ordinal de los puestos al-

canzados en cada una de las cuatro categorías (4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4). El primer puesto suma 1 punto, el segundo puesto suma 2 puntos y así sucesivamente.

Cuando un equipo no finalice una prueba se le asignará en dicha categoría una puntuación igual al número total  $n$  de equipos inscritos.

- Las puntuaciones totales obtenidas por cada equipo determinarán su posición en el ranking de la prueba, siendo el ganador absoluto de la prueba aquél que haya obtenido *menor* puntuación y asignándose los puestos sucesivos por orden *creciente* de puntos.
- En caso de empate a puntos entre dos o más equipos, su orden en el ranking se determinará de acuerdo con el puesto obtenido en la categoría de *metodología y diseño* (sección 4.2.4).

Este ranking, similar al que hay en otras pruebas deportivas (ej. la “combinada” en la vuelta ciclista), supone una función de coste multiobjetivo que premia a los equipos “más completos”, es decir, aquellos con resultados buenos en todas las pruebas.

#### 4.5. PREMIOS Y DIPLOMAS

Los premios y el reconocimiento a los participantes con mejores resultados juegan un papel esencial en el proceso, ya que introduce objetivos que aportan motivación. La posibilidad de otorgar premios o distinciones en distintas categorías permite que los participantes tengan más opciones de éxito, mejorando sus expectativas y motivación. En la competición celebrada en las Jornadas se otorgan premios y diplomas en las categorías: absoluta (mejor ranking absoluto), metodología, carrera, eficiencia, velocidad.

### 5. Evaluación de resultados

#### 5.1. Encuesta a los participantes

Una vía para evaluar el impacto de la prueba es la realización de encuestas a los propios participantes, basándose en la hipótesis de que el estudiante, especialmente en últimos cursos, tiene ya una cierta capacidad para percibir que ha aprendido algo y ha incrementado sus conocimientos. Aunque el grado de autopercepción de lo aprendido pueda ser una medida poco fiable en lo cuantitativo, sí es más confiable a un nivel binario (“aprendí” / “no aprendí”) o con un número bajo de niveles (“poco”, “algo”, “mucho”). Bajo esta hipótesis, la

agregación estadística de resultados puede aportar una medida cuantitativa más confiable, especialmente si el tamaño muestral es significativo.

La forma más adecuada de valorar tanto el grado de satisfacción de los alumnos con el evento como los conocimientos adquiridos durante el transcurso del mismo será la creación de encuestas con campos a determinar por los docentes organizadores de las pruebas. Estas encuestas serán complementadas también con informes del proceso iterativo que ha seguido cada equipo hasta configurar su aeronave para las distintas pruebas.

## 5.2. Reportes de diseño

Los reportes del proceso iterativo que ha seguido cada equipo hasta configurar cada aeronave para cada prueba también pueden aportar información sobre el valor docente de la prueba. No obstante, a diferencia de la encuesta, extraer indicios objetivos y cuantificables de los reportes es mucho más difícil. No se dispone propiamente de un elemento de referencia o comparación que permita valorar un incremento en el aprendizaje, salvo, quizás informes anteriores de los mismos alumnos realizados en competiciones o actividades similares. Los reportes, sin embargo, sí aportan información útil en otros aspectos. Por ejemplo, puede tenerse una percepción a nivel absoluto (no relativo) del nivel de los conocimientos y capacidades desplegadas para la prueba, que podrían aportar conclusiones sobre los puntos fuertes que fomenta la competición. Por otra parte, lo visto en los reportes puede jugar un importante papel de complementariedad, en combinación con las encuestas, que aporte un refuerzo y validación en las conclusiones extraídas de éstas.

Finalmente, si hay disponibilidad, la comparación de estos reportes con exámenes o trabajos previos de los alumnos puede enriquecer la comparación y valoración de lo aportado por la participación en la prueba.

## 6. CONCLUSIONES Y FUTURO TRABAJO

En este trabajo se ha pretendido dar una visión de las posibilidades del uso de competiciones o pruebas similares con drones desde dos aspectos: 1) el diseño, montaje, prueba y despliegue de un dron como actividad altamente educativa en aspectos multidisciplinarios de ingeniería y especialmente en ingeniería de sistemas y control; y 2) el valor educativo de la competición en sí misma, como estímulo y como herramienta de validación del rendimiento que puede verse, en un sentido amplio, como una “función de coste”, así como

algunas pautas y sugerencias para “modularla” a través de las bases de la competición, introduciendo especificidades para maximizar el peso de la componente técnica.

Finalmente, debemos indicar que las ideas expuestas en este trabajo son reflexiones elaboradas durante la preparación de la prueba y basadas en la información y experiencia adquirida en el proceso. Los resultados de la competición de drones no están disponibles en el momento de redactar este trabajo. Como futuras líneas de trabajo se plantean la elaboración de encuestas de participación y su posterior análisis y valoración.

## Referencias

- [1] K. J. Aström. *Control System Design. Lecture notes for ME 155A*. Department of Mechanical and Environmental Engineering, University of California Santa Barbara., 2003.
- [2] I. Cantador and J. M. Conde. Effects of competition in education: A case study in an elearning environment. In *Proceedings of the IADIS International Conference E-learning*, 2010.
- [3] G. F. Franklin, J. D. Powell, and A. Emami-Naeini. *Feedback Control of Dynamic Systems*. Pearson Prentice Hall, 5th edition edition, 2006.
- [4] K. J. Aström and R. M. Murray. *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. Princeton University Press, March 2010.
- [5] S. de Sousa Borges, V. H. Durelli, H. M. Reis, and S. Isotani. A systematic mapping on gamification applied to education. In *Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, pages 216–222. ACM, 2014.
- [6] G. Stein. Respect the unstable. *IEEE Control Systems Magazine*, 23(4):12–25, Aug. 2003.
- [7] William Thielicke. Aerodynamics in racing multirotors. Why future racing copters really should look different. <https://tinyurl.com/y7scmhfq> Sep. 26, 2015
- [8] <http://cleanflight.com>
- [9] <https://www.librepilot.org/site/index.html>