

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
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

Ingeniería de Control

TÚNEL DE AGUA PARA PRUEBAS Y CARACTERIZACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES DE TURBINAS HIDROCINÉTICAS	1
<i>Eduardo Alvarez, Manuel Rico-Secades, Antonio Javier Calleja Rodríguez, Joaquín Fernández Francos, Aitor Fernández Jiménez, Mario Alvarez Fernández and Samuel Camba Fernández</i>	
Reduction of population variability in protein expression: A control engineering approach.	8
<i>Yadira Boada, Alejandro Vignoni and Jesús Picó</i>	
CONTROL ROBUSTO DEL PH EN 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>	

ARQUITECTURA DISTRIBUIDA PARA EL CONTROL AUTÓNOMO DE DRONES EN INTERIOR

Jose-Luis Poza-Lujan. Universitat Politècnica de València
Camino de vera, s/n. 46022 Valencia, jopolu@ai2.upv.es

Juan-Luis Posadas-Yagüe. Universitat Politècnica de València
Camino de vera, s/n. 46022 Valencia, jposadas@ai2.upv.es

Giovanny-Javier Tipantuña-Topanta. Universitat Politècnica de València
Camino de vera, s/n. 46022 Valencia, giotitoo@upvnet.upv.es

Francisco Abad. Universitat Politècnica de València
Camino de vera, s/n. 46022 Valencia, fjabad@ai2.upv.es

Ramón Mollá. Universitat Politècnica de València
Camino de vera, s/n. 46022 Valencia, rmolla@ai2.upv.es

Resumen

Actualmente los drones son uno de los sistemas de control más complejos. Este control va desde el control de la estabilidad del propio dron, hasta el control automático de la navegación de dicho dron en entornos complejos. En el caso de drones que deben navegar en interior los retos tecnológicos son específicos. En el presente artículo se muestra la arquitectura de control inteligente de un dron orientado a la navegación en entornos interiores. La seguridad es el eje principal del diseño del sistema. Esto hace que el principal reto de la arquitectura sea la interconexión segura entre los componentes y la definición de los diferentes métodos de navegación basándose en la seguridad. El dron debe disponer de diversos modos de navegación: manual, reactivo, deliberativo e inteligente. Para la navegación en interior es necesario conocer la posición del dron en todo momento, por ello el sistema debe disponer de un modo de localización similar al GPS, pero que proporcione una precisión mucho mayor. Para los modos deliberativo e inteligente, el sistema debe disponer de un mapa del entorno, así como de un sistema de control que envíe al dron las órdenes de navegación correspondientes. El sistema diseñado se está implementando en el marco del proyecto europeo H2020 AiRT (Arts indoor RPAS Technology transfer). El resultado es una propuesta de arquitectura suficientemente versátil para ser empleadas en sistemas similares y servir como base de diseño para futuras implementaciones.

Palabras Clave: Dron; Navegación en interiores; Sistema distribuido.

1 INTRODUCCION

Los drones son ya una realidad tecnológica que se ha instaurado tanto en la vida cotidiana como en los entornos de trabajo. Los entornos de actuación de los drones pueden ser interiores y exteriores. La mayor parte de los drones tienen un control autónomo para proporcionar la estabilidad y dar soporte a los movimientos del mismo. En el caso de que el dron deba realizar misiones, se precisa de un control autónomo. El control autónomo implica un seguimiento de una ruta, y para dicho seguimiento es necesario disponer de un mapa del entorno, de un mecanismo de posicionamiento dentro de dicho mapa y de un sistema de navegación. Además del modo de pilotaje manual, el sistema de navegación debe disponer, a su vez, de diversas capas. Una capa reactiva que se ocupe de la integridad tanto del dron como del entorno, una capa deliberativa que permita al dron navegar en un entorno conocido, principalmente partiendo del uso del mapa, y una capa inteligente que permita al dron seguir una ruta predefinida. Para poder seguir una ruta en un entorno, el dron necesita de un sistema de localización. En el caso de drones que trabajan en entornos exteriores la localización la proporciona el sistema GPS. Sin embargo, en el caso de los drones que deben navegar en entornos interiores, la localización debe tener mucha más precisión que en entornos exteriores.

Tanto en entornos exteriores como en interiores, la seguridad es el aspecto más importante. En el caso de drones de navegación en entornos exteriores, lo más habitual es que el entorno de trabajo de dichos drones sean entornos poco poblados, dado que su vuelo en núcleos poblacionales está muy limitado.

Sin embargo, los entornos interiores suelen ser entornos donde es habitual encontrar personas, pero también elementos de valor. Por ello, la seguridad que debe proporcionar un dron en interior debe ser mayor. Este aspecto determina, por lo tanto, en gran medida todas las cuestiones relativas al diseño, tanto de la arquitectura de control como del dron.

Para determinar claramente estos aspectos surge el proyecto europeo AiRT (Arts indoor RPAS Technology transfer) en el que se estudia cómo integrar la navegación autónoma en tiempo real de drones en espacios interiores. La finalidad del uso de drones en espacios interiores es emplearlos para la industria creativa. Esta industria precisa del uso de cámaras de muy alta definición y de un soporte o gimbal (cardán) que proporcione a la cámara los suficientes grados de libertad como para realizar las grabaciones necesarias.

Los aspectos previos se presentan en el artículo y se organizan de la siguiente forma: inicialmente se presenta la problemática que trata de resolver el proyecto AiRT. En el siguiente apartado se estudian las necesidades del sistema, especialmente los relativos a la seguridad del entorno y del dron. Seguidamente se presentan los elementos de la arquitectura que dan soporte al sistema para finalizar con la discusión de la experiencia obtenida en los primeros meses de proyecto.

2 EL USO DE DRONES EN ENTORNOS INTERIORES

En el entorno de la industria creativa, para dotar de la mayor cantidad de movimientos posibles a la cámara, es habitual el uso de una gran cantidad de dispositivos como grúas, raíles o armazones portátiles. Estos dispositivos suelen tener muchos inconvenientes: son complejos de montar, manejar y desmontar, aunque la mayor limitación es que tienen un espacio limitado de movimientos. Sin embargo, los vehículos aéreos no tripulados, conocidos como UAVs, RPAs o drones, evitan los inconvenientes anteriormente nombrados. Cuando la grabación se produce en entornos interiores, desde un plató de televisión o cine hasta pabellones deportivos cubiertos, los drones pueden proporcionar tomas desde puntos de vista imposibles con los medios actuales dado que su estabilidad es controlable con una gran precisión [2].

Sin embargo, un dron que realice grabaciones de entornos interiores, requiere de dos características fundamentales: seguridad de todos los elementos (dron y entorno, especialmente si se encuentran personas) y control en tiempo real del dron y de la navegación del mismo. Actualmente la navegación

en interior de drones se realiza mayoritariamente usando drones comerciales, tanto para el control del dron [4] como para el seguimiento de la trayectoria [9]. Siendo éste último aspecto uno de los más interesantes en cuanto a investigación se refiere [6].

Los aspectos de navegación y control en tiempo real del dron son especialmente relevantes para la industria creativa. La posibilidad de disponer de la trayectoria realizada por el dron permite repetir las grabaciones (algo muy habitual en la industria creativa). Por ello, es necesario un sistema de soporte que proporcione las rutas realizadas, o permita diseñar rutas para el dron dentro del entorno. Este sistema, además, implica disponer de un mapa en tres dimensiones del entorno interior, siendo los drones los vehículos más favorables para ser empleados con este fin [3].

3 ARQUITECTURA: SEGURIDAD Y CONTROL

3.1 EL ENTORNO

El entorno de navegación en interior para un dron se caracteriza por tener en cuenta completamente las tres dimensiones. En entornos robóticos, generalmente son dos dimensiones, junto al área de actuación vertical del robot, las que se tienen en cuenta. Sin embargo, los drones tienen una libertad de movimiento similar en todas las dimensiones. Consecuentemente, cada dimensión tiene una serie de limitaciones que se deberán considerar. La figura 1, muestra los límites en el caso menos favorable (el eje vertical).



Figura 1: Límites de actuación del dron en el entorno (caso concreto del eje z).

En el centro de la figura 1 se destaca la zona segura en la que sólo se pueden encontrar obstáculos no predecibles, generalmente en movimiento. Los condicionantes del eje vertical son extrapolables al

resto de los ejes. Por ello el mapa del entorno sólo cubre parte de la seguridad, y es el propio dron el que deberá disponer de los mecanismos necesarios para poder detectar aquellos obstáculos no incluidos en el mapa. El hecho de disponer de un mapa, permite determinar las zonas donde, bien por encontrarse obstáculos conocidos o bien por otros motivos, no se desea que el dron vuele.

3.2 NIVELES DE SEGURIDAD

La navegación del dron en un entorno interior con las características descritas en el primer apartado debe tener diversos niveles de seguridad. Dichos niveles de seguridad están relacionados con los niveles de navegación que tiene el dron (figura 2)

	Manual navigation	Reactive navigation	Deliberative navigation	Intelligent navigation
Avoiding obstacles	No	Yes	Yes	Yes
Avoiding forbidden places	No	No	Yes	Yes
Follow the flight path	No	No	No	Yes

Figura 2: Niveles de navegación y características relacionadas.

El principal nivel de seguridad es el que contempla que, incluso, los sensores que proporcionan la detección y evitación de obstáculos al dron pueden fallar, es por ello que el dron debe, siempre, poder ser pilotado de forma manual. El siguiente nivel de seguridad es el nivel reactivo, donde los sensores incorporados al dron deben detectar los obstáculos y el sistema reactivo evitarlo. El nivel deliberativo es el que permite al dron volar en los espacios que, en el mapa, están autorizados, comprobar si se sigue una ruta o, incluso, generar rutas. Esto se debe a que la navegación deliberativa implica el uso del mapa para aquellos aspectos en que pueda ser de utilidad. Finalmente, el nivel inteligente es aquel en el que la navegación no es pilotada por personas, sino que el sistema es el que guía al dron. Para este guiado, además de disponer de un mapa, se debe disponer de una ruta ya establecida que el dron deberá seguir. Los niveles de seguridad son prioritarios. La navegación manual tiene prioridad sobre todos los modos. La reactiva, es prioritaria sobre la deliberativa y la inteligente, siendo esta última la de menor prioridad.

4 ARQUITECTURA PROPUESTA

A partir de las características anteriores, se diseñan los componentes de la arquitectura del sistema. Dado que debe haber una navegación deliberativa e inteligente, el sistema debe disponer de un mapa y de un método de posicionar al dron dentro de dicho

mapa. Además, la navegación inteligente precisa de un método de especificación de rutas a seguir y de acciones a tomar durante la navegación en dicha ruta. Las acciones son las propias de la misión del dron, en concreto son acciones de navegación (movimiento entre puntos, instante temporal y velocidad a la que debe moverse) y acciones de grabación (parámetros de la cámara de grabación, orientación de cámara, instantes en que debe empezarse y debe finalizar la grabación, etc. En la figura 3, se muestran los principales bloques del sistema.

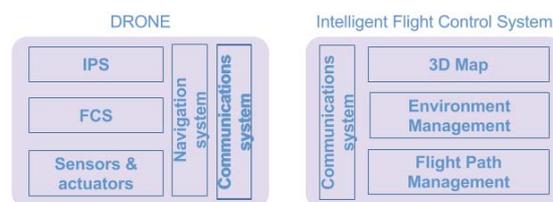


Figura 3: Bloques de la arquitectura propuesta.

4.1 DRON

El dron empleado es un diseño de la empresa Aerotools UAV [1]. El dron dispone de una serie de sensores y actuadores propios de este tipo de vehículos, tales como el Global Positioning System (GPS) o el Inertial Measurement Unit (IMU). Sin embargo, para la navegación reactiva, son necesarios más sensores, en concreto un sistema de sensores de rango, que permiten detectar y evitar obstáculos, y un Indoor Positioning System (IPS) que suplente al GPS en entornos interiores. En el caso de los actuadores, se dispone de los actuadores propios de un dron (motores y balizas), pero incrementados con zumbadores que permitan avisar acústicamente en el caso de situaciones de emergencia. La lectura de los sensores, y actuación correspondiente, es realizada por el Flight Control System (FCS).

Para la creación del mapa, el dron va equipado con una cámara RGBD ampliamente usada para tareas similares de reconstrucción 3D [7]. Para la grabación, el dron dispone de un cardán que debe ser controlable y una cámara de grabación 4K. Las cámaras para el mapa y para la grabación son gestionadas por el sistema de navegación.

4.2 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO INTELIGENTE (IPS)

El sistema de posicionamiento inteligente se basa en tecnología Ultra Wide Band (UWB) [5]. Este sistema consiste en una serie de antenas situadas en el entorno y un receptor situado en el dron. El sistema está desarrollado por la empresa Pozyx [8].

4.3 SISTEMA INTELIGENTE DE NAVEGACION AUTÓNOMA

Las tareas principales de este módulo son la creación del mapa, la asistencia al usuario para la creación del plan de vuelo y la monitorización de los vuelos. Para la creación del mapa 3D del espacio donde se moverá el dron se utilizará una cámara de profundidad a bordo. Dicha cámara es capaz de capturar tanto la geometría de la escena como su textura. El resultado de una captura de dicha cámara es una nube de puntos (figura 4), donde cada punto está definido por sus 3 coordenadas (X, Y, Z) con respecto a la cámara, y su color. Para construir un mapa global de la escena, es necesario transformar cada una de las nubes de puntos capturadas a un sistema de coordenadas común. El sistema de posicionamiento proporciona en cada momento la posición y orientación del dron (y, por lo tanto, de la cámara), lo que permite llevar cada punto del sistema de la cámara al sistema de coordenadas común. De esta forma el alineamiento de varias nubes de puntos resultará en un modelo 3D consistente con mínimas distorsiones (las debidas a la precisión de los sensores empleados). Para optimizar este proceso es necesario eliminar aquellos puntos que se corresponden con el ruido inherente del sensor de profundidad y las condiciones de iluminación. Así mismo, durante el alineamiento de las nubes de puntos, se deben descartar aquellos puntos que se encuentran en una zona que ya ha sido registrada en el modelo 3D global y añadir únicamente aquellos que se encuentran en zonas no registradas.

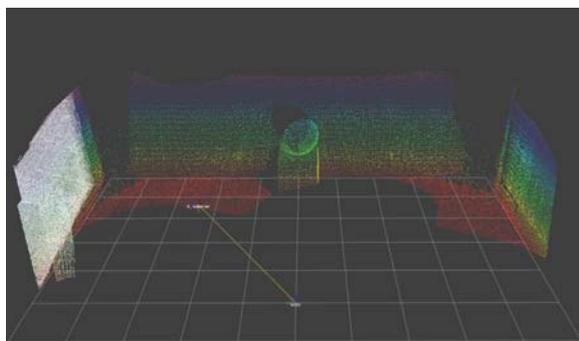


Figura 4: Simulación del alineamiento de nubes de puntos.

Una vez que se ha capturado el mapa del entorno, el sistema permitirá al usuario definir el plan de vuelo. El plan de vuelo consiste, como se ha explicado antes, en una secuencia de puntos de paso (*waypoints*) por los que tiene que pasar el dron, y la configuración del gimbal y la cámara. Para realizar dicho plan de vuelo, el sistema mostrará al usuario una interfaz de usuario con varias vistas del mapa capturado en el paso anterior. El usuario podrá definir el camino que debe seguir el dron, y la posición y orientación de la cámara en cada punto del

camino. Para ello tan sólo deberá manejar una cámara virtual, que le mostrará una aproximación de lo que verá la cámara real, una vez que el dron ejecute el plan de vuelo, y se encuentre en dicho punto. Definir el plan de vuelo off-line permite no depender de la duración de las baterías del dron y poder trabajar en cualquier momento y lugar, incluso sin acceso al dron. Por último, la interfaz de usuario proporcionará herramientas para ajustar el plan de vuelo durante la realización del vuelo. El usuario tendrá varias opciones para controlar el plan de vuelo. Por ejemplo, el dron puede actuar como una *cable cam*. Este dispositivo consiste en un cable instalado en la zona de grabación, del que cuelga la cámara. La cámara está instalada sobre una plataforma motorizada, que permite avanzar o retroceder sobre el cable. Siguiendo esta metáfora, se podría considerar que el plan de vuelo es el cable (es mucho más flexible, puesto que puede seguir formas más complejas que un cable real), y entonces el operador podría, durante la grabación, tener herramientas para avanzar, retroceder, parar, acelerar o decelerar a lo largo de ese cable virtual. Esta interfaz permite a un usuario poco experimentando en el vuelo de drones realizar vuelos complejos fácilmente.

4.4 COMUNICACIONES

El sistema de comunicaciones es el responsable de gestionar la conexión entre todos los elementos. Esta conexión se da entre los propios elementos del dron y entre el dron y el sistema de navegación inteligente.

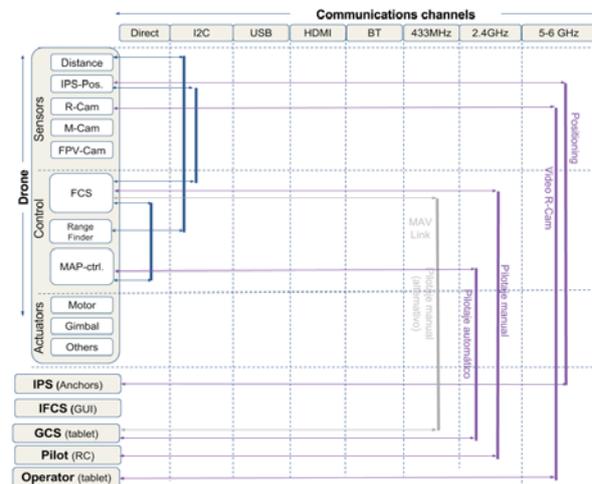


Figura 5: Interconexión de los componentes del sistema.

El principal reto de las comunicaciones está en la heterogeneidad de los componentes y en los requisitos que los diferentes modos de navegación imponen. En la figura 5 se muestran los componentes y las conexiones entre ellos.

Internamente el dron se conecta por medio de enlaces directos y el bus I2C. Dejando la conexión USB y HDMI como medios auxiliares de soporte en caso de necesitarse una vía alternativa. La conexión entre el dron y el sistema de control (tanto el piloto como el sistema automático inteligente) se realiza por medio de diferentes canales. El modo de navegación manual emplea la frecuencia de 2.4GHz, dado que esta frecuencia también la emplea el control automático, simplificándose de esta forma el acceso a las órdenes por parte del dron. Sin embargo, el modo de navegación manual también puede emplear la frecuencia de 433 MHz como modo de emergencia. Ya que la navegación manual es la considerada de emergencia debe poder facilitarse dos canales para dar soporte al fallo de uno de ellos.

El sistema de posicionamiento emplea la frecuencia de 5GHz. Esta frecuencia es compartida, por medio de bandas, con la emisión de la cámara de grabación. Esto se debe a que la cámara de muy alta definición precisa de un considerable ancho de banda para poder enviar las imágenes de vídeo correspondientes.

5 FUNCIONAMIENTO

Los componentes presentados anteriormente se ponen en marcha en diferentes fases, numeradas en función del vuelo del dron que se responsabiliza de la misma. Las fases se muestran en la figura 6.

	Flight 0	Flight 1	Flight 2	...	Flight i
Position (IPS)	Calibrating	Available	Available	○○○	Available
3D Map	Not available	Being generated	Available	○○○	Available
Flight plan	Not available	Not available	Testing	○○○	Available
Pilot	Necessary	Necessary	Recommended	○○○	Not Necessary
Operator	Not necessary	Not necessary	Necessary	○○○	Necessary

Figura 6: Funcionamiento del sistema propuesto.

La fase inicial (vuelo 0) es la que se emplea para calibrar el sistema de posicionamiento, dado que la posición del dron es fundamental para la creación del mapa. Una vez se ha calibrado el sistema de posicionamiento, se pasad al vuelo 1, donde debe construirse el mapa usando la cámara RGBD. Dado que en estas dos etapas no se dispone de mapa, el dron debe ser pilotado por personal experto. El vuelo 2, es el primero en el que se dispone de la posición del dron y del mapa del entorno. En este vuelo no es imprescindible contar con un piloto, dado que el

objetivo principal del mismo es determinar el plan de vuelo (incluyendo las acciones que debe realizar la cámara de grabación).

Cada uno de los diferentes vuelos de la puesta en funcionamiento se asocian con modos de navegación. El vuelo 0 y el vuelo 1 se asocian al modo de navegación reactivo. Una vez creado el mapa se puede realizar el vuelo 2, asociado al modo de navegación deliberativo. De esta forma, conociendo el entorno y las zonas de vuelo permitidas, el operador ya puede decidir qué tomas desea realizar. El vuelo 2 puede repetirse las veces que sea necesario para así dejar el plan de vuelo listo para los posteriores vuelos, que ya pueden realizarse en modo de navegación inteligente.

6 CONCLUSIONES

En el presente artículo se ha mostrado la arquitectura inicial del proyecto AiRT. Esta arquitectura está orientada a lograr la navegación autónoma de un dron en entornos interiores. La misión del dron es la grabación de vídeos y fotografías con cámaras de muy alta definición. En el artículo se ha mostrado las dificultades que este tipo de misión implican. Para lograr realizar este tipo de misiones, el sistema precisas de diferentes modos de navegación. Lo cual determina proporcionar al dron de una cantidad de sensores no habitual y de un sistema de posicionamiento en interiores.

Actualmente se tienen dos retos concretos para alcanzar como metas del proyecto. El primero de ellos consiste en lograr parametrizar correctamente la medición de la navegación del dron, ya que no sólo deben tenerse en cuenta los parámetros clásicos de la navegación de robots en entornos interiores, sino también los cambios entre modos de navegación. El hecho de que los entornos interiores se compongan de volúmenes, por lo general, más pequeños que los entornos exteriores hace que los cambios entre modos deban realizarse en tiempo real estricto. El siguiente de los retos consiste en lograr una navegación autónoma completa. Esto implica que el dron no deba depender en ningún momento de pilotaje experto. Este aspecto implica que los vuelos de calibración y aprendizaje del entorno deban realizarse de forma autónoma sin un mapa y sin un sistema de posicionamiento calibrado. Este reto incluye el uso de técnicas de SLAM y de aprendizaje automático.

Finalmente, el proyecto tiene dos posibles ramas para continuar desarrollándose: la navegación híbrida entre entornos interiores y exteriores, y la navegación simultánea de varios drones compartiendo mapa y sistema de posicionamiento.

Agradecimientos

Este proyecto está financiado por el programa de la Unión Europea Horizonte 2020 de código No 732433 – AiRT.

Referencias

- [1] AeroTools-UAV. [Online: julio 2017]. Available: www.aerotools-school.es
- [2] Castillo, P., García, P., Lozano, R., & Albertos, P. (2007). Modelado y estabilización de un helicóptero con cuatro rotores. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 4(1), 41-57.
- [3] Heng, L., Honegger, D., Lee, G. H., Meier, L., Tanskanen, P., Fraundorfer, F., & Pollefeys, M. (2014). Autonomous visual mapping and exploration with a micro aerial vehicle. *Journal of Field Robotics*, 31(4), 654-675.
- [4] Hussein, A., Al-Kaff, A., de la Escalera, A., & Armingol, J. M. (2015, November). Autonomous indoor navigation of low-cost quadcopters. In *Service Operations And Logistics, And Informatics (SOLI), 2015 IEEE International Conference on* (pp. 133-138). IEEE.
- [5] Lee, J. S., Su, Y. W., & Shen, C. C. (2007, November). A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi. In *Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE* (pp. 46-51). IEEE.
- [6] Martinez, S. E., & Tomas-Rodriguez, M. (2014). Three-dimensional trajectory tracking of a quadrotor through PVA control. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 11(1), 54-67.
- [7] Munera, E., Poza-Lujan, J. L., Posadas-Yagüe, J. L., Simó-Ten, J. E., & Noguera, J. F. B. (2015). Dynamic reconfiguration of a RGBD sensor based on QoS and QoC requirements in distributed systems. *Sensors*, 15(8), 18080-18101.
- [8] Pozyx - Accurate Positioning. [Online: julio 2017]. Available: <http://www.pozyx.io>
- [9] Santana, L. V., Brandao, A. S., Sarcinelli-Filho, M., & Carelli, R. (2014, May). A trajectory tracking and 3d positioning controller for the ar. drone quadrotor. In *Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2014 International Conference on* (pp. 756-767). IEEE.