

# ACTAS

DE LAS

## XXXVIII Jornadas de Automática

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



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



**CEA**  
Comité Español  
de Automática

Colabora

**Gijón**

Convention Bureau



Actas de

**XXXVIII**

**Jornadas de Automática**

© 2017 Universidad de Oviedo  
© Los autores

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

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

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

## Prefacio

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

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

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

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

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

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López  
Presidente del Comité Organizador



## Program Committee

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

Daniel Pérez	University of Oviedo
Emilio Pérez	Universitat Jaume I
Juan Pérez Oria	Universidad de Cantabria
Miguel Ángel Ridao	Universidad de Sevilla
Gregorio Sainz-Palmero	Universidad de Valladolid
Antonio Sala	Universitat Politecnica de Valencia
Ester Sales-Setién	Universitat Jaume I
Jose Sanchez	UNED
Javier Sanchis Saez	Universitat Politecnica de Valencia (UPV)
José Pedro Santos	ITEFI-CSIC
Matilde Santos	Universidad Complutense de Madrid
Alvaro Serna	University of Valladolid
José Enrique Simó	Universidad Politécnica de Valencia
José A. Somolinos	ETS I Navales. Universidad Politecnica de Madrid
Fernando Tadeo	Univ. of Valladolid
Alejandro Tapia	Universidad de Loyola Andalucía
David Tena	Universitat Jaume I
Jesús Torres	Universidad de La Laguna
Pedro M. Vallejo	Universidad de Salamanca
Guilherme Vianna	Universidad de Sevilla
Alejandro Vignoni	AI2 - UPV
Ramón Vilanova	UAB
Francisco Vázquez	Universidad de Cordoba
Jesús M. Zamarreño	University of Valladolid



## Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

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

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

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

Hernandez Ruiz, Alejandro  
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

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

Núñez, Luis Ramón

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

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

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor



## Table of Contents

---

### Ingeniería de Control

---

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. Zamarréño, 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>	
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>	
<b>HERRAMIENTAS DE ENTRENAMIENTO Y MONITORIZACIÓN PARA EL DESMINADO HUMANITARIO .....</b>	<b>793</b>
<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>	
<b>SIMULACIÓN DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS USANDO V-REP BAJO ROS .....</b>	<b>806</b>
<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>	
<b>ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE SINGULARIDADES AISLADAS EN ROBOTS PARALELOS MEDIANTE DESARROLLOS DE TAYLOR DE SEGUNDO ORDEN.....</b>	<b>821</b>
<i>Adrián Peidro Vidal, Óscar Reinoso, Arturo Gil, José María Marín and Luis Payá</i>	
<b>INTERFAZ DE CONTROL PARA UN ROBOT MANIPULADOR MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL .....</b>	<b>829</b>
<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>	
<b>DISEÑO MECÁNICO DE UN ASISTENTE ROBÓTICO CAMARÓGRAFO CON APRENDIZAJE COGNITIVO .....</b>	<b>844</b>
<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>	
<b>CÁLCULO DE FUERZAS DE CONTACTO PARA PRENSIONES BIMANUALES.....</b>	<b>852</b>
<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>	

# CONTROL EN TIEMPO REAL Y SUPERVISIÓN DE PROCESOS MEDIANTE SERVIDORES OPC-UA

Francisco Blanes Noguera

pblanes@ai2.upv.es

Andrés Benlloch Faus

anbenfau@ai2.upv.es

Instituto Universitario de Automática e Informática Industrial  
Universitat Politècnica de Valencia

## Resumen

*El control de procesos junto con la supervisión de los mismos son casos de sistemas con restricciones temporales de carácter diferente. Mientras el control requiere el cumplimiento de restricciones de forma estricta habitualmente, la supervisión permite un tratamiento más relajado de las condiciones. Esta naturaleza tan distinta de la problemática, hace que su combinación en el mismo sistema hardware sea compleja. [1]*

*El presente experimento aborda la problemática de controlar y supervisar el estado de una planta piloto con un elemento de posicionamiento crítico en su control. Para ello se han experimentado con diversas soluciones HW-SW valorando sus ventajas e inconvenientes.*

**Palabras Clave:** sistema empotrado, control en tiempo real, supervisión de procesos, protocolo OPC-UA

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente experimento tiene como objetivo llevar a cabo el control de un sistema de posicionamiento tridimensional crítico encargado de la recolección y posterior ubicación de piezas a lo largo de una cinta transportadora. Dicho control se deberá llevar a cabo de forma rápida y precisa, ya que la más mínima variación en la posición en cualquiera de los tres ejes de la grúa provocará una mala operación de la línea.

La planta piloto que vamos a controlar durante el experimento consta de una grúa compuesta de un sistema de succión formado por un compresor y unas válvulas de vacío, este sistema es el encargado de llevar a cabo el agarre de las piezas durante el proceso de transporte, 6 encoders encargados de contabilizar los pasos de los motores así como indicar la orientación del giro y 3 motores encargados de llevar a cabo el posicionamiento de la grúa. Los motores permiten llevar a cabo movimientos en el eje vertical, el eje horizontal y rotaciones horarias y anti horarias.

En una primera instancia se planteó llevar a cabo el control del proceso de posicionamiento de la grúa a través de las entradas y salidas digitales de un PLC, sin embargo, nos encontramos con la problemática de que la frecuencia de muestreo de las entradas digitales del PLC era mucho menor que la frecuencia a la que los encoders enviaban sus pulsos, el desfase existente entre las frecuencias provocaba la pérdida de pasos de los encoders, lo que se traducía en un posicionamiento erróneo de la grúa.

Dado que la frecuencia de muestreo del módulo entradas digitales del PLC no se podía aumentar, se optó reducir la frecuencia de los pulsos que enviaba el encoder al PLC, para ello se diseñó un sistema de división de pulsos virtual mediante un sistema empotrado programable, concretamente un Arduino Mega 2560, que permitía, gracias a la frecuencia de su reloj, muestrear todos los pulsos enviados por los encoders, contabilizarlos y enviar pulsos a las entradas digitales del PLC dentro de una frecuencia de muestreo válida para que el PLC fuese capaz de detectar las señales recibidas y poder llevar a cabo un posicionamiento correcto de la grúa. Esta solución resultó válida, sin embargo, no era óptima, ya que al dividir los pulsos del encoder perdíamos precisión en el posicionamiento, lo que producía que en ocasiones fuésemos incapaces de colocar la grúa en las posiciones apropiadas.

Para solucionar esta problemática se decidió cambiar el PLC encargado de controlar el proceso de posicionamiento de la grúa y el divisor de pulsos virtual por un sistema empotrado NI myRIO capaz de muestrear correctamente los pasos de los encoders y manejar la grúa, permitiéndonos aplicar un sistema de control en tiempo real válido sobre la misma. Esta solución resultó ser la más apropiada para aplicar un control sobre el proceso, ya que permitía posicionar de forma precisa la grúa, considerando únicamente el error proveniente de los problemas mecánicos existentes.

### 1.1 Motivación

En anteriores experimentos, no relacionados directamente con el que actualmente abordamos, se

Llevaron a cabo pruebas con los sistemas industriales utilizados, y se determinó que las entradas digitales del PLC, al no tratarse de entradas de alta velocidad, eran incapaces de detectar todos los pulsos enviados por los encoders de la grúa, lo que dificultaba el posicionamiento de la grúa, provocando fallos en el funcionamiento del proceso industrial que estábamos simulando.

Para solucionar dicha problemática, y ser capaces de llevar a cabo un control eficiente y preciso de la grúa, se decidió implementar dos posibles soluciones, la primera de ellas consiste en llevar a cabo el diseño y desarrollo de un divisor de pulsos virtual mediante un sistema empotrado programable Arduino Mega 2560. Este sistema será el encargado de llevar a cabo la cuenta de los pulsos de los tres encoders de la grúa y reducir su frecuencia para que las entradas digitales del PLC sean capaces de monitorizar los pasos del encoder.

La segunda solución, consisten en llevar a cabo la implementación del sistema de control sobre un sistema empotrado NI myRIO, el cual, gracias a sus prestaciones, nos permite llevar a cabo la monitorización de las salidas digitales de la grúa sin perder ningún pulso y a su vez llevar a cabo el manejo de la misma a través de sus entradas, permitiéndonos así implementar un sistema de control capaz de posicionar de forma precisa la grúa sin necesidad de utilizar sistemas de apoyo.

## 1.2 Objetivos

Los objetivos que se pretenden alcanzar al finalizar el desarrollo de este trabajo son:

1. Evaluar las características de las soluciones planteadas, desde el punto de vista de sistemas de control en tiempo real.
2. Diseñar e implementar un divisor de pulsos virtual, que permita a las entradas digitales del PLC muestrear los pulsos enviados por los encoders de la grúa y así poder posicionar de la forma más precisa posible cada uno de los tres ejes.
3. Diseñar e implementar un sistema de control sobre un sistema empotrado NI myRIO que nos permita monitorizar los encoders de la grúa y posicionarla de forma precisa. Esta implementación busca demostrar que un sistema empotrado de estas características es capaz de llevar a cabo un control en tiempo real de un sistema industrial crítico.
4. Desplegar un servidor OPC-UA sobre un sistema empotrado NI myRIO, con el objetivo de combinar en el mismo HW control en tiempo real y servicios de supervisión de alto nivel mediante protocolo OPC-UA.

5. Llevar a cabo la interconexión de diversos sistemas OPC-UA y monitorizar la grúa desde diferentes equipos.

## 2 EQUIPOS

Para llevar a cabo el control y posicionamiento de la grúa ha sido necesario utilizar diversos sistemas de control que permitiesen manejarla de forma precisa. Los elementos hardware utilizados en el experimento fueron:

### 2.1 PLC OMRON serie NJ

El PLC utilizado en los casos de uso del presente experimento es el modelo OMRON de la familia NJ1. Estos equipos son los utilizados a nivel industrial para llevar a cabo el control de procesos en tiempo real. Dichos sistemas disponen de módulos para añadir funcionalidad a la CPU, la cual se encarga de monitorizarlos y controlarlos. En el presente experimento, dado que las entradas y salidas del proceso a controlar son digitales se optó por la colocación de un módulo de entradas/salidas digitales que permitiese comunicar el PLC con el proceso y llevara a cabo el control del mismo.

#### 2.1.1 Módulo E/S digitales MD232

El módulo de entradas/salidas digitales utilizado para llevar a cabo la comunicación entre el PLC y el proceso a controlar es el modelo MD232, dispone de un total de 16 entradas digitales y 16 salidas digitales, las cuales resultan suficientes para llevar a cabo el control del proceso de posicionamiento de la grúa.

### 2.2 Arduino Mega

El Arduino Mega es una placa basada en el microcontrolador ATmega2560 de Atmel que dispone de 54 pines I/O digitales, de los cuales 15 pueden utilizarse a su vez de salidas PWM, 16 entradas analógicas, 4 UARTs un reloj de 16 Mhz de frecuencia [3].

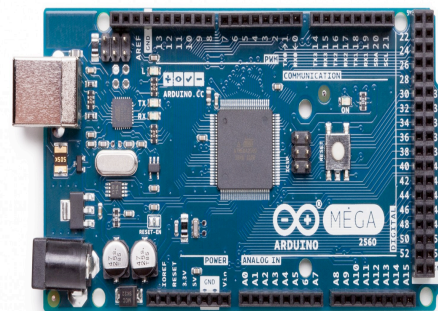


Figura 1: Arduino MEGA 2560.

Gracias a sus pines programables y a la frecuencia de reloj de 16 Mhz se convierte en un sistema válido para implementar un divisor de pulsos apropiado para el caso que nos ocupa. Se decidió utilizar un sistema programable para llevar a cabo la implementación del divisor de pulsos, y no el diseño de un sistema electrónico, para poder ajustar de forma dinámica y simple la frecuencia de división de la señal de los encoders.

### 2.3 NI myRIO

Se trata de un sistema educativo de tiempo real basado en la arquitectura ARM Cortex-A9 dual-core con entradas/salidas programables de FPGA Xilinx. El sistema empotrado está formado por 10 salidas analógicas, 6 salidas digitales y 40 líneas de E/S digital. Además, dispone de conectividad alámbrica e inalámbrica lo que facilita su instalación en medios industriales [2].



Figura 2: NI myRIO.

En el experimento que nos ocupa el sistema empotrado se programó para llevar a cabo tanto para la adquisición de datos como para la generación de señales de control.

## 3 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

La problemática que nos ocupa en el presente experimento surgió tras intentar llevar a cabo el control de un proceso de posicionamiento preciso mediante un módulo de entradas/salidas digitales sin entradas rápidas de un PLC. Tras varias pruebas determinamos que el módulo era incapaz de detectar gran parte de los pulsos enviados por los encoders del proceso, provocando así errores en el posicionamiento de la grúa.

Dicha problemática motivó el diseño de un sistema de división de pulsos virtual con el objetivo de reducir la frecuencia de los pulsos que llegan al módulo de entradas digitales del PLC y permitir a este detectar los pasos de los encoders de posicionamiento de la grúa. El sistema de división de pulsos virtual está formado por un sistema empotrado

Arduino Mega 2560 y tres relés, a través de los cuales el sistema empotrado envía las señales de pulso de los encoders dividida a las entradas digitales del PLC.

Esta solución atenuó de forma considerable el error de posicionamiento existente cuando conectábamos directamente las salidas de los encoders a las entradas digitales del PLC, sin embargo, seguía existiendo un pequeño error en el posicionamiento de la grúa que producía que en ocasiones el funcionamiento de la grúa no fuese el correcto produciendo fallos en el proceso. Por este motivo, dado que el posicionamiento de la grúa resulta crítico para realizar correctamente las labores de ubicación de piezas, se decidió abordar una segunda solución para atenuar aún más el error de posicionamiento existente cuando utilizamos el divisor de pulsos virtual.

Esta segunda solución consiste en la utilización de un sistema empotrado myRIO de National Instruments para llevar a cabo el control de la grúa en lugar de un PLC vinculado a un divisor de pulsos virtual. Gracias a las prestaciones que proporciona dicho sistema empotrado, en esta ocasión las salidas digitales de los encoders pueden conectarse directamente a las entradas digitales del sistema de control sin miedo a perder ningún pulso de cualquiera de sus tres ejes de acción. Además, gracias a sus salidas digitales nos permite actuar directamente sobre las entradas de la grúa, permitiéndonos controlar el proceso de producción directamente desde el sistema empotrado.

### 3.1 Divisor de pulsos virtual con Arduino Mega 2560

La finalidad del divisor de pulsos virtual es la de reducir  $N$  veces la frecuencia de las señales que envían los tres encoders de posicionamiento de la grúa para que la frecuencia de muestreo de las entradas digitales del módulo de entradas/salidas del PLC sea capaz de detectar cambios de estados y contabilizar los pulsos del encoder.

Para ello el divisor de pulsos virtual consta de un sistema empotrado Arduino Mega 2560 programable, con una frecuencia de reloj de 16 Mhz capaz de detectar los pulsos que envía cada uno de los encoders a través de sus entradas digitales y tres relés que enviarán pulsos a las entradas digitales del PLC simulando los pulsos de los encoders.

Para ello se programaron tres contadores dentro del sistema empotrado vinculados a las señales de los encoders y a las salidas que activan los relés. De esta forma cada vez que el sistema empotrado contabilizaba un número determinado de pulsos por cada uno de los encoders de la grúa enviaba un pulso al PLC mediante la activación y posterior desactivación de los relés.

Sin embargo, este sistema presenta un inconveniente importante a tener en cuenta a la hora de posicionar



la grúa y es que para que las entradas digitales del PLC sean capaces de muestrear el paso del encoder es necesario dividir la señal del encoder en un orden de entre 8 y 10 veces, lo que provoca que se pierda precisión durante el posicionamiento de la grúa.

### 3.2 Control del proceso de posicionamiento de una grúa mediante NI myRIO

Debido a los errores de posicionamiento detectados cuando llevábamos a cabo el control de la grúa mediante el PLC, decidimos llevar a cabo la implementación de un sistema de control dentro de un sistema de tiempo real como es NI myRIO.

Al disponer dicho sistema de entradas y salidas digitales somos capaces de monitorizar todas las señales que envía la grúa sin necesidad de utilizar para ello divisores de pulsos, así como manejar esta mediante las salidas digitales del sistema empotrado. Para llevar a cabo el control del proceso de posicionamiento de la grúa se implementó una máquina de estados que simulase el comportamiento del graficet implementado en el PLC y así replicar el mismo sistema de control en ambos casos y poder realizar comparaciones entre ellos a posteriori.

## 4 EVALUACIÓN Y CASOS DE USO

Para testear que los sistemas que se ha implementado cumplía con los objetivos establecidos, se tomó la decisión de diseñar una serie de casos de uso que se describen con detalle en las siguientes subsecciones. Durante los diferentes casos de uso se utilizó un PLC Omron serie NJ, un sistema empotrado Arduino Mega, un sistema emportado NI myRIO y una maqueta Fishertechnik modelo “Vacuum Gripper Robot 24V” como la de la Figura 3.

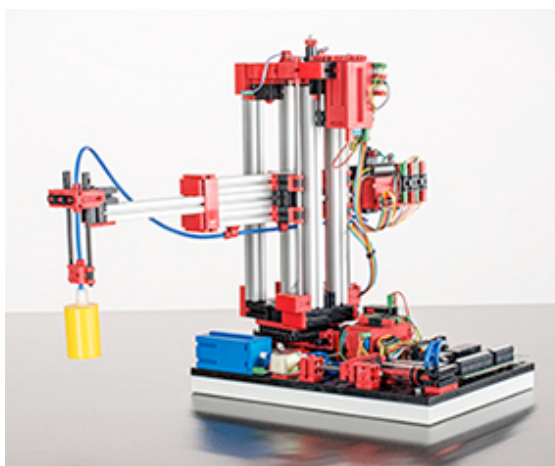


Figura 3: Maqueta Fishertechnik

### 4.1 Control de un proceso de posicionamiento crítico mediante PLC

El objetivo que se busca conseguir en este caso de uso es demostrar que el módulo de entradas/salidas digitales del PLC es incapaz de muestrear de forma correcta los pulsos enviados por los 3 encoders (Rotación, Avance/Retroceso y Subida/Bajada) de los que dispone la grúa para su posicionamiento.

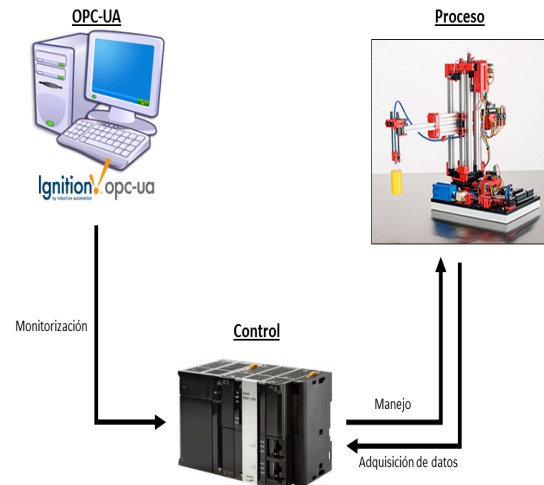


Figura 4: Esquema de la solución control mediante PLC.

1. Configuramos las entradas y salidas digitales del módulo MD232 en el PLC.
2. Conectamos las entradas y salidas digitales del PLC a las entradas y salidas digitales del proceso a controlar.
3. Cargamos en el PLC el programa graficet diseñado para controlar el proceso.
4. Ponemos en marcha el proceso en repetidas ocasiones y medimos las posiciones de la grúa para detectar los errores que se producen en el posicionamiento de la misma a causa de la baja frecuencia de muestreo de las entradas digitales del PLC.

### 4.2 Control de un proceso de posicionamiento crítico mediante PLC y divisor de pulsos virtual

Dado que en el caso de uso anterior demostramos que únicamente con la frecuencia de muestreo de las entradas y salidas digitales del PLC somos incapaces de detectar todos los pasos de los encoders, en este caso de uso se añade un divisor de pulsos entre el proceso y las entradas digitales del PLC para adecuar las señales enviadas a la frecuencia de muestreo del PLC, y así llegar a controlar de forma más eficiente el posicionamiento de la grúa.

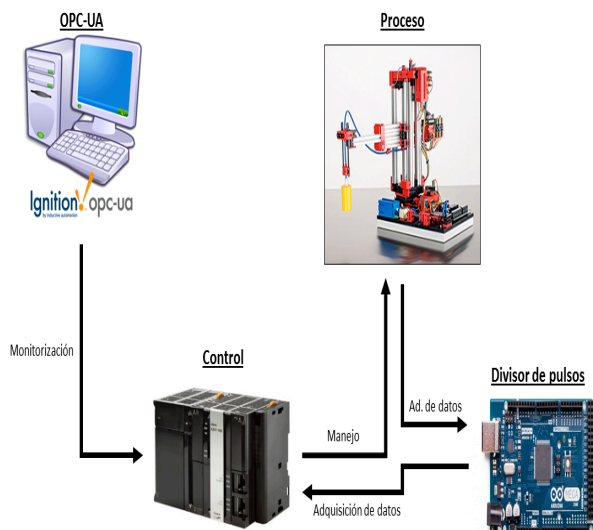


Figura 5: Esquema de la solución control mediante PLC y divisor de pulsos.

1. Configuramos las entradas y salidas digitales del módulo MD232 en el PLC.
2. Conectamos las salidas digitales del PLC a las entradas digitales del proceso.
3. Conectamos las salidas digitales del proceso al divisor de pulsos virtual implementado.
4. Conectamos las salidas del divisor de pulsos virtual a las entradas digitales del PLC
5. Cargamos en el PLC el programa grafcet diseñado para controlar el proceso.
6. Ponemos en marcha el proceso en repetidas ocasiones y medimos las posiciones de la grúa para detectar los errores que se producen en el posicionamiento de la misma.

Tras haber desplegado todo el sistema antes descrito, procedemos a comprobar si somos capaces de actuar sobre el proceso industrial sin errores de posicionamiento como si ocurría en el caso de uso anterior.

### 4.3 Control de un proceso de posicionamiento crítico mediante un sistema empotrado NI myRIO

Dado que en el caso de uso anterior se consiguió demostrar que mediante la utilización de un divisor de pulsos éramos capaces de muestrear de forma correcta los pasos del encoder pero, sin embargo, debido a la división de pulsos perdíamos precisión en el posicionamiento de la grúa, en este caso de uso se opta por implementar el control del proceso dentro de un sistema empotrado NI myRIO, que gracias a sus características permite muestrear los pasos de los encoders sin necesidad de utilizar para ello un divisor

de pulsos, y además, gracias a sus salidas digitales manejar el proceso.

1. Configuramos las entradas y salidas digitales del sistema empotrado NI myRIO.
2. Implementamos una máquina de estados dentro del sistema empotrado para simular el grafcet implementado en el PLC
3. Conectamos las entradas y salidas digitales del proceso a las entradas y salidas digitales de NI myRIO.
4. Ponemos en marcha el proceso en repetidas ocasiones y medimos las posiciones de la grúa para detectar los errores que se producen en el posicionamiento de la misma.

En este caso de uso, dado que la frecuencia de muestreo de NI myRIO si permite detectar todos los pasos de los encoders, y además tenemos el control del proceso en el mismo equipo, somos capaces de actuar en tiempo real sobre el proceso y llevar a cabo un posicionamiento más preciso que en los anteriores casos de uso.

### 4.4 Despliegue de un servidor OPC-UA sobre un sistema empotrado NI myRIO

Dado que la funcionalidad del presente experimento está orientada al control de un proceso industrial, y que actualmente a nivel industrial se está abogando cada vez más por la conectividad entre equipos y dispositivos desplegados a lo largo de una fábrica, decidimos desplegar un servidor OPC-UA que permitiese a cualquier cliente o servidor conectarse al sistema empotrado NI myRIO y acceder a los datos que en él se almacenan [4].

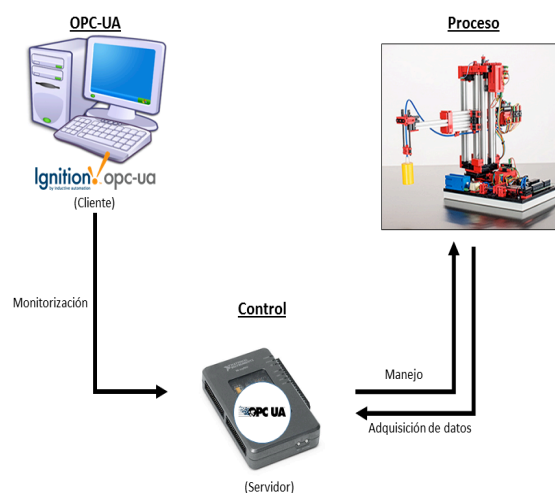


Figura 6: Esquema de la solución control mediante NI myRIO con servidor OPC-UA.

1. Implementación de un servidor OPC-UA en el sistema empotrado NI myRIO mediante los objetos OPC de los que dispone el sistema.
2. Vinculamos las variables a los Tags del servidor OPC-UA.
3. Ponemos en marcha el servidor OPC-UA dentro del sistema empotrado NI myRIO.

Después de haber desplegado todo el sistema antes enumerado, procedimos a comprobar si éramos capaces de acceder a los datos habilitados en el servidor OPC-UA a través de un cliente OPC-UA. Gracias a la capacidad de comunicarnos con el sistema empotrado a través de OPC-UA somos capaces de monitorizar y manejar el proceso controlado por NI myRIO gracias a la escritura de valores en las variables del árbol de Tags.

#### 4.5 Interconexión de servidores OPC-UA desplegados en diferentes arquitecturas

Dado que para testear que el despliegue del servidor OPC-UA sobre el sistema empotrado NI myRIO se había realizado correctamente precisábamos de un cliente OPC-UA, decidimos llevar a cabo la prueba que aborda el actual caso de uso, que consiste en llevar a cabo la inclusión del servidor OPC-UA dentro de un servidor OPC-UA Ignition desplegado sobre un PC

1. Preparamos el servidor OPC-UA dentro del sistema empotrado NI myRIO.
2. Desplegamos el servidor OPC-UA de Ignition sobre un PC.
3. Comunicamos ambos servidores a través del protocolo de comunicaciones OPC-UA.
4. Visualizamos el árbol de Tags del servidor OPC-UA de myRIO a través del cliente OPC-UA que incorpora Ignition.
5. Realizamos operaciones de lectura y escritura sobre las variables de NI myRIO a través del cliente OPC-UA de Ignition.

Tras realizar las pruebas anteriormente enumeradas se pudo concluir que gracias al protocolo OPC-UA éramos capaces de llevar a cabo la monitorización y el manejo del proceso industrial mediante lecturas y escrituras de las variables del sistema empotrado NI myRIO desde el cliente OPC-UA desplegado en el PC.

## 6 CONCLUSIONES

Tras llevar a cabo los casos de uso antes expuestos, las conclusiones que obtuvimos fueron:

- El sistema de control implementado en el PLC con un módulo de entradas/salidas digitales no era suficiente para poder

controlar de forma eficiente el posicionamiento de la grúa, ya que la frecuencia de muestreo de las entradas digitales del PLC era menor que la frecuencia de las señales de los encoders, por lo tanto, éramos incapaces de detectar todos los pasos, lo que provocaba errores en el posicionamiento de la grúa.

- El sistema de división de pulsos virtual resultó de utilidad, ya que al reducir la frecuencia de las señales de los encoders el PLC era capaz de contabilizar los pasos sin pérdida alguna de señales, sin embargo, como consecuencia de la división de pulsos, se perdió precisión en el posicionamiento de la grúa.
- El sistema empotrado de tiempo real NI myRIO resultó ser la solución idónea para el experimento que nos ocupa, ya que gracias a sus prestaciones y a sus entradas y salidas digitales, fuimos capaces de llevar a cabo un posicionamiento preciso, sin apenas errores, de la grúa. Se determinó que el error de posicionamiento detectado en ocasión estaba provocado por errores mecánicos de la grúa, ya que al tratarse de una maqueta los engranajes patinaban provocando que la grúa se detuviese unos pasos por delante de la posición establecida.
- El control del proceso mediante NI myRIO ofrece como ventajas frente al control del proceso mediante PLC una mayor versatilidad al programar el sistema y llevar a cabo el control del proceso gracias la utilización de una FPGA, unos tiempos de respuesta más cortos que el módulo de E/S digitales estándar del PLC y un coste económico menor, ya que para conseguir llevar a cabo el control del proceso mediante el PLC se precisa de un módulo específico de E/S digitales rápidas, cuyo coste sin la CPU del PLC ya supera el coste de sistema empotrado NI myRIO.

## Referencias

- [1] **Burns, Wellings: Real-Time Systems and programming Languages**
- [2] **N. Instruments, MyRio. National Instruments, 2015.**
- [3] **Website:**  
<https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>
- [4] **Wolfgang Mahnke, Stefan-Helmut Leitner, OPC Unified Architecture, 1ª Edición, 2009.**