

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	
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>	

INFRAESTRUCTURA PARA EXPLOTACIÓN DE DATOS DE UN SIMULADOR AZUCARERO

Jesús M. Zamarreño, Cristian Pablos, Alejandro Merino, L. Felipe Acebes, César de Prada
 Grupo de Investigación en Control y Supervisión de Procesos, Universidad de Valladolid
jesusm@autom.uva.es, cristian.pablos@uva.es, alejandro@cta.uva.es, felipe.acebes@eii.uva.es,
prada@autom.uva.es

Resumen

En este trabajo mostramos el desarrollo de una posible infraestructura para implementar algoritmos RTO (Real Time Optimization, optimización en tiempo real) en un sistema industrial. Para ello, construiremos el sistema sobre un simulador de una factoría azucarera que nos permita probar los algoritmos en simulación. Como base de datos industrial que permita el almacenamiento y análisis de los datos usaremos el PI System de la empresa Osisoft®. Finalmente, como entorno desde el que probar los algoritmos RTO usaremos Matlab de la empresa Mathworks®.

Palabras Clave: RTO, Simulador, Base de datos, Energía.

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El presente trabajo está enmarcado dentro del proyecto “Integración de Optimización y Control en plantas de procesos” (DPI2015-70975-P) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Dentro de dicho proyecto se plantea un caso de estudio que consiste en un simulador de planta completa de una factoría azucarera orientado al secuenciamiento y operación conjunta de secciones continuas-batch de gran escala, así como el desarrollo de sistemas RTO para la gestión energética (electricidad y vapor) en la factoría, y la coordinación de ambos RTO. Para hacer posible las pruebas de estos sistemas, además del propio simulador de planta completa (ya disponible como resultado de proyectos previos [4]), es necesario un sistema de gestión de datos industrial que permita un registro de los datos en tiempo real del simulador, así como un análisis de los mismos, y un entorno donde implementar y probar los algoritmos RTO.

Los sistemas RTO buscan determinar en tiempo real las mejores condiciones de operación de un proceso, normalmente considerando objetivos económicos, a la vez que se satisfacen una serie de condiciones

impuestas por las características físicas del mismo y los condicionantes de seguridad, calidad, etc., que puedan existir.

Debido a la creciente competencia a nivel mundial, a los costes energéticos, las exigencias de calidad en los productos, la necesidad de cumplir con normativas medioambientales o de seguridad, etc., así como a la complejidad creciente de los procesos productivos, una vez que se ha alcanzado un nivel básico de control y estabilidad en la operación de una planta, cada vez es más importante saber operar los procesos de forma óptima. Para ello, se debe decidir cuanto y cuando hay que producir en cada subproceso, las fuentes de energía más adecuadas, los puntos de operación de las unidades, etc. de modo que, respetando los rangos de operación admisibles de cada subproceso, el conjunto de los elementos de una planta conduzcan a la operación más eficiente y segura posible [3].

Los sistemas RTO están basados en un modelo del proceso y toman sus decisiones resolviendo un problema de optimización del tipo:

$$\begin{aligned} \min_{u,x,\theta} \quad & J(u,x) \\ h(x,u,\theta) = \quad & 0 \\ g(x,u,\theta) \leq \quad & 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Donde u son las variables de decisión o grados de libertad del proceso, x otras variables del mismo, J la función de costo económica que se quiere minimizar, h representa el modelo del proceso, con θ indicando sus parámetros, y g las restricciones de operación del mismo.

El modelo suele formularse en estado estacionario, dado que se busca encontrar las mejores condiciones de operación en las que debe mantenerse el proceso, las cuales se pasan a los sistemas de control como valores de referencia que deberán ser alcanzados y mantenidos por el mismo, según el esquema que puede verse en la parte izquierda de la Figura 1, en el que MPC representa el control predictivo multivariable. El problema (1) se resuelve

periódicamente a intervalos regulares para adaptarse al estado del proceso.

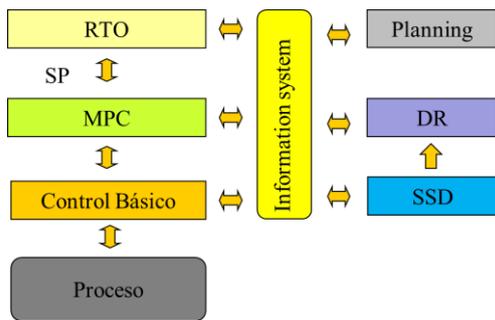


Figura 1: Jerarquía de acciones de decisión y control, sistema de información de la planta e implementación de RTO

Para formular específicamente y resolver el problema RTO (1), se requiere información tanto de los objetivos, precios, etc. impuestos por la planificación general de la producción en la factoría considerada, como información del estado del proceso. Ahora bien, dado que muchas variables del modelo no son medidas con precisión, y que los parámetros del mismo pueden ser inciertos o haber cambiado, lo más frecuente es acompañar al RTO de un problema de reconciliación de datos (DR), que se ejecuta con su misma periodicidad, y que proporciona valores de los parámetros θ del modelo y de las variables del mismo coherentes con el modelo y lo más cercanas posible a los valores medidos. Este problema de reconciliación de datos (DR) se formula también como uno de optimización, con el mismo modelo:

$$\begin{aligned} \min_{u, x, \theta} \quad & \sum [x - x_{med}]^2 + [u - u_{med}]^2 \\ h(x, u, \theta) = \quad & 0 \\ G(x, u, \theta) \leq \quad & 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Donde el subíndice *med* indica valores medidos en planta. De este modo, el modelo se adapta a los posibles cambios en el proceso y se dispone de valores de las variables medidas y no medidas fiables. Como los cálculos se efectúan para estado estacionario, junto a la reconciliación de datos suele incluirse un módulo de detección de estado estacionario SSD.

Dado que son muchos los módulos que intercambian información sobre el estado del proceso y las acciones previstas, a nadie se le escapa el papel clave que juega el disponer de información actualizada, correcta y accesible a todos los niveles, para la realización de las funciones del RTO, así como de otras muchas [2]. Esto es, de un sistema de información que actúe como eje vertebral de comunicaciones, de modo que un esquema de

implementación del sistema RTO próximo a la realidad queda reflejado en la Figura 1 en su totalidad.

El artículo se estructura en 6 secciones. En esta primera sección de introducción hemos planteado el problema que vamos a abordar y los objetivos perseguidos. En la sección 2 describiremos someramente el simulador azucarero de planta completa. El sistema de gestión de datos se detalla en la sección 3. Las secciones 4 y 5 muestran el nivel de desarrollo actual del trabajo y el planteamiento futuro del mismo, respectivamente. Por último, terminamos con unas conclusiones generales en la sección 6.

2 EL SIMULADOR

Los simuladores son herramientas muy útiles en la industria de procesos, que permiten sustituir parcial o globalmente una planta industrial con fines muy diversos. Por ejemplo, la prueba y sintonía de sistemas de control, la incorporación o modificación de algunas partes de la planta, o incluso el entrenamiento de operarios de sala de control. La industria azucarera se caracteriza por ser un proceso muy complejo (Figura 2), que presenta gran parte de las operaciones unitarias presentes en la industria de proceso que operan en conjunto con dinámicas muy diferentes haciendo que modelarlo suponga un verdadero reto.

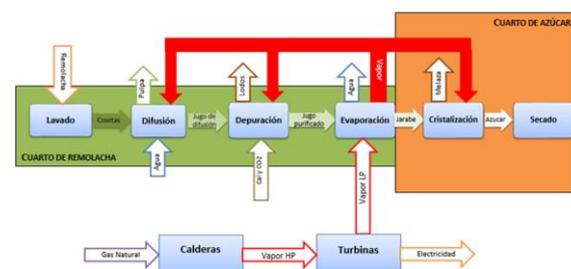


Figura 2: Esquema del proceso

Como se puede observar en la Figura 2, en el proceso azucarero existe una gran interacción energética entre las diferentes partes del proceso, relacionada sobre todo con el consumo del vapor procedente de la sección de evaporación por otros subprocesos. Además, se puede entrever que una de las mayores dificultades del modelado de la fábrica reside en que no solamente se trata de modelar el proceso principal, sino también otros subsistemas asociados, como la generación de vapor en las calderas o de electricidad en las turbinas.

Para el desarrollo del simulador se utilizó como herramienta de modelado y simulación EcosimPro® [5]. Este entorno de modelado y simulación de

carácter general, utiliza EL (EcosimPro Language) como lenguaje de programación perteneciente a la familia de lenguajes basados en ecuaciones y orientados a objetos. El paradigma del modelado orientado a objetos permite reducir drásticamente el tiempo dedicado al modelado de un sistema, gracias a características como modularidad, herencia y agregación.

Respecto a la arquitectura del simulador, cabe destacar tres líneas bien diferenciadas: la simulación, la comunicación entre simulaciones, y la interfaz de usuario del simulador. Respecto a la simulación, en primer lugar se desarrollaron una serie de librerías que contienen los elementos de proceso existentes en una fábrica [7]. Estos componentes abarcan desde intercambiadores de calor, depósitos, tuberías y válvulas, hasta equipos mucho más complejos y específicos como difusores, evaporadores, filtros o cristalizadores. Dichas librerías y la interfaz gráfica de EcosimPro permitieron, mediante la agregación de los componentes de las librerías de proceso, la creación de modelos mucho más complejos que representan fielmente el comportamiento de las distintas secciones en las que se divide el proceso. Se elaboraron un total de diez modelos de secciones o subsecciones diferentes. Estos modelos, además de simular el comportamiento del proceso en condiciones de operación normales, incluyen la posibilidad de provocar fallos en diversos equipos de la planta. Esto último resulta de gran relevancia ya que el objetivo inicial del simulador consiste en el entrenamiento de operarios de sala de control [8].

Debido al gran tamaño del modelo que se obtendría si se unieran los modelos de las secciones individuales en uno único, se hace imposible la ejecución del mismo en un único ordenador. Por ello, el simulador que nos ocupa se ejecuta de manera distribuida utilizando varios ordenadores para simular el comportamiento global de la planta, concretamente cinco.

Tanto para la comunicación de las simulaciones individuales, como para la comunicación entre las simulaciones y la interfaz de usuario, implementada usando un SCADA, se utilizó el estándar OPC [9]. Así, se crearon servidores OPC asociados a las simulaciones individuales, de modo que posteriormente se pudieran comunicar e intercambiar datos entre ellas. Para la creación de los distintos servidores OPC se desarrolló un software propio denominado CreaOPC, obteniéndose un total de diez servidores OPC a partir de los mencionados modelos de secciones completas y subsecciones.

Se desarrolló el software UneSim para intercambiar variables entre los servidores OPC cada intervalo de comunicación, y a su vez sincronizar la simulación

completa permitiendo que las diversas simulaciones avanzaran de forma coordinada en tiempo real o en proporción al mismo [12].

Finalmente, se desarrolló un completo SCADA, denominado EDUSCA [13], de modo que los usuarios pudieran manejar el simulador como si de una sala de control se tratase. Este SCADA es capaz de comunicarse vía OPC con las simulaciones de proceso. En la Figura 3 puede observarse un esquema conjunto del proceso de creación de un componente del simulador completo y de las comunicaciones asociadas.

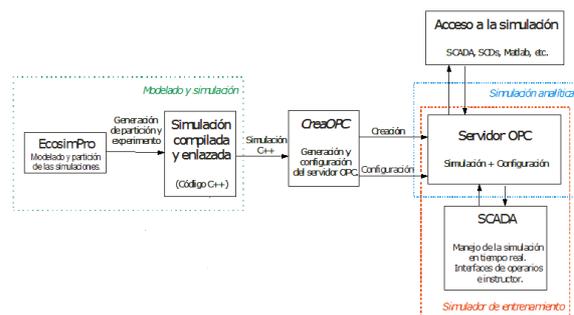


Figura 3: Diseño y comunicaciones del simulador

3 GESTOR DE DATOS

La empresa Osisoft[®] [11] comercializa un producto llamado PI System con capacidades para recoger, analizar, visualizar y compartir grandes cantidades de datos provenientes de múltiples fuentes con el objetivo de mejorar la inteligencia operacional de las empresas. Facilita la toma de decisiones en tiempo real en base a los datos actuales e históricos. Consta de una base de datos centralizada diseñada para almacenar millones de datos, tanto series de tiempo como datos basados en eventos. Dispone de herramientas que son capaces de analizar tanto la información en tiempo real como los datos pasados para descubrir información de interés sobre el funcionamiento de la planta. Es un producto utilizado por algunas de las empresas más importantes a nivel mundial, sobre todo del campo petroquímico, energético, etc.

El PI System consta de una serie de componentes que se comunican entre sí y facilitan la distribución de tareas y la flexibilidad y ampliación del sistema. Estos componentes y su interconexión se pueden ver en la Figura 4.

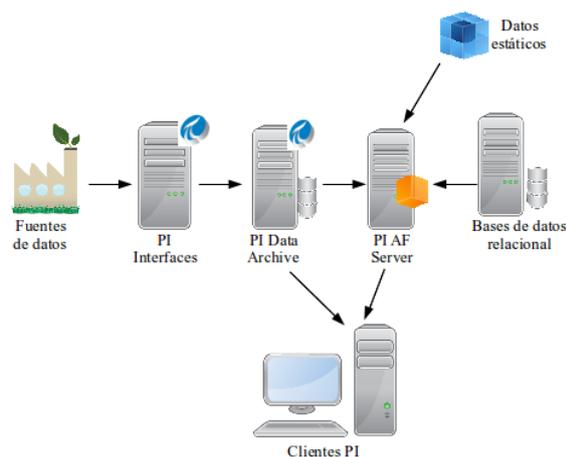


Figura 4: Componentes de un PI System

El PI System dispone de más de 400 interfaces para conectarse a fuentes de datos, siendo una de las más populares la interfaz de conexión a OPC DA [14], que será la que utilizemos en nuestro proyecto. Tal y como se ha comentado en la sección anterior, el simulador azucarero de planta completa está estructurado como un conjunto de servidores OPC, donde cada uno de ellos representa una parte de la factoría, y que son coordinados entre sí por un componente de nivel superior. Esto facilita que el PI System recoja las variables de interés del simulador vía OPC en tiempo real y las almacene internamente.

Una vez que los datos fluyen hacia el PI System, estos son almacenados en un servidor llamado Data Archive. Existe otro servidor llamado AF (Asset Framework) que estructura de forma conveniente tanto los datos dinámicos provenientes del Data Archive como datos estáticos y otras fuentes como tablas de bases de datos relacionales, ficheros de hojas de cálculo, etc.

Una de las ventajas del servidor AF es que, además de estructurar y fusionar la información de múltiples fuentes, es capaz de realizar análisis históricos sobre los datos, por ejemplo, tiempos de operación de unidades o equipos, disponibilidad de los mismos, rendimientos, análisis de calidad, etc. y ofrecer estos resultados como nuevos datos disponibles a los clientes. Además, incluye detección de eventos y notificaciones.

Finalmente, dentro de la estructura general, existirán diversos tipos de clientes que harán uso tanto de los datos en bruto, como los estructurados o los resultados de los análisis. Los más conocidos dentro del ecosistema de Osisoft serían ProcessBook y Coresight (ahora llamado Visio) que permiten construir interfaces gráficas de visualización, y DataLink para enlazar con MS Excel.

Pero si queremos realizar cálculos avanzados sobre los datos, un complemento perfecto sería usar la versatilidad y potencia algorítmica de las diversas librerías construidas sobre Matlab [6]. Las posibilidades de comunicación entre ambos sistemas son variadas [10], cada una con sus ventajas y sus inconvenientes; nosotros hemos optado en principio por usar la interfaz PI Web API que ofrece el PI System, por su carácter estándar y abierto (funciona en todos los sistemas operativos, se comunica vía HTTP y se basa en el formato JSON [1]). De esta forma, una visión simplificada de la comunicación entre los diversos elementos la podemos ver en la Figura 5. Aunque en nuestro caso planteemos Matlab como medio de desarrollo de algoritmos, es posible utilizar otros entornos o lenguajes de programación de propósito general.

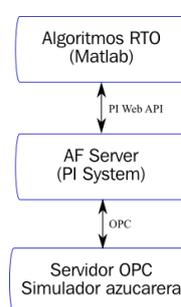


Figura 5: Esquema de comunicación

4 DESARROLLO ACTUAL

Tal y como se ha comentado en la sección 1, el simulador azucarero de planta completa ya fue desarrollado en trabajos anteriores en el entorno EcosimPro[®] [5] y desplegado como una simulación distribuida encapsulada en varios servidores OPC, cada uno de ellos correspondiente a una sección de la factoría y coordinados entre sí por un supervisor de nivel superior.

Si subimos de nivel, según la Figura 5, el siguiente paso sería llevar los datos del simulador al PI System. Para ello, fue necesario realizar los siguientes pasos:

1. Configurar los servidores OPC correspondientes al simulador para su correcta conexión remota por parte del PI System. Esto involucra configurar adecuadamente los parámetros de seguridad DCOM de los servidores.
2. Configurar una nueva interfaz PI para OPC desde la herramienta Interface Configuration Utility del PI System.
3. Crear los puntos PI en el servidor del PI System. Dado que se trataba de miles de variables, se realizó de forma semi-

automática a través de una combinación de un script en Matlab y el PI DataLink en Excel.

4. Crear la estructura de elementos en el servidor AF, con ayuda de plantillas en aquellos casos donde aparecen elementos del mismo tipo (controladores PID, evaporadores, turbinas, depósitos, etc.).

Actualmente, se ha completado en el servidor AF la configuración de la sección de evaporación, calderas y turbinas, y Tacha I del cuarto de azúcar (Figura 6).

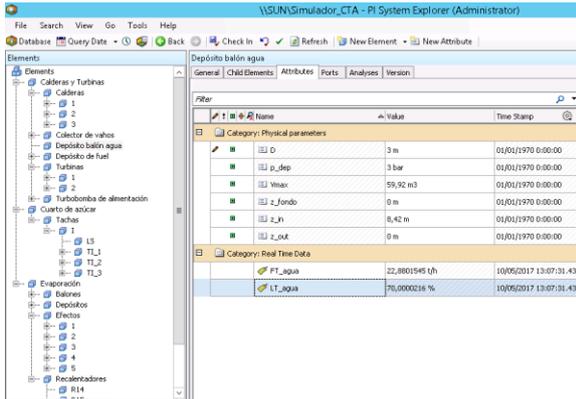


Figura 6: Estructura en el servidor AF

Como se puede ver en dicha figura, la estructura de elementos en forma de árbol permite acceder fácilmente a cada uno de ellos para ver sus atributos, tanto estáticos (por ejemplo, parámetros de construcción) como dinámicos (variables provenientes de los transmisores disponibles en planta).

Una vez que los datos están disponibles en el servidor AF, y siguiendo con el esquema de la Figura 5, nos quedaría establecer la comunicación con el entorno donde estén implementados los algoritmos RTO. Como se comentó en la sección anterior, uno de los métodos más versátiles para ello es el uso de la PI Web API. Para mostrar su facilidad de uso, se muestra en la Figura 7 el esquema básico con la información de entrada requerida por la función webread de Matlab y el resultado como estructura JSON.

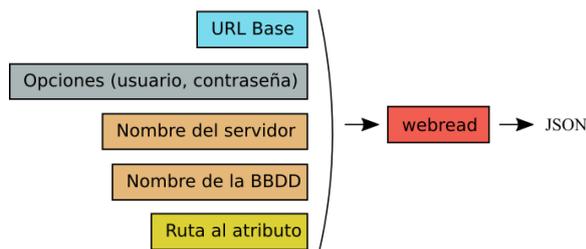


Figura 7: Uso de la función webread de Matlab

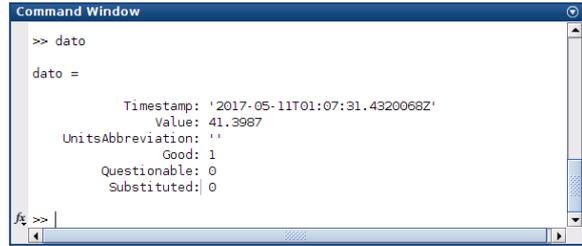


Figura 8: Obtención del dato actual en el PI System desde Matlab

5 PLANTEAMIENTO DE LOS ALGORITMOS RTO

Además de completar la configuración del servidor AF añadiendo el resto de secciones del simulador azucarero: Difusión y Secadero, Depuración, Tachas II, Tachas Tercera, Tacha Continua, Tacha Magma, Centrifugas y Refundidora, se deben desarrollar e implementar diversos algoritmos RTO que permitan mejorar la eficiencia energética de la factoría azucarera.

Se pretende así realizar una herramienta de optimización de la producción de una planta azucarera, que cuenta con un sistema de cogeneración asociado para autoabastecerse energéticamente y con la posibilidad de generar energía eléctrica para el exterior. La planificación de la producción deberá tener en cuenta los costes de la energía, de forma que una función de beneficio económico, sujeta a unas restricciones dinámicas, tenga el mayor valor posible. En la Figura 9 puede observarse un esquema básico del sistema asociado al problema de optimización/planificación.

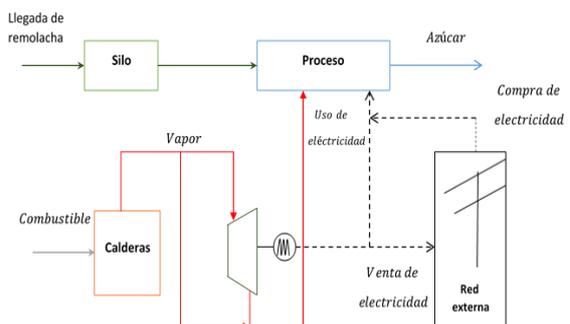


Figura 9: Esquema del proceso

La optimización además deberá cumplir diversas restricciones relacionadas con el proceso y su viabilidad, y otras aplicadas desde la UE a este tipo de procesos, que exigen altos índices de eficiencia energética a la hora de producir energía eléctrica.

Para poder llevar a cabo la optimización en tiempo real teniendo en cuenta la dinámica del proceso, se

necesitarán modelos dinámicos reducidos que relacionen la cantidad de remolacha a tratar en la fábrica con el consumo energético de la misma. Una vez obtenidos los modelos reducidos y el RTO en su conjunto, se procederá a probarlo en el simulador descrito en el apartado 2.

6 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha mostrado el esquema de una infraestructura para RTO donde se hace uso de un sistema de gestión de datos de ámbito industrial que amplía el abanico de posibilidades de cara a la explotación y análisis de dichos datos. Debido a su carácter abierto, los algoritmos RTO a desarrollar en entornos de programación más potentes, como por ejemplo Matlab, pueden acceder a dicha información de forma eficiente. Aquí estaríamos hablando no solamente de datos en tiempo real, sino también de los datos de análisis de interés generados por el propio sistema gestor de datos.

Aún queda lo más interesante: probar la efectividad de diversos algoritmos RTO con los que conseguir una gestión energética más eficiente en la factoría azucarera. Pero, por el momento, la infraestructura que haga posible estas pruebas está ya preparada.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Ministerio de Economía y Competitividad y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del proyecto DPI2015-70975-P.

Referencias

- [1] Colaboradores de Wikipedia, "JSON," Wikipedia, La enciclopedia libre, <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=JSON&oldid=98972971> (acceso 11 de mayo de 2017).
- [2] de Prada, C., (2015) "Overview: Control hierarchy of large processing plants.", *Encyclopedia of Systems and Control* · Article ID: 366985 · Chapter ID: 241 Springer Verlag London, Edt. J. Baillieul, T. Samad, 10.1007/978-1-4471-5058-9_241.
- [3] de Prada, C., Gutierrez, G., (2012) "Present and future trends in process control", *Ingeniería Química, edición especialACHEMA*, ISSN: 0210-2064, nº 505, año XLIV, pp.38-42.
- [4] de Prada, C., Mazaeda, R., Acebes F., Rueda, A., Merino, A., (2012) "Sugar factory simulator for operators training", 7th Symposium on Advances in Control Education ACE2006, IFAC.
- [5] Empresarios Agrupados, EcosimPro, <http://www.ecosimpro.com> (acceso 12 de mayo de 2017).
- [6] Mathworks, Matlab, <http://es.mathworks.com> (acceso 12 de mayo de 2017).
- [7] Merino, A., Acebes, L.F., Mazaeda, R., de Prada, C., (2009) "Modelado y Simulación del Proceso de Producción del Azúcar", *RIAI*, vol. 6, nº 3, pp. 21-31.
- [8] Merino, A., Mazaeda, R., Alves, R., Rueda, A., Acebes, L.F., de Prada, C., (2006) "Sugar factory simulator for operators training", *Advances in Control Education*, pp. 259-264.
- [9] OPC Foundation, Home Page, <http://www.opcfoundation.org/> (acceso 17 de mayo de 2017).
- [10] Osisoft, LLC, (2014) "White Paper - Using PI Data with MATLAB", <https://pisquare.osisoft.com/docs/DOC-1305> (acceso 11 de mayo de 2017).
- [11] Osisoft, PI System, <http://www.osisoft.com> (acceso 12 de mayo de 2017).
- [12] Santos, R.A., Normey-Rico, J.E., Gómez, A.M., Arconada, L.F.A., Moraga, C. de P., (2008) "Distributed continuous process simulation: An industrial case study", *Computers & Chemical Engineering*, 32, pp. 1195–1205. doi:10.1016/j.compchemeng.2007.04.022.
- [13] Santos, R.A., Normey-Rico, J.E., Gómez, A.M., de Prada Moraga, C. (2006), "EDUSCA (EDUCATIONAL SCADA): FEATURES AND APPLICATIONS", *IFAC Proceedings Volumes*, 39, pp 614–619. doi:10.3182/20060621-3-ES-2905.00105.
- [14] Zamarreño, J.M., (2010) "Acceso a datos mediante OPC", Editorial Andavira SL, Santiago de Compostela.