

# 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

---

|   |     |
|---|-----|
| <b>Ingeniería de Control</b>  |     |
| <hr/>   |     |
| TÚNEL DE AGUA PARA PRUEBAS Y CARACTERIZACIÓN DE DISEÑOS<br>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<br>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<br>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 fotobiorreactor raceway .....  | 77  |
| <i>Ángeles Hoyo Sánchez, Jose Luis Guzman, Jose Carlos Moreno and Manuel Berenguel</i>  |     |
| Revisión sistemática de la literatura en ingeniería de sistemas. Caso práctico: técnicas de estimación distribuida de sistemas ciberfísicos .....                                     | 84  |
| <i>Carmelina Ierardi, Luis Orihuela Espina, Isabel Jurado Flores, Álvaro Rodríguez Del Nozal and Alejandro Tapia Córdoba</i>  |     |
| Desarrollo de un Controlador Predictivo para Autómatas programables basado en la normativa IEC 61131-3 .....  | 92  |
| <i>Pablo Krupa, Daniel Limon and Teodoro Alamo</i>  |     |
| Diseño de un emulador de aerogenerador de velocidad variable DFIG y control de pitch ...  | 100 |
| <i>Manuel Lara Ortiz, Juan Garrido Jurado and Francisco Vázquez Serrano</i>   |     |

|  |     |
|--|-----|
| Observación de la fracción de agua líquida en pilas de combustible tipo PEM de cátodo abierto.....                     | 108 |
| <i>Julio Luna and Ramon Costa-Castelló</i>   |     |
| Control Predictivo Basado en Datos.....  | 115 |
| <i>José María Manzano, Daniel Limón, Teodoro Álamo and Jan Peter Calliess</i>  |     |
| Control MPC basado en un modelo LTV para seguimiento de trayectoria con estabilidad garantizada.....                   | 122 |
| <i>Sara Mata, Asier Zubizarreta, Ione Nieva, Itziar Cabanes and Charles Pinto</i>                                      |     |
| Implementación y evaluación de controladores basados en eventos en la norma IEC-61499.                                 | 130 |
| <i>Oscar Miguel-Escrig, Julio-Ariel Romero-Pérez and Esteban Querol-Dolz</i>   |     |
| AUTOMATIZACIÓN Y MONITORIZACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE ENSAYO DE MOTORES.....   | 138 |
| <i>Alfonso Poncela Méndez, Miguel Ochoa Vega, Eduardo J. Moya de La Torre and F. Javier García Ruíz</i>                |     |
| OPTIMIZACIÓN Y CONTROL EN CASCADA DE TEMPERATURA DE RECINTO MEDIANTE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....                    | 146 |
| <i>David Rodríguez, José Enrique Alonso Alfaya, Guillermo Bejarano Pellicer and Manuel G. Ortega</i>                   |     |
| Diseño LQ e implementación distribuida para la estimación de estado.....   | 154 |
| <i>Álvaro Rodríguez Del Nozal, Luis Orihuela, Pablo Millán Gata, Carmelina Ierardi and Alejandro Tapia Córdoba</i>     |     |
| Estimación de fugas en un sistema industrial real mediante modelado por señales aditivas.                              | 160 |
| <i>Ester Sales-Setién, Ignacio Peñarrocha and David Tena</i>   |     |
| Advanced control based on MPC ideas for offshore hydrogen production.....  | 167 |
| <i>Alvaro Serna, Fernando Tadeo and Julio. E Normey-Rico</i>   |     |
| Transfer function parameters estimation by symmetric send-on-delta sampling.....                                       | 174 |
| <i>José Sánchez, María Guinaldo, Sebastián Dormido and Antonio Visioli</i>   |     |
| An Estimation Approach for Process Control based on Asymmetric Oscillations.....                                       | 181 |
| <i>José Sánchez, María Guinaldo Losada, Sebastian Dormido, José Luis Fernández Marrón and Antonio Visioli</i>          |     |
| Robust PI controller for disturbance attenuation and its application for voltage regulation in islanded microgrid..... | 189 |
| <i>Ramon Vilanova, Carles Pedret and Orlando Arrieta</i>   |     |
| Infraestructura para explotación de datos de un simulador azucarero.....   | 197 |
| <i>Jesús M. Zamarreño, Cristian Pablos, Alejandro Merino, L. Felipe Acebes and De Prada César</i>                      |     |
| <hr/>  |     |
| <b>Automar</b>   |     |
| <hr/>  |     |
| INFRAESTRUCTURA PARA ESTUDIAR ADAPTABILIDAD Y TRANSPARENCIA EN EL CENTRO DE CONTROL VERSÁTIL.....                      | 203 |
| <i>Juan Antonio Bonache Seco, José Antonio Lopez Orozco, Eva Besada Portas and Jesús Manuel de La Cruz</i>             |     |
| ARQUITECTURA DE CONTROL HÍBRIDA PARA LA NAVEGACIÓN DE VEHÍCULOS SUBMARINOS NO TRIPULADOS.....                          | 211 |
| <i>Francisco J. Lastra, Jesús A. Trujillo, Francisco J. Velasco and Elías Revestido</i>                                |     |

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

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

|  |     |
|--|-----|
| ANÁLISIS FORMAL DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS NO LINEALES<br>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>                          |      |



Un claro ejemplo de esto son los modernos sistemas de gestión de ciclo de vida del producto (PLM). La figura 1 muestra un ejemplo de como las T-3D permiten diseñar procesos de fabricación robotizados, programando y verificando las programación de forma off-line.

Además, y atendiendo ahora a la formación universitaria, la utilización de plataformas PLM presenta, entre otras muchas, la ventaja de que, además de poder ser utilizadas para diseñar experiencias prácticas formativas vinculadas con los contenidos propios de las asignaturas de automática, en especial de aquellas relacionadas con los sistemas ciberfísicos, al utilizarlas se está formando al alumno en la utilización de un entorno colaborativo cada vez más empleado en ingeniería y que es pieza clave en lo que se denomina como Industria del Futuro (IoF) o Industria 4.0 (I4.0).

Siguiendo esta idea, este trabajo presenta dos casos de estudio en los que se muestra cómo las T-3D y las TT-ISA pueden ser utilizadas conjuntamente para proporcionar una mejor experiencia del aprendizaje de la Automática a los estudiantes, potenciando sus competencias digitales en las T-3D (entorno CAD / CAM / CAE / PLM), trabajo colaborativo e ingeniería concurrente, así como en las tecnologías y competencias relacionadas IoF/I4.0 [13] y, de esta forma, aumentando su perspectiva de empleabilidad e impulsando el interés futuro de los estudiantes sobre estos estudios.

## 1.1 INDUSTRIA DEL FUTURO

La IoF/I4.0 busca generar un modelo de fabricación con gran capacidad de adaptación y flexibilidad, con alta eficiencia, orientada al cliente y todo esto sin perder de vista la mejora en la ergonomía en los puestos de trabajo, la seguridad de las personas, el medio ambiente, etc.

Se puede decir que la IoF/I4.0 está basada en seis pilares básicos. Automatizada: Búsqueda de la mayor automatización posible en base a PLCs, Robot Industriales de diversos tipos y configuraciones que incorporan sensores que permiten interactuar de forma más inteligente con el entorno y con las diversas máquinas herramienta con las que trabajan de forma coordinada durante el proceso de fabricación. Flexible: Los sistemas de producción son capaces de adaptarse a nuevos productos, cantidades y plazos (JIT: Just-in-Time) según necesidades del cliente. Inteligente: Dotación de cierto nivel de inteligencia artificial en los diferentes recursos de fabricación (máquinas-herramienta, útiles, robots, elementos logísticos, etc.) de forma que sean capaces de tomar determinadas decisiones en función de las

condiciones cambiantes del entorno. Sostenible: Minimización de la contaminación, ahorro de energía y materiales. Conectada: Tanto los recursos como las personas están conectadas con los centros de producción, diseño y gestión, independientemente de la distancia a la que se encuentren. Colaborativa: Por un lado, utilización de plataformas colaborativas por parte de las personas para potenciar a colaboración al máximo nivel y entre todos los agentes involucrados en el ciclo de vida del producto y, por otro lado, espacios de colaboración entre personas y máquinas para el desarrollo de tareas conjuntas, manteniendo total seguridad para las personas, bienes y equipos.

La implantación de la IoF/I4.0 establece la posibilidad de utilización combinada de un conjunto de tecnologías que podemos englobar en las siguientes grandes áreas. Por un lado están las vinculadas con las tecnologías de la información y comunicación (TICs), tales como, Internet de las Cosas (IoT), Computación en la Nube (cloud Computing), BigData, Data-Mining, etc. Por otro lado, y con carácter disruptivo, están las TT-ISA, tales como la robótica industrial, robótica colaborativa, los sistemas de control avanzado, los útiles y utillajes inteligentes, la automatización completa (Full-Automation), los sistemas ciberfísicos, la mecatrónica, la inteligencia artificial y las técnicas de control inteligente, los sensores inteligentes, la puesta en marcha virtual (virtual commissioning), modelado y simulación de sistemas, la visión por computador, la incorporación de hardware en el lazo de control virtual (hardware in the loop), etc. Finalmente, y cara a la transformación digital de la empresa, las T-3D tienen enorme importancia, tanto durante todo el ciclo de vida de los nuevos productos de alto valor añadido e innovadores, como en el diseño del proceso de fabricación, máxime cuando en la actualidad para un mismo producto deben coordinarse y colaborar de forma conjunta y concurrente numerosas áreas de conocimiento de ingeniería, suministradores de componentes, equipos, materiales, maquinaria, utillajes, etc. Es obligado señalar en este punto que además de las tecnologías señaladas existen otras muy importantes (informática, nuevos materiales, nuevas fuentes de energía, química, etc.).

## 1.2 TECNOLOGÍAS-3D

Una parte importante de IoF/I4.0 recae sobre las T-3D, esto es las tecnologías que se ocupan de la ingeniería virtual, es decir, de la tecnología que utiliza computadores para la simulación física y geométrica de sistemas reales. Ver Figura 1. Hoy en día, estas T-3D son esenciales para el diseño de ingeniería, desarrollo de procesos y fabricación y algunos de sus componentes son los siguientes.

El software de diseño asistido por ordenador (CAD) surgió a principios de 1980 y permitió al diseñador crear modelos geométricos tridimensionales muy realistas de productos. Este software permite también asignar propiedades específicas, tales como el tipo de materiales, a las partes tridimensionales y, por lo tanto, establecer sus propiedades físicas. Estas propiedades físicas son utilizadas posteriormente por otras herramientas 3D en el proceso de simulación dinámica.

La Ingeniería Asistida por Ordenador (CAE) y la Fabricación Asistida por Ordenador (CAM) también forman parte de las T-3D. Aparecieron en la misma década, sin embargo, intentaron simular el comportamiento físico del producto y no sólo las características geométricas.

Por otra parte, es importante destacar que el trabajo colaborativo en diferentes campos de la ingeniería es esencial para el desarrollo de nuevos productos competitivos y de valor agregado. De hecho, hoy en día los equipos multidisciplinarios deben trabajar juntos para diseñar y crear nuevos productos y usualmente utilizan el software de ingeniería asistida por computadora (CAE) como una herramienta para lograr sus metas en el diseño. El software CAE es un elemento clave de diseño porque permite a los ingenieros simular y probar diseños en diferentes campos (mecánicos, termodinámicos, dinámica de fluidos, diseños eléctricos y electrónicos, sistemas de control, etc.). En los últimos 20 años las empresas que desarrollan el software CAE no consideraron la interacción entre los diferentes campos de ingeniería en sus productos. Esto significa que los ingenieros que trabajan en diferentes campos, pero quizás en el mismo producto, tuvieron problemas para interactuar entre ellos. Sin embargo, esta cuestión ha cambiado sustancialmente en la última década y las nuevas herramientas CAD están diseñadas para mejorar la interacción entre todos los miembros involucrados en el proceso de diseño y fabricación.

La gestión de datos de producto (PDM) surgió como la necesidad de proporcionar un acceso fácil y seguro a los datos creados durante el desarrollo del producto. El software de PDM utiliza bases de datos como repositorio para diferentes tipos de documentos que tienen como objetivo organizar, mantener y generar información disponible para todos los actores del diseño [4]. PDM se centró en el dominio de ingeniería, pero fracasó en otras actividades relacionadas con negocios tales como marketing, ventas, etc.

Los sistemas PLM (Product Lifecycle Management) surgieron a principios de los años 2000 y se propusieron como una herramienta para intercambiar información y trabajar juntos en el ciclo de vida

completo del producto [1] [25]. Los objetivos del PLM tratan de cubrir todas las etapas del desarrollo del producto integrando los procesos y las personas que participan en el proyecto [22]. Por lo tanto, el enfoque PLM intenta integrar todas las herramientas de software involucradas en el desarrollo del producto durante el ciclo de vida del producto. Toma en cuenta también la necesidad de una colaboración multidisciplinaria, independientemente de la ubicación geográfica de las empresas y partes interesadas que participan en los proyectos [26] [27]. De hecho, la evaluación del producto o procesos a desarrollar requiere que los datos sean accesibles a cualquier persona en la cadena de valor, desde las etapas iniciales del diseño hasta el producto final o su retirada del mercado. Este procedimiento de ingeniería colaborativa permite a los ingenieros llevar a cabo tareas de superposición en paralelo, haciendo posible reducir el tiempo y el coste asociados a los diseños y mejorar la calidad de los productos [25]. Con el fin de abordar esta cuestión PLM permite la gestión de la innovación colaborativa y es una herramienta crucial para el desarrollo de productos competitivos en la industria moderna [24]. PLM también incorpora ingeniería virtual, pero va más allá del mero aspecto de ingeniería del desarrollo de productos. PLM trata de gestionar toda la información del producto en todas las etapas del ciclo de vida [6] [11]. Las principales ventajas que ofrece este enfoque son que ayuda a ofrecer productos y procesos más innovadores en un tiempo más corto. Esto significa que acorta el tiempo al mercado, que es un tema muy importante en un mundo global y competitivo. Además, establece una relación más amplia y colaborativa con todos los elementos de la cadena de valor, como clientes, proveedores y socios comerciales [12].

### 1.3 INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA

La ingeniería de sistemas [9] [15] [20] es una metodología interdisciplinaria que permite la realización de sistemas complejos. Se centra en definir las necesidades del cliente y la funcionalidad requerida a principios del ciclo de desarrollo, documentando los requisitos y procediendo con el proceso de síntesis del diseño. Continúa con la validación del sistema considerando la declaración completa del problema que abarca las operaciones, el rendimiento, la prueba, la fabricación, el costo y la programación, la capacitación y el soporte y la eliminación. Integra todas las disciplinas y especialmente grupos en el esfuerzo de equipo formando un proceso de desarrollo estructurado que procede desde el concepto hasta la producción y operación. Además, la ingeniería de sistemas considera las necesidades empresariales y técnicas de los clientes con el objetivo de proporcionar un

producto de calidad que satisfaga las necesidades del usuario.

Por otro lado, la disciplina de control automático tiene como objetivo facilitar y mejorar el desarrollo de diferentes actividades a las personas, colaborando con ellas o reemplazándolas en la toma de decisiones y la implementación. De manera formal el control automático es la disciplina que intenta reemplazar al operador humano en sus tareas físicas o mentales por artificios artificiales.

Este trabajo se presentan dos sencillos casos de estudio, vinculados al control automático de sistemas dinámicos, y se implementa en una plataforma colaborativa PLM de tipo industrial (Dassault Systemes 3D-Experience®).

#### **1.4 ENTORNO DE APRENDIZAJE COLABORATIVO E INNOVACION EN LA ENSEÑANZA MEDIANTE T-3D**

En el enfoque de aprendizaje tradicional la información es transmitida oralmente, con el apoyo de libros de texto específicos y el instructor es la principal fuente de conocimiento. Esta metodología de aprendizaje podría considerarse obsoleta porque la mayor parte de la información es, hoy en día, accesible para los estudiantes a través de internet y porque se demuestra que ha reducido el impacto en el aprendizaje efectivo [28]. Por estas razones es necesario cambiar las metodologías de aprendizaje, de forma que se enseñe a los alumnos a buscar, tratar y utilizar adecuadamente la información en ingeniería. En este escenario, el papel de los estudiantes no debe seguir siendo pasivo y tienen que tomar parte activa en el proceso de aprendizaje.

Un papel activo ofrece varias ventajas [21]. Por ejemplo, los estudiantes reconocen variaciones de conceptos previos cuando el contexto cambia, tienen que tomar decisiones basadas en conocimientos previos para resolver problemas de ingeniería afectados por incertidumbres, descubren nuevos canales tecnológicos para obtener información, desarrollan creatividad y capacidad de innovación, etc.

Entonces, es esencial utilizar una metodología de aprendizaje colaborativo para fomentar un papel activo de los estudiantes. Los enfoques de Aprendizaje Activo (AL) y Aprendizaje Basado en Proyectos (PBL) han sido establecidos como herramientas importantes para promover compromisos activos de los estudiantes y los instructores en el proceso de aprendizaje [2] [7] [8] [10]. Además, las herramientas colaborativas basadas en web han surgido como un mecanismo adecuado para hacer efectivo el trabajo de aprendizaje,

aumentando la colaboración entre estudiantes, instructores e incluso asociados externos [3].

Por lo tanto, para aplicar una metodología colaborativa es conveniente utilizar una plataforma educativa colaborativa. De esta manera es posible facilitar la comunicación entre estudiantes e instructores. Sin embargo, podría ser mucho más interesante usar una plataforma colaborativa PLM industrial para esta interacción. De hecho, las plataformas PLM están diseñadas para obtener y compartir el conocimiento completo sobre la evolución del diseño de ingeniería y el producto final. En otras palabras, utilizando plataformas educativas colaborativas, los estudiantes tienen acceso a la documentación del curso y pueden generar una cartera con las actividades desarrolladas durante el semestre. Los instructores tienen acceso a los resultados del trabajo de los estudiantes, siguiendo sus actividades, les hacen sugerencias y evalúan su trabajo. Sin embargo, las plataformas educativas sólo muestran el resultado del trabajo de los estudiantes, pero no el rendimiento y cómo se ha realizado este trabajo. Esto se debe a que no hay aplicaciones de ingeniería incorporadas en la estructura de la plataforma. Por lo tanto, CAD/CAE/CAM son herramientas externas que deben ser utilizadas por los estudiantes, pero su uso está fuera de control para los instructores. Por esta razón, los instructores necesitan información adicional para evaluar completamente el trabajo de los estudiantes [16], mientras que toda esta información ya está incluida en el PLM.

Así, cabe considerar a las nuevas plataformas PLM industriales como plataformas educativas colaborativas virtuales donde los estudiantes pueden aprender, compartir, e intercambiar toda la información sobre sus diseños (por ejemplo, pruebas, modelos, resultados, etc.) en las diferentes disciplinas de ingeniería. Bajo este escenario, las facultades de ingeniería tienen que cambiar su forma de trabajar con los estudiantes e introducir actividades de enseñanza colaborativa utilizando plataformas del tipo PLM. Esto significa que las disciplinas de ingeniería de enseñanza no pueden ser consideradas más aisladas y la interacción debe incluirse en los grados de ingeniería. Este hecho permite el uso de plataformas PLM colaborativas y fomenta la interacción entre los estudiantes que trabajan en diferentes disciplinas.

## **2 CASOS DE ESTUDIO**

Los dos casos de estudio presentados a continuación han sido diseñados para exponer las posibilidades de aplicación de las T-3D en el desarrollo de sistemas de control básico para sistemas ciberfísicos (CPS).

En ambos casos se ha utilizado parte de la metodología V-cycle [9] [15] [20] [5], basada en las siguientes etapas: Establecimiento de requisitos esenciales para el cliente y para el funcionamiento del sistema. Definición funcional: Definición de la funcionalidad del sistema, es decir, lo que el sistema debe hacer antes de definir cómo hacerlo. Definición de la arquitectura lógica: Define la solución lógica para la definición funcional del sistema, es decir, define cómo realizar las funciones necesarias utilizando partes, interfaces, señales, equipos, algoritmos, etc. Diseño Físico: Es el mecanismo o la solución física para el sistema ciberfísico. Integración: Integró los comportamientos lógicos en real o digital. Verificación: Comprobación de las especificaciones de funcionamiento

En estos ejemplos, la plataforma PLM colaborativa industrial (Dassault Systèmes 3DEXperience®) [5] se utiliza para compartir toda la información y todas las etapas de diseño entre estudiantes e instructores. Esta plataforma incluye varios mecanismos para facilitar la comunicación entre estudiantes e instructores (aplicaciones de mensajería instantánea, lectores de páginas web, noticias, wikis, preguntas, cuadros de mando, etc.) como 3DSwYm®, las clásicas herramientas CAD/CAM/CAE para diseño de piezas, montaje, elaboración, diseño de mecanismos, simulación FEM, mecanizado, etc., así como herramientas para el diseño funcional y lógico, modelado de comportamiento dinámico, programación de robots, simulación de robots, etc.

## 2.1 SISTEMA BÁSICO DE CONTROL

Tal y como se puede ver en la figura 2, el primer caso de estudio es un sistema básico de control en el que se pretende realizar una sencilla regulación de la posición de un mecanismo muy simple. Este mecanismo presenta un único grado de libertad, correspondiente a una articulación de tipo rotacional, un accionamiento básico mediante un motor de corriente continua y un reductor acoplados al eje de la articulación, así como un sencillo sensor de posición que realimenta la posición angular del mecanismo.

Antes de comenzar con la realización del propio caso de estudio, el estudiante debe ser formado en el propio funcionamiento de una plataforma colaborativa tipo PLM. Para ello, debe conocer como es el acceso, cuales son los diferentes roles (por ejemplo, lector, contribuidor, autor, leader, propietario, administrador, etc.) y cuáles son los permisos a los que tiene acceso cada rol, los diferentes tipos de comunidades de colaboración y las herramientas básicas para la comunicación entre los miembros de la comunidad, los tipos de contenidos, etc. También es fundamental que

conozca la descripción conceptual de los que es el ciclo de vida de un producto y, en general, de todos los contenidos desarrollados dentro de la plataforma, y de los diferentes estados en los que puede estar un contenido (por ejemplo: privado, en desarrollo, congelado, disponible, obsoleto, etc.), así como el procedimiento para generar las diferentes versiones de cada producto. Con este conocimiento los alumnos acceden a la plataforma y, una vez asignadas las tareas a realizar por cada estudiante y establecidos los requisitos y la funcionalidad del sistema a desarrollar, ejecutan las diferentes aplicaciones necesarias. De esta forma, se trabajará en el diseño geométrico de los componentes, en la asignación de materiales a los mismos, en el posicionamiento geométrico de cada componente, en la incorporación de las articulaciones necesarias y la generación del mecanismo, la obtención de la cinemática y dinámica del conjunto mecánico, en el modelado dinámico y cinemático del sistema, incluyendo actuadores, reductores, sensores, etc., en el desarrollo del algoritmo de control dinámico y del control cinemático si se desea incorporar, etc., observado los resultados obtenidos y comparándolos con las especificaciones y requerimientos fijados inicialmente, etc. En la figura 2 se puede ver la estructura mecánica básica y la estructura lógica del sistema de control dinámico, así como un ejemplo de la simulación dinámica realizado en la plataforma colaborativa.

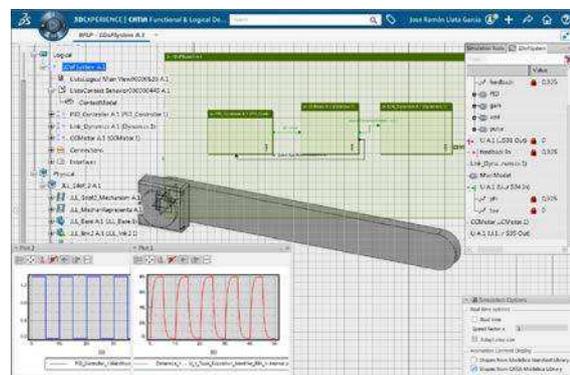


Figura 2: Ejemplo de utilización de T-3D en una aplicación básica de control de posición mediante la aplicación CATIA® Functional and Logical Design

## 2.2 DISEÑO BÁSICO DE ROBOT INDUSTRIAL

En este caso de estudio los estudiantes deber realizar el diseño básico de un robot industrial de seis grados de libertad en la plataforma PLM colaborativa industrial indicada previamente. Para ello, siguiendo la metodología del V-cycle, tomada del enfoque de ingeniería de sistemas, la etapa inicial es establecer el conjunto de requisitos para el sistema. En este caso, los requisitos están relacionados con la estructura

mecánica (grados de libertad, alcance, espacio de trabajo, arquitectura cinemática, etc.) y al comportamiento estático y dinámico (velocidades, aceleración, errores de posición en estado estacionario, etc.). Todos estos requisitos se incluyen en el sistema mediante el uso de la aplicación ENOVIA® Requirements [5], y se utilizarán durante los procesos de diseño y validación con el fin de comprobar la solución propuesta.



Figura 3: Diseño geométrico de los componentes mecánicos mediante CATIA® Part Design, y presentación en ENOVIA® system finder.

La segunda etapa es crear una descripción funcional del comportamiento deseado de todo el sistema. Esto se lleva a cabo con la aplicación CATIA® Functional and Logical Design [5]. En esta etapa se crean relaciones entre requerimientos y funciones. En la misma aplicación, se diseña una arquitectura lógica inicial para todos los sistemas.

La siguiente etapa es crear el sistema físico. En este caso, se han utilizado CATIA® Part Design para el diseño geométrico de los componentes mecánicos, CATIA® Assembly Design y CATIA® Mechanical Systems Design para el diseño del sistema físico mecánico [5]. Mediante el uso de estas aplicaciones es posible crear el modelo geométrico para todos los componentes y partes necesarios del sistema ciberfísico.

La figura 3 muestra la descripción geométrica de las piezas necesarias. Una vez que tengamos todas las piezas necesarias, es necesario ensamblar todos los componentes, incluyendo juntas, conexiones de ingeniería, señales de comando, materiales, etc. para obtener el mecanismo final. La figura 4 muestra el mecanismo final diseñado. Toda esta información física se utilizará en los siguientes pasos para obtener un modelo dinámico del mecanismo, no sin antes asignar las propiedades de los materiales en cada una de las piezas del sistema ciberfísico.

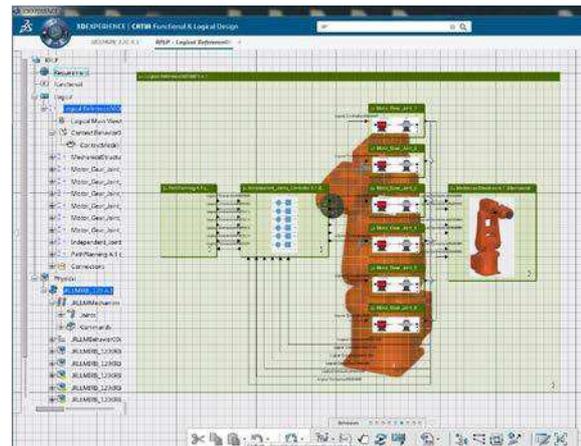


Figura 4: Diseño final del mecanismo y diseño lógico para el sistema de control, presentado en la aplicación CATIA® Functional and Logical Design.

En ese ejemplo no se ha incluido la descripción física de motores y reductores para simplificar la exposición.

Una vez que se ha diseñado una primera aproximación para el sistema físico, es posible profundizar en el diseño funcional y lógico. La figura 4 muestra el diseño lógico llevado a cabo para el robot industrial. En esta figura es posible observar la arquitectura de control diseñada con todas las conexiones lógicas, el bloque de control cinemático, el bloque de control dinámico, un bloque de actuador para cada junta y el bloque de mecanismo físico.

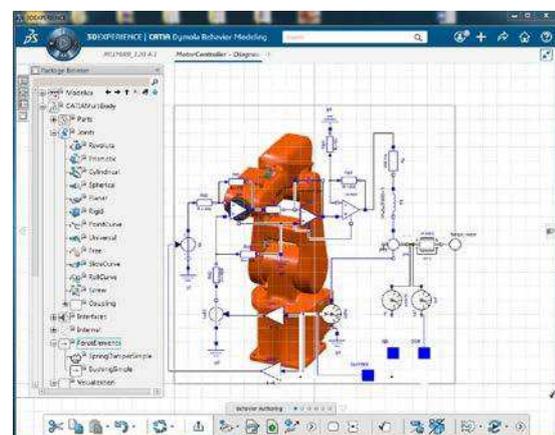


Figura 5: Modelización y diseño del sistema de control de una de las articulaciones, presentado en la aplicación CATIA® Behavior Modelling.

Una de las características más interesantes de la aplicación de T-3D a sistemas ciberfísicos es que a través de la definición geométrica tridimensional de los componentes mecánicos del sistema, de la asignación de material de cada componente, en base a la disposición geométrica establecida en el proceso de ensamblaje y en función de las conexiones de

ingeniería establecidas en las articulaciones, es posible obtener de forma automática las principales características de interés para la obtención del modelo dinámico, lo que facilita enormemente los procesos de ingeniería concurrente y de modificación de componentes. En la figura 5 es posible observar el diseño de un controlador electrónico interno para uno de los servomotores de corriente continua del robot.

Finalmente, cuando se ha diseñado todo el sistema, la etapa final de este ejemplo es simular el comportamiento dinámico y estático del robot para un conjunto de trayectorias deseadas y validar el rendimiento del equipo, de forma similar a como se puede ver en la figura 2, para el sistema de un único grado de libertad.

### 2.3 RESULTADOS

En los casos de estudio realizados y expuestos anteriormente, se muestra que es posible utilizar una plataforma PLM Industrial en lugar de una plataforma virtual colaborativa educativa para el diseño de sistemas ciberfísicos. También se ha observado que el estudiante es capaz de visualizar el proyecto de forma global, ya que puede observar los resultados obtenidos por las diferentes disciplinas de ingeniería utilizadas en el proceso de diseño (eléctricos, mecánicos, electrónicos, sistemas de control, etc.) aunque no pertenezcan a su especialidad. Por otro lado, los ejemplos muestran las ventajas de utilizar T-3D en aplicaciones de sistemas de control. Las T-3D expuestas aceleran el desarrollo y la comprensión de sistemas dinámicos complejos a través del modelado y la simulación. Proporcionan un entorno de grupo de trabajo integrado con representación digital compartida. También es posible llevar a cabo diseños de controladores dinámico basados en modelos. Es posible utilizar bibliotecas de dominio abierto para el modelado y la simulación rápidos para sistemas multi-físicos y de múltiples cuerpos. Permite desarrollar sistemas complejos que comprenden software de control integrado, mecánico, electrónico, hidráulico y neumático.

## 4 CONCLUSIONES

Hasta ahora, las T-3D y las TT-ISA pertenecían a entornos completamente diferentes y había dos comunidades académicas diferentes, con diferentes orígenes, trabajando casi separadamente una de la otra. Sin embargo, la IoF/I4.0 necesita profesionales que dominen las competencias de ambos entornos. Con este objetivo, el presente trabajo ha expuesto parte de las ventajas de utilizar la combinación de ambas tecnologías a la comunidad académica.

Así mismo, en este artículo se han explorado algunas de las posibilidades ofrecidas por las T-3D para resolver problemas relacionados la automática. Es importante resaltar que la aplicación combinada de T-3D y TT-ISA, no solo permiten dar al alumno de competencias para la industria moderna, sino que además abre grandes posibilidades desde el punto de vista formativo. Por ejemplo, para evaluar sobre modelos virtuales 3D diferentes estrategias de control para sistemas ciberfísicos, para la realización de laboratorios virtuales presenciales y/o remotos, para la obtención de gemelos virtuales de sistemas reales que pueden actuarse al tiempo, etc.

Por otro lado, este trabajo ha presentado algunas de las principales ventajas del uso de plataformas PLM industriales como plataformas colaborativas educacionales, observando que permite a los estudiantes observar y comprender todas las etapas de un proyecto industrial y colaborar en todas las disciplinas de ingeniería utilizadas en procesos de diseño (eléctrico, mecánico, electrónico, sistemas de control, etc.) y que, mediante el uso de plataformas PLM industriales, los estudiantes aprenden a utilizar las herramientas que necesitará en su vida profesional y, por lo tanto, están aumentando su perspectiva de empleabilidad.

Como conclusión final, cabe señalar el interés que puede tener para todos los grados relacionados con automática y con la ingeniería industrial, fomentar las actividades de innovación educativa centradas en la ingeniería de sistemas y las tecnologías digitales (en este documento sobre las Tecnologías-3D) con el fin de potenciar las competencias IoF/I4.0.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible con soporte económico de “La Fondation Dassault Systèmes”. Los autores agradecen a los miembros de 3DS Global Academy su inestimable apoyo.

### Referencias

- [1] Ameri, F.; Dutta, D. (2005). “Product lifecycle management: closing the knowledge loops,” *Computer Aided Design & Applications*, vol. 2, no. 5, pp. 577-590.
- [2] Chao, C.Y.; Chen, Y.T.; Chuang, K.Y. (2015). “Exploring students’ learning attitude and achievement in flipped learning supported computer aided design curriculum: A study in high school engineering education,” *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 23, no.4, pp. 514-526.
- [3] Cheng, X.; Li, Y.; Sun, J.; Huang, J. (2016). “Application of a novel collaboration engineering method for learning design: A case

- study,” *British Journal of Educational Technology*, vol. 47, no. 4, pp.803-818.
- [4] Cheung, W.M.; Branall, D.G.; Maropoulos, P.G.; Gao, J.X.; Aziz, H. (2006). “Organizational knowledge encapsulation and re-use in collaborative product development,” *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 29, no. 7, pp. 736-750.
- [5] Dassault Systemes Academy on-line courses and on-line learning materials.
- [6] Donati, T.; Bricogni, M.; Eynard, B. (2011). “PLM platform: integrated support of the enterprise digital chain for Collaborative Product Development,” 7th International Conference on Product Lifecycle Management, Bremen, Germany.
- [7] Esche, S.K. (2002). “Project-based learning (PBL) in a course on mechanism and machine dynamics,” *World Transactions on Engineering and Technology Education*, vol. 1, pp. 201-204.
- [8] Igartua, J.I.; Errasti, N. Ganzarain, J. (2014). “Assessing industry-based problem-based learning with engineering students: lessons learned,” 8th International Technology, education and Development Conference, pp. 6761-6771, Spain.
- [9] INCOSE Systems Engineering Handbook, (2006). “A guide for system life cycle processes and activities”, INCOESE-TP-2003-002-03.
- [10] Jaeger, A.; Mayrhofer, W.; Kuhlant, P.; Matyas, K.; Sihm, W. (2013). “Total immersion: hands and headson training in a learning factory for comprehensive industrial engineering education,” *International Journal of Engineering Education*, vol. 29, no. 1, pp. 23-32.
- [11] Le-Duigon, J.; Bernard, A.; Perry, N. (2011). “Framework for PLM integration in SME networks,” *Computer-Aided Design and Applications*, vol. 8, no. 4, pp. 531-544.
- [12] Maranzana, N. Segonds, F.; Lesage, F.; Nelson, J. (2012). “Collaborative design tools: A comparison between free software and PLM solutions in engineering education,” *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management*, vol. 388, pp. 547-558.
- [13] Ministerio de Industria, Energía y Turismo del Gobierno de España (2015). “La transformación Digital de la Industria Española”.
- [14] Mosterman, P.J.; Zander, J. (2016). “Industry 4.0 as a cyber-physical system study,” *Software and Systems Modeling*, vol. 15, no. 1, pp.17-29.
- [15] NASA. (2007). *Systems Engineering Handbook*, NASA/SP-2007-6105.
- [16] Nguyen, V.; Dang, H.H.; Do, N-K.; Tran, D-T. (2016). “Enhancing team collaboration through integrating social interactions in a web-based development environment,” *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 24, no. 4, pp. 529-545.
- [17] Oesterrich, T.D.; Teuteberg, F. (2016). “Understanding the implications of digitization and automation in the context of industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry,” *Computers in Industry*, vol. 83, pp. 121-139.
- [18] Prause, M.; Weigand, J. (2016). “Industry 4.0 and object-oriented development: Incremental and architectural change,” *Journal of Technology Management & Innovation*, vol. 11, no. 2, pp. 104-110.
- [19] Sackey, S.M.; Bester, A. (2016). “Industrial engineering curriculum in Industry 4.0 in a south African context” *South African Journal of Ind. Engineering*, vol. 27, no. 4, pp. 101-114.
- [20] Sage, A.P.; Rouse, W. B.; (1999). *Handbook of Systems Engineering and management*. Ed. John Wiley and Sons. ISBN 0-471-15405-9
- [21] Sancibrian, R.; Llata, J.R.; Sarabia, E.G.; Torre-Ferrero, C.; Blanco, J.M.; San-José, J.T. (2017). “Industry of the future: Implementation of collaborative CAE tools in industrial engineering degrees”, 11th International Technology, Education and Development Conference, Spain.
- [22] Schuh, G.; Rozenfeld, H.; Assmus, D.; Zancul, E. (2008). “Process oriented framework to support PLM next term implementation,” *Computer in Industry*, vol. 59, no.2, pp.210-218.
- [23] Shafiq, S.I.; Sanin, C.; Szczerbicki, E.; Toro, C. (2016). “Virtual engineering factory: Creating experience base for Industry 4.0,” *Cybernetic and Systems*, vol. 47, no. 1-2, pp. 32-47.
- [24] Stark, R.; Krause, F-L.; Kind, C.; Rothenburg, U.; Müller, P.; Hayka, H.; Stöckert, H. (2010). “Competing in engineering design. The role of virtual products creation,” *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 3, pp. 175-184.
- [25] Thimm, G.; Lee, S.G.; Ma, Y-S. (2006). “Towards unified modelling of product lifecycles,” *Computers in Industry*, vol. 57, pp. 331-341.
- [26] Wright, T.; Madey, G. (2009). “A survey of technologies for building collaborative virtual environments,” *International Journal of Virtual Reality*, vol. 8, pp. 53-66.
- [27] Yu, G.D.; Yang, Y.; Zhao, X.; Li, G. (2014). “Multi-objective rescheduling model for product collaborative design considering disturbance,” *International Journal of Simulation Modelling*, vol.13, no. 4, pp. 472-484.
- [28] Zellner, N.E.B.; McCavit, M. (2016). “Persistence of physics and engineering students via peer mentoring, active learning, and intentional advising,” *European Journal of Physics*, vol. 37, no. 6, pp. 1-9