# ACTAS

DE LAS

# XXXVIII Jornadas de Automática

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

CEA 50 ANIVERSARIO

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
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.

Gijn, 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 PolitÃcnica de Madrid |
| Emilio Jiménez | University of La Rioja |
| Jesus Lozano | Universidad de Extremadura |
| Jorge Luis Madrid | Centro de Automática y Robótica |
| Luis Magdalena | Universidad Politécnica 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 |
| MiguelÁngel 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
*Eduardo Alvarez, Manuel Rico-Secades, Antonio Javier Calleja Rodríguez, Joaquín Fernández Francos, Aitor Fernández Jiménez, Mario Alvarez Fernández and Samuel Camba Fernández*

Reduction of population variability in protein expression: A control engineering approach. 8
*Yadira Boada, Alejandro Vignoni and Jesús Picó*

CONTROL ROBUSTO DEL PH EN FOTOBIORREACTORES MEDIANTE RECHAZO ACTIVO DE PERTURBACIONES ..... 16
*José Carreño, Jose Luis Guzman, José Carlos Moreno and Rodolfo Villamizar*

Control reset para maniobra de cambio de carril y validación con CarSim ..... 23
*Miguel Cerdeira, Pablo Falcón, Antonio Barreiro, Emma Delgado and Miguel Díaz-Cacho*

Maniobra de aterrizaje autom atica de una Cessna 172P modelada en FlightGear y controlada desde un programa en C ..... 31
*Mario de La Rosa, Antonio Javier Gallego and Eduardo Fernández*

Alternativas para el control de la red eléctrica aislada en parques eólicos marinos ..... 38
*Carlos Díaz-Sanahuja, Ignacio Peñarrocha, Ricardo Vidal-Albalate and Ester Sales-Setién*

CONTROL PREDICTIVO DISTRIBUIDO UTILIZANDO MODELOS DIFUSOS PARA LA NEGOCIACIÓN ENTRE AGENTES ..... 46
*Lucía Fargallo, Silvana Roxani Revollar Chavez, Mario Francisco, Pastora Vega and Antonio Cembellín*

Control Predictivo en el espacio de estados de un captador solar tipo Fresnel ..... 54
*Antonio Javier Gallego, Mario de La Rosa and Eduardo Fernández*

Control predictivo para la operación eficiente de una planta formada por un sistema de desalación solar y un invernadero ..... 62
*Juan Diego Gil Vergel, Lidia Roca, Manuel Berenguel, Alba Ruiz Aguirre, Guillermo Zaragoza and Antonio Giménez*

Depuración de Aguas Residuales en la Industria 4.0 ..... 70
*Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel, Ana María Jiménez Arévalo, Laura Eiroa Mateo and Fco. Javier Fernández-De-Cañete-Rodríguez*

Control robusto con QFT del pH en un fotobioreactor raceway ..... 77
*Ángeles Hoyo Sánchez, Jose Luis Guzman, Jose Carlos Moreno and Manuel Berenguel*

Revisión sistemática de la literatura en ingeniería de sistemas. Caso práctico: técnicas de estimación distribuida de sistemas ciberfísicos ..... 84
*Carmelina Ierardi, Luis Orihuela Espina, Isabel Jurado Flores, Álvaro Rodriguéz Del Nozal and Alejandro Tapia Córdoba*

Desarrollo de un Controlador Predictivo para Autómatas programables basado en la normativa IEC 61131-3 ..... 92
*Pablo Krupa, Daniel Limon and Teodoro Alamo*

Diseño de un emulador de aerogenerador de velocidad variable DFIG y control de pitch ... 100
*Manuel Lara Ortiz, Juan Garrido Jurado and Francisco Vázquez Serrano*

Observación de la fracción de agua líquida en pilas de combustible tipo PEM de cátodo abierto . . . 108
*Julio Luna and Ramon Costa-Castelló*

Control Predictivo Basado en Datos . . . 115
*José María Manzano, Daniel Limón, Teodoro Álamo and Jan Peter Calliess*

Control MPC basado en un modelo LTV para seguimiento de trayectoria con estabilidad garantizada . . . 122
*Sara Mata, Asier Zubizarreta, Ione Nieva, Itziar Cabanes and Charles Pinto*

Implementación y evaluación de controladores basados en eventos en la norma IEC-61499 . 130
*Oscar Miguel-Escrig, Julio-Ariel Romero-Pérez and Esteban Querol-Dolz*

AUTOMATIZACIÓN Y MONITORIZACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE ENSAYO DE MOTORES . . . 138
*Alfonso Poncela Méndez, Miguel Ochoa Vega, Eduardo J. Moya de La Torre and F. Javier García Ruíz*

OPTIMIZACIÓN Y CONTROL EN CASCADA DE TEMPERATURA DE RECINTO MEDIANTE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN . . . 146
*David Rodríguez, José Enrique Alonso Alfaya, Guillermo Bejarano Pellicer and Manuel G. Ortega*

Diseño LQ e implementación distribuida para la estimación de estado . . . 154
*Álvaro Rodríguez Del Nozal, Luis Orihuela, Pablo Millán Gata, Carmelina Ierardi and Alejandro Tapia Córdoba*

Estimación de fugas en un sistema industrial real mediante modelado por señales aditivas . 160
*Ester Sales-Setién, Ignacio Peñarrocha and David Tena*

Advanced control based on MPC ideas for offshore hydrogen production . . . 167
*Alvaro Serna, Fernando Tadeo and Julio. E Normey-Rico*

Transfer function parameters estimation by symmetric send-on-delta sampling . . . 174
*José Sánchez, Maria Guinaldo, Sebastián Dormido and Antonio Visioli*

An Estimation Approach for Process Control based on Asymmetric Oscillations . . . 181
*José Sánchez, María Guinaldo Losada, Sebastian Dormido, José Luis Fernández Marrón and Antonio Visioli*

Robust PI controller for disturbance attenuation and its application for voltage regulation in islanded microgrid . . . 189
*Ramon Vilanova, Carles Pedret and Orlando Arrieta*

Infraestructura para explotación de datos de un simulador azucarero . . . 197
*Jesús M. Zamarreño, Cristian Pablos, Alejandro Merino, L. Felipe Acebes and De Prada César*

**Automar**

INFRAESTRUCTURA PARA ESTUDIAR ADAPTABILIDAD Y TRANSPARENCIA EN EL CENTRO DE CONTROL VERSÁTIL . . . 203
*Juan Antonio Bonache Seco, José Antonio Lopez Orozco, Eva Besada Portas and Jesús Manuel de La Cruz*

ARQUITECTURA DE CONTROL HÍBRIDA PARA LA NAVEGACI ÓN DE VEHÏCULOS SUBMARINOS NO TRIPULADOS . . . 211
*Francisco J. Lastra, Jesús A. Trujillo, Francisco J. Velasco and Elías Revestido*

Exploración y Reconstrucción 3D de Fondos Marinos Mediante AUVs y Sensores Acústicos ..... 218

*Oscar L. Manrique Garcia, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos*

AUTOMATIZACIÓN DE MANIOBRAS PARA UN TEC DE 2GdL ..... 226

*Marina Pérez de La Portilla, José Andrés Somolinos Sánchez, Amable López Piñeiro, Rafael Morales Herrera and Eva Segura*

MERBOTS PROJECT: OVERALL DESCRIPTION, MULTISENSORY AUTONOMOUS PERCEPTION AND GRASPING FOR UNDERWATER ROBOTICS INTERVENTIONS ..... 232

*Pedro J. Sanz, Raul Marin, Antonio Peñalver, David Fornas and Diego Centelles*

**Bioingeniería**

MARCADORES CUADRADOS Y DEFORMACIÓN DE OBJETOS EN NAVEGACIÓN QUIRÚRGICA CON REALIDAD AUMENTADA ..... 238

*Eliana Aguilar, Oscar Andres Vivas and Jose Maria Sabater-Navarro*

Entrenamiento robótico de la marcha en pacientes con Parálisis Cerebral: definición de objetivos, propuesta de tratamiento e implementación clínica preliminar ..... 244

*Cristina Bayón, Teresa Martín-Lorenzo, Beatriz Moral-Saiz, Óscar Ramírez, Álvaro Pérez-Somarriba, Sergio Lerma-Lara, Ignacio Martínez and Eduardo Rocon*

PREDICCIÓN DE ACTIVIDADES DE LA VIDA DIARIA EN ENTORNOS INTELIGENTES PARA PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA ..... 251

*Arturo Bertomeu-Motos, Santiago Ezquerro, Juan Antonio Barios, Luis Daniel Lledó, Francisco Javier Badesa and Nicolas Garcia-Aracil*

Sistema de Visión Estereoscópico para el guiado de un Robot Quirúrgico en Operaciones de Cirugía Laparoscópica HALS ..... 256

*Carlos Castedo Hernández, Rafael Estop Remacha, Eusebio de La Fuente López and Lidia Santos Del Blanco*

Head movement assessment of cerebral palsy users with severe motor disorders when they control a computer thought eye movements ..... 264

*Alejandro Clemotte, Miguel A. Velasco and Eduardo Rocon*

Diseño de un sensor óptico de fuerza para exoesqueletos de mano ..... 270

*Jorge Diez Pomares, Andrea Blanco Ivorra, José María Catalan Orts, Francisco Javier Badesa Clemente, José María Sabater and Nicolas Garcia Aracil*

POSIBILIDADES DEL USO DE TRAMAS ARTIFICIALES DE IMAGEN MOTORA PARA UN BCI BASADO EN EEG ..... 276

*Josep Dinarès-Ferran, Christoph Guger and Jordi Solé-Casals*

EFECTOS SOBRE LA ERD EN TAREAS DE CONTROL DE EXOESQUELETO DE MANO EMPLEANDO BCI ..... 282

*Santiago Ezquerro, Juan Antonio Barios, Arturo Bertomeu-Motos, Luisa Lorente, Nuria Requena, Irene Delegido, Francisco Javier Badesa and Nicolas Garcia-Aracil*

Formulación Topológica Adaptada para la Simulación y Control de Exoesqueletos Accionados con Transmisiones Harmonic Drive ..... 288

*Andres Hidalgo Romero and Eduardo Rocon*

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

*Mislav Jordanic, Mónica Rojas-Martínez, Joan Francesc Alonso, Carolina Migliorelli and Miguel Ángel Mañanas*

Diseño de una plataforma para analizar el efecto de la estimulación mecánica aferente en el temblor de pacientes con temblor esencial . . . . . 302

*Julio S. Lora, Roberto López, Jesús González de La Aleja and Eduardo Rocon*

DEFINICIÓN DE UN PROTOCOLO PARA LA MEDIDA PRECISA DEL RANGO CERVICAL EMPLEANDO TECNOLOGÍA INERCIAL . . . . . 308

*Álvaro Martín, Rafael Raya, Cristina Sánchez, Rodrigo Garcia-Carmona, Oscar Ramirez and Abraham Otero*

SISTEMA BRAIN-COMPUTER INTEFACE DE NAVEGACIÓN WEB ORIENTADO A PERSONAS CON GRAVE DISCAPACIDAD . . . . . 313

*Víctor Martínez-Cagigal, Javier Gómez-Pilar, Daniel Álvarez, Eduardo Santamaría-Vázquez and Roberto Hornero*

ESTRATEGIAS DE NEUROESTIMULACIÓN TRANSCRANEAL POR CORRIENTE DIRECTA PARA MEJORA COGNITIVA . . . . . 320

*Silvia Moreno Serrano, Mario Ortiz and José María Azorín Poveda*

COMPARATIVA DE ALGORITMOS PARA LA DETECCIÓN ONLINE DE IMAGINACIÓN MOTORA DE LA MARCHA BASADO EN SEÑALES DE EEG . . . . . 328

*Marisol Rodriguez-Ugarte, Irma Nayeli Angulo Sherman, Eduardo Iáñez and Jose M. Azorin*

DETECCIÓN, MEDIANTE UN GUANTE SENSORIZADO, DE MOVIMIENTOS SELECCIONADOS EN UN SISTEMA ROBOTIZADO COLABORATIVO PARA HALS 334

*Lidia Santos, José Luis González, Eusebio de La Fuente, Juan Carlos Fraile and Javier Pérez Turiel*

BIOSENSORES PARA CONTROL Y SEGUIMIENTO PATOLOGÍAS REUMATOIDES . . . . . 340

*Amparo Tirado, Raúl Marín, José V Martí, Miguel Belmonte and Pedro Sanz*

Assessment of tremor severity in patients with essential tremor using smartwatches . . . . . 347

*Miguel A. Velasco, Roberto López-Blanco, Juan P. Romero, M. Dolores Del Castillo, J. Ignacio Serrano, Julián Benito-León and Eduardo Rocon*

INTERFAZ CEREBRO-ORDENADOR PARA EL CONTROL DE UNA SILLA DE RUEDAS A TRAVÉS DE DOS PARADIGMAS DE NAVEGACIÓN . . . . . 353

*Fernández-Rodríguez Álvaro, Velasco-Álvarez Francisco and Ricardo Ron-Angevin*

## Control Inteligente

Aprendizaje por Refuerzo para sistemas lineales discretos con dinámica desconocida: Simulación y Aplicación a un Sistema Electromecánico . . . . . 360

*Henry Diaz, Antonio Sala and Leopoldo Armesto*

Diseño de sistemas de control en cascada clásico y borroso para el seguimiento de trayectorias . . . . . 368

*Javier G. Gonzalez, Rodolfo Haber, Fernando Matia and Marcelino Novo*

ANÁLISIS FORMAL DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS NO LINEALES MEDIANTE REDES NEURONALES . . . 376

*Eloy Irigoyen, Mikel Larrea, A. Javier Barragán, Miguel Ángel Martínez and José Manuel Andújar*

Predicción de la energía renovable proveniente del oleaje en las islas de Fuerteventura y Lanzarote. . . . 384

*G.Nicolás Marichal, Deivis Avila, Ángela Hernández, Isidro Padrón and José Ángel Rodríguez*

Aplicación de Redes Neuronales para la Estimación de la Resistencia al Avance en Buques 393

*Daniel Marón Blanco and Matilde Santos*

Novel Fuzzy Torque Vectoring Controller for Electric Vehicles with per-wheel Motors . . . 401

*Alberto Parra, Martín Dendaluce, Asier Zubizarreta and Joshué Pérez*

REPOSTAJE EN TIERRA DE UN AVIÓN MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS . 408

*Elías Plaza and Matilde Santos*

VISUALIZACIÓN WEB INTERACTIVA PARA EL ANÁLISIS DEL CHATTER EN LAMINACIÓN EN FRÍO . . . 416

*Daniel Pérez López, Abel Alberto Cuadrado Vega and Ignacio Díaz Blanco*

BANCADA PARA ANÁLISIS INTELIGENTE DE DATOS EN MONITORIZACIÓN DE SALUD ESTRUCTURAL . . . 424

*Daniel Pérez López, Diego García Pérez, Ignacio Díaz Blanco and Abel Alberto Cuadrado Vega*

CONTROL DE UN VEHÍCULO CUATRIRROTOR BASADO EN REDES NEURONALES . . . 431

*Jesus Enrique Sierra and Matilde Santos*

CONTROL PREDICTIVO FUZZY CON APLICACIÓN A LA DEPURACIÓN BIOLÓGICA DE FANGOS ACTIVADOS . . . 437

*Pedro M. Vallejo Llamas and Pastora Vega Cruz*

**Educación en Automática**

REFLEXIONES SOBRE EL VALOR DOCENTE DE UNA COMPETICION DE DRONES EN LA EDUCACIÓN PARA EL CONTROL . . . 445

*Ignacio Díaz Blanco, Alvaro Escanciano Urigüen, Antonio Robles Alvarez and Hilario López García*

Uso del Haptic Paddle con aprendizaje basado en proyectos . . . 451

*Juan M. Gandarias, Antonio José Muñoz-Ramírez and Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel*

REPRESENTACION INTEGRADA DE ACCIONAMIENTOS MECANICOS Y CONTROL DE EJES ORIENTADA A LA COMUNICACIÓN Y DOCENCIA EN MECATRONICA . . . 457

*Julio Garrido Campos, David Santos Esterán, Juan Sáez López and José Ignacio Armesto Quiroga*

Construcción y modelado de un prototipo fan & plate para prácticas de control automático 465

*Cristina Lampon, Javier Martin, Ramon Costa-Castelló and Muppaneni Lokesh Chowdary*

EDUCACION EN AUTOMATICA E INDUSTRIA 4.0 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS 3D . . . 471
*Jose Ramon Llata, Esther Gonzalez-Sarabia, Carlos Torre-Ferrero and Ramon Sancibrian*

Desarrollo e implementación de un sistema de control en una planta piloto hibrida . . . 479
*Maria P. Marcos, Cesar de Prada and Jose Luis Pitarch*

LA INFORMÁTICA INDUSTRIAL EN LAS INGENIERÍAS INDUSTRIALES . . . 486
*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*

Ventajas docentes de un flotador magnético para la experimentación de técnicas control . . 495
*Eduardo Montijano, Carlos Bernal, Carlos Sagües, Antonio Bono and Jesús Sergio Artal*

PROGRAMACIÓN ATRACTIVA DE PLC . . . 502
*Eduardo J. Moya de La Torre, F. Javier García Ruíz, Alfonso Poncela Méndez and Victor Barrio Lángara*

MODERNIZACIÓN DE EQUIPO FEEDBACK MS-150 PARA EL APRENDIZAJE ACTIVO EN INGENIERÍA DE CONTROL . . . 510
*Perfecto Reguera Acevedo, Miguel Ángel Prada Medrano, Antonio Morán Álvarez, Juan José Fuertes Martínez, Manuel Domínguez González and Serafín Alonso Castro*

INNOVACIÓN PEDAGÓGICA EN LA FORMACIÓN DEL PERFIL PROFESIONAL PARA EL DESARROLLLO DE PROYECTOS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL A TRAVÉS DE UNA APROXIMACIÓN HOLÍSTICA. . . . 517
*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*

Aprendiendo Simulación de Eventos Discretos con JaamSim . . . 522
*Enrique Teruel and Rosario Aragüés*

RED NEURONAL AUTORREGRESIVA NO LINEAL CON ENTRADAS EXÓGENAS PARA LA PREDICCIÓN DEL ELECTROENCEFALOGRAMA FETAL . . . 528
*Rosa M Aguilar, Jesús Torres and Carlos Martín*

ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MATERIA EN REACTORES RACEWAYS . . . 534
*Marta Barceló, Jose Luis Guzman, Francisco Gabriel Acién, Ismael Martín and Jorge Antonio Sánchez*

MODELADO DINÁMICO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE FRÍO VINCULADO A UN CICLO DE REFRIGERACIÓN . . . 539
*Guillermo Bejarano Pellicer, José Joaquín Suffo, Manuel Vargas and Manuel G. Ortega*

Predictor Intervalar basado en hiperplano soporte . . . 547
*José Manuel Bravo Caro, Manuel Vasallo Vázquez, Emilian Cojocaru and Teodoro Alamo Cantarero*

Dynamic simulation applied to refinery hydrogen networks . . . 555
*Anibal Galan Prado, Cesar De Prada, Gloria Gutierrez, Rafael Gonzalez and Daniel Sarabia*

APROXIMACIÓN DE MODELOS ALGEBRAICOS MEDIANTE ALAMO Y ECOSIMPRO . . . 563
*Carlos Gómez Palacín, José Luis Pitarch, Gloria Gutiérrez and Cesar De Prada*

A Causal Model to Analyze Aircraft Collision Avoidance Deadlock Scenarios . . . 569
*Miquel Ángel Piera Eroles, Julia de Homdedeu, Maria Del Mar Tous, Thimjo Koca and Marko Radanovic*

ONLINE DECISION SUPPORT FOR AN EVAPORATION NETWORK . . . 575
*José Luis Pitarch, Marc Kalliski, Carlos Gómez Palacín, Christian Jasch and Cesar De Prada*

Predicción de la irradiancia a partir de datos de satélite mediante deep learning . . . 582
*Javier Pérez, Jorge Segarra-Tamarit, Hector Beltran, Carlos Ariño, José Carlos Alfonso Gil, Aleks Attanasio and Emilio Pérez*

MODELO DINÁMICO ORIENTADO AL TRATAMIENTO Y SEGUIMIENTO DE LA LEUCEMIA MIELOIDE CRÓNICA . . . 589
*Gabriel Pérez Rodríguez and Fernando Morilla*

Modelado y optimización de la operación de un sistema de bombeo de múltiples depósitos 596
*Roberto Sanchis Llopis and Ignacio Peñarrocha*

DEVELOPMENT OF A GREY MODEL FOR A MEDIUM DENSITY FIBREBOARD DRYER IN ECOSIMPRO . . . 604
*Pedro Santos, Jose Luis Pitarch and César de Prada*

DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE FALLOS MEDIANTE MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LAS FECHAS DE LIMPIEZA PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS . . . 611
*Jorge Segarra-Tamarit, Emilio Pérez, Hector Beltran, Enrique Belenguer and José Luis Gandía*

Modelado de micro-central hidráulica para el diseño de controladores con aplicación en regiones aisladas de Honduras . . . 618
*Alejandro Tapia Córdoba, Pablo Millán Gata, Fabio Gómez-Estern Aguilar, Carmelina Ierardi and Álvaro Rodríguez Del Nozal*

FRAMEWORK PARA EL MODELADO DE UN LAGO DE DATOS . . . 626
*J.M Torres, R.M. Aguilar, C.A. Martin and S. Diaz*

SIMULADOR CARDIOVASCULAR PARA ENSAYO DE ROBOTS DE NAVEGACION AUTONOMA . . . 633
*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*

PLANIFICACION DE LA PRODUCION BASADA EN CONTROL PREDICTIVO PARA PLANTAS TERMOSOLARES . . . 641
*Manuel Jesús Vasallo Vázquez, José Manuel Bravo Caro, Emilian Cojocaru and Manuel Emilio Gegundez Arias*

Evaluación multicriterio para la optimización de redes de energía . . . 649
*Ascensión Zafra Cabeza, Rafael Espinosa, Miguel Ángel Ridao Carlini and Carlos Bordóns Alba*

Percibiendo el entorno en los robots sociales del RoboticsLab . . . 657
*Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo Montoya, Álvaro Castro-Gonzalez, Juan José Gamboa, Marcos Maroto Gómez, Sara Marqués Villaroya, Antonio J. Pérez Vidal and Miguel Ángel Salichs*

DISEÑO DE UNA PRÓTESIS DE MANO ADAPTABLE AL CRECIMIENTO ..... 664
*Marta Ayats and Raul Suarez*

COOPERATIVISMO BIOINSPIRADO BASADO EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS HORMIGAS ..... 672
*Brayan Bermudez, Kristel Novoa and Miguel Valbuena*

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN EXOESQUELETO DE MIEMBRO SUPERIOR PARA SOPORTE DE CARGAS ..... 680
*Andrea Blanco Ivorra, Jorge Diez Pomares, David Lopez Perez, Francisco Javier Badesa Clemente, Miguel Ignacio Sanchez and Nicolas Garcia Aracil*

Estructura de control en ROS y modos de marcha basados en máquinas de estados de un robot hexápodo ..... 686
*Raúl Cebolla Arroyo, Jorge De Leon Rivas and Antonio Barrientos*

USING AN UAV TO GUIDE THE TELEOPERATION OF A MOBILE MANIPULATOR ..... 694
*Josep Arnau Claret and Luis Basañez*

Estudio de los patrones de marcha para un robot hexápodo en tareas de búsqueda y rescate ..... 701
*Jorge De León Rivas and Antonio Barrientos*

SISTEMA DE INTERACCIÓN VISUAL PARA UN ROBOT SOCIAL ..... 709
*Mario Domínguez López, Eduardo Zalama Casanova, Jaime Gómez GarcÍa-Bermejo and Samuel Marcos Pablos*

Mejora del Comportamiento Proxémico de un Robot Autónomo mediante Motores de Inteligencia Artificial Desarrollados para Plataformas de Videojuegos ..... 717
*David Fernández Chaves, Javier Monroy and Javier Gonzalez-Jimenez*

Micrófonos de contacto: una alternativa para sensado tactil en robots sociales ..... 724
*Juan José Gamboa, Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo, Marcos Maroto Gómez and Miguel A. Salichs*

Clasificación de información táctil para la detección de personas ..... 732
*Juan M. Gandarias, Jesús M. Gómez-De-Gabriel and Alfonso García-Cerezo*

Planificación para interceptación de objetivos: Integración del Método Fast Marching y Risk-RRT ..... 738
*David Alfredo Garzon Ramos, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos*

ESTABILIZACIÓN DE UNA BOLA SOBRE UN PLANO UTILIZANDO UN ROBOT PARALELO 6-RSS ..... 746
*Daniel González, Lluís Ros and Federico Thomas*

TELEOPERACIÓN DE INSTRUMENTOS QUIRÚRGICOS ARTICULADOS ..... 754
*Ana Gómez Delgado, Carlos Perez-Del-Pulgar, Antonio Reina Terol and Victor Muñoz Martinez*

CONTROL OF A ROBOTIC ARM FOR TRANSPORTING OBJECTS BASED ON NEURO-FUZZY LEARNING VISUAL INFORMATION ..... 760
*Juan Hernández Vicén, Santiago Martínez de La Casa Díaz and Carlos Balaguer*

PLATAFORMA BASADA EN LA INTEGRACIÓN DE MATLAB Y ROS PARA LA DOCENCIA DE ROBÓTICA DE SERVICIO ..... 766
*Carlos G. Juan, Jose Maria Vicente, Alvaro Garcia and Jose Maria Sabater-Navarro*

Estimadores de fuerza y movimiento para el control de un robot de rehabilitación de extremidad superior . . . 772
*Aitziber Mancisidor, Asier Zubizarreta, Itziar Cabanes, Pablo Bengoa and Asier Brull*

Definiendo los elementos que constituyen un robot social portable de bajo coste . . . 780
*Marcos Maroto Gómez, José Carlos Castillo, Fernando Alonso-Martín, Juan José Gamboa, Sara Marqués Villarroya and Miguel Ángel Salichs*

Interfaces táctiles para Interacción Humano-Robot . . . 787
*Sara Marqués Villarroya, Jose Carlos Castillo Montoya, Fernando Alonso Martín, Marcos Maroto Gómez, Juan José Gamboa and Miguel A. Salichs*

HERRAMIENTAS DE ENTRENAMIENTO Y MONITORIZACIÓN PARA EL DESMINADO HUMANITARIO . . . 793
*Hector Montes, Roemi Fernandez, Pablo Gonzalez de Santos and Manuel Armada*

Control a Baja Velocidad de una Rueda con Motor de Accionamiento Directo mediante Ingeniería Basada en Modelos . . . 799
*Antonio José Muñoz-Ramirez, Jesús Manuel Luque-Bedmar, Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel, Anthony Mandow, Javier Serón and Alfonso Garcia-Cerezo*

SIMULACIÓN DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS USANDO V-REP BAJO ROS . . . 806
*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*

Cinemática y prototipado de un manipulador paralelo con centro de rotación remoto para robótica quirúrgica . . . 814
*Francisco Pastor, Juan M. Gandarias and Jesús M. Gómez-De-Gabriel*

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE SINGULARIDADES AISLADAS EN ROBOTS PARALELOS MEDIANTE DESARROLLOS DE TAYLOR DE SEGUNDO ORDEN . . . 821
*Adrián Peidró Vidal, Óscar Reinoso, Arturo Gil, José María Marín and Luis Payá*

INTERFAZ DE CONTROL PARA UN ROBOT MANIPULADOR MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL . . . 829
*Elena Peña-Tapia, Juan Jesús Roldán, Mario Garzón, Andrés Martín-Barrio and Antonio Barrientos*

Evolución de la robótica social y nuevas tendencias . . . 836
*Antonio J. Pérez Vidal, Alvaro Castro-Gonzalez, Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo Montoya and Miguel A. Salichs*

DISEÑO MECÁNICO DE UN ASISTENTE ROBÓTICO CAMARÓGRAFO CON APRENDIZAJE COGNITIVO . . . 844
*Irene Rivas-Blanco, M Carmen López-Casado, Carlos Pérez-Del-Pulgar, Francisco García-Vacas, Víctor Fernando Muñoz, Enrique Bauzano and Juan Carlos Fraile*

CÁLCULO DE FUERZAS DE CONTACTO PARA PRENSIONES BIMANUALES . . . 852
*Francisco Abiud Rojas-De-Silva and Raul Suarez*

Modelado del Contexto Geométrico para el Reconocimiento de Objetos . . . 860
*José Raúl Ruiz Sarmiento, Cipriano Galindo and Javier Gonzalez-Jimenez*

Estimación Probabilística de Áreas de Emisión de Gases con un Robot Móvil Mediante la Integración Temporal de Observaciones de Gas y Viento . . . 868
*Carlos Sanchez-Garrido, Javier Monroy and Javier Gonzalez-Jimenez*

MANIPULADOR AÉREO CON BRAZOS ANTROPOMÓRFICOS DE ARTICULACIONES FLEXIBLES ..... 876
*Alejandro Suarez, Guillermo Heredia and Anibal Ollero*

EVALUACIÓN DE UN ENTORNO DE TELEOPERACIÓN CON ROS ..... 864
*David Vargas Frutos, Juan Carlos Ramos Martínez, José Luis Samper Escudero, Miguel Ángel Sánchez-Urán González and Manuel Ferre Pérez*

**Sistemas de Tiempo Real**

GENERACIÓN DE CÓDIGO IEC 61131-3 A PARTIR DE DISEÑOS EN GRAFCET .... 892
*Maria Luz Alvarez Gutierrez, Isabel Sarachaga Gonzalez, Arantzazu Burgos Fernandez, Nagore Iriondo Urbistazu and Marga Marcos Muñoz*

CONTROL EN TIEMPO REAL Y SUPERVISIÓN DE PROCESOS MEDIANTE SERVIDORES OPC-UA ..... 900
*Francico Blanes Noguera and Andrés Benlloch Faus*

Control de la Ejecución en Sistemas de Criticidad Mixta ..... 906
*Alfons Crespo, Patricia Balbastre, Jose Simo and Javier Coronel*

GENERACIÓN AUTOMÁTICA DEL PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN TIA PORTAL PARA MÁQUINAS MODULARES ..... 913
*Darío Orive, Aintzane Armentia, Eneko Fernandez and Marga Marcos*

DDS en el desarrollo de sistemas distribuidos heterogéneos con soporte para criticidad mixta ..... 921
*Hector Perez and J. Javier Gutiérrez*

ARQUITECTURA DISTRIBUIDA PARA EL CONTROL AUTÓNOMO DE DRONES EN INTERIOR ..... 929
*Jose-Luis Poza-Luján, Juan-Luis Posadas-Yagüe, Giovanny-Javier Tipantuña-Topanta, Francisco Abad and Ramón Mollá*

Ingeniería Conducida por Modelos en Sistemas de Automatización Flexibles ..... 935
*Rafael Priego, Elisabet Estévez, Dario Orive, Isabel Sarachaga and Marga Marcos*

Estudio e implementación de Middleware para aplicaciones de control distribuido ..... 942
*Jose Simo, Jose-Luis Poza-Lujan, Juan-Luis Posadas-Yaguë and Francisco Blanes*

**Visión por Computador**

Real-Time Image Mosaicking for Mapping and Exploration Purposes ..... 948
*Abdulla Al-Kaff, Juan Camilo Soto Triviñno, Raúl Sosa San Frutos, Arturo de La Escalera and José María Armingol Moreno*

ALGORITMO DE SLAM UTILIZANDO APARIENCIA GLOBAL DE IMÁGENES OMNIDIRECCIONALES ..... 956
*Yerai Berenguer, Luis Payá, Mónica Ballesta, Luis Miguel Jiménez, Sergio Cebollada and Oscar Reinoso*

Medición de Oximetría de Pulso mediante Imagen fotopletismográfica..... 964
*Juan-Carlos Cobos-Torres, Jordan Ortega Rodríguez, Pablo J. Alhama Blanco and Mohamed Abderrahim*

Algoritmo de captura de movimiento basado en visión por computador para la teleoperacóon de robots humanoides ..... 970
*Juan Miguel Garcia Haro and Santiago Martinez de La Casa*

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DETECCIÓN DE ROSTROS EN IMÁGENES DIGITALES . . . 976
*Natalia García Del Prado, Victor Gonzalez Castro, Enrique Alegre and Eduardo Fidalgo Fernández*

LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE FUGA PARA SISTEMA DE DETECCIÓN DE LÍNEAS DE CARRIL . . . 983
*Manuel Ibarra-Arenado, Tardi Tjahjadi, Sandra Robla-Gómez and Juan Pérez-Oria*

Oculus-Crawl, a Software Tool for Building Datasets for Computer Vision Tasks . . . 991
*Iván De Paz Centeno, Eduardo Fidalgo Fernández, Enrique Alegre Gutiérrez and Wesam Al Nabki*

Clasificación automática de obstáculos empleando escáner láser y visión por computador . . . 999
*Aurelio Ponz, Fernando Garcia, David Martin, Arturo de La Escalera and Jose Maria Armingol*

T-SCAN: OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS CON COLOR Y TEMPERATURA EN INTERIOR DE EDIFICIOS . . . 1007
*Tomás Prado, Blanca Quintana, Samuel A. Prieto and Antonio Adan*

EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA REALIZAR RESÚMENES AUTOMÁTICOS DE VÍDEOS . . . 1015
*Pablo Rubio, Eduardo Fidalgo, Enrique Alegre and Víctor González*

SIMULADOR PARA LA CREACIÓN DE MUNDOS VIRTUALES PARA LA ASISTENCIA A PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA EN SILLA DE RUEDAS . . . 1023
*Carlos Sánchez Sánchez, María Cidoncha Jiménez, Emiliano Pérez, Ines Tejado and Blas M. Vinagre*

Calibración Extrínseca de un Conjunto de Cámaras RGB-D sobre un Robot Móvil . . . 1031
*David Zúñiga-Nöel, Rubén Gómez Ojeda, Francisco-Ángel Moreno and Javier González Jiménez*

# GENERACIÓN AUTOMÁTICA DEL PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN TIA PORTAL PARA MÁQUINAS MODULARES

Darío Orive, Aintzane Armentia, Eneko Fernández, Marga Marcos.
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Universidad del País Vasco / Euskal Herriko
Unibertsitatea

dario.orive@ehu.eus, aintzane.armentia@ehu.eus, eneko.fernandez.alonso@gmail.com, marga.marcos@ehu.es

## Resumen

*Uno de los retos de la Industry 4.0 es disponer de sistemas de fabricación más flexibles y eficaces, que permitan fabricar productos cada vez más personalizados, adaptados a la demanda de los clientes. Esto unido a que esta flexibilidad se logre a un precio competitivo ha llevado al concepto de máquina modular. La máquina se concibe como un conjunto de componentes mecatrónicos que incluye una parte física (mecánica, eléctrica y electrónica), y el software y hardware necesario para controlarla. Estos componentes pueden fabricarse en serie. Diferentes combinaciones de componentes mecatrónicos permiten fabricar máquinas que se adaptan a las demandas del cliente.*

*Este artículo propone un modelo para la maquina modular a partir cual es posible generar de forma automática el proyecto TIA Portal, utilizando tecnologías XML.*

**Palabras Clave:** *Industry 4.0, Modularity, Automation System, Automatic code generation, Flexible manufacturing systems.*

## 1. Introducción

Es de sobra conocida la tendencia generalizada a introducir mayores niveles de automatización en los procesos de fabricación, persiguiendo como objetivo conseguir productos de mejor calidad y precios más competitivos. Los procesos de fabricación cada día son más complejos, con tiempos de cadencia de producción cortos entre series de producción pequeñas, requiriendo además un alto nivel de flexibilidad para adaptarse a las necesidades del mercado[1].

Otro requisito demandado es el de acortar el tiempo necesario para modificar la línea de producción con el objetivo de reducir los tiempos de parada de la línea.

También se prevé que los procesos de fabricación tengan que ser más flexibles para adaptarse a fabricar lotes de productos mucho más pequeños que los actuales, y más personalizados a las necesidades de los clientes finales. Todas estas adaptaciones y cambios en los procesos de fabricación deben realizarse de forma ágil, rápida y fiable.

Estos son solo algunos de los retos de lo que se ha denominado en Europa la Industry 4.0 o lo que otros denominan como 4ª revolución industrial [2]. Son muchos los objetivos planteados bajo este paradigma, tanto de tipo tecnológico como de tipo económico. Sin embargo, todos ellos se caracterizan por la introducción de modernas tecnologías como elemento habilitador de la competitividad. Entre sus objetivos destacan la digitalización en todas las fases del ciclo de vida del producto, así como la extracción de conocimiento adquiriendo y procesando información a lo largo del ciclo de vida. La acción combinada de ambas es la base para construir sistemas de fabricación más flexibles y eficientes que los actuales.

El diseño modular de sistemas de fabricación [3] es una idea que se ha propuesto en diferentes trabajos. Así, [4] focaliza en aspectos de la granularidad de los módulos para conseguir altos grados de reutilización con mínimo esfuerzo. En [5] se propone la definición y diseño de un sistema de automatización capaz de asegurar su disponibilidad mediante técnicas y tecnologías de modelado y tecnología multi-agente. [6] estudia la problemática del control de versiones de software. En [7] se analiza aspectos de cómo generar el programa de control de sistemas

modulares, en un entorno multidisciplinar de tres formas diferentes; basada en librería central, en base a parámetros y basada en plantillas. En estos trabajos, la modularidad se utiliza para facilitar el diseño del sistema de control. Pero en prácticamente todos ellos, bien a través del modelado, bien a través de la codificación, existen procesos manuales que son propensos a error. Sólo en [8] se propone una generación automática de código modular. Ahora bien, los módulos físicos se definen de forma abstracta y es el usuario el que debe modelar la máquina, definiendo todos sus componentes.

Esta es precisamente la aportación de este trabajo: a través de la definición de la máquina modular en base a componentes mecatrónicos reutilizables, permite automatizar la definición de nuevas máquinas, asegurando la corrección de la definición y generando el proyecto de automatización (hardware y software) de la máquina completa. De esta forma se eliminan tareas repetitivas (como cambio de nombres de variables o asignación de direcciones de entrada/salida) y propensas a error. Concretamente se realiza para Controladores Lógicos Programables desde la herramienta TIA Portal de Siemens utilizando el API TIA Portal Openness que facilita la manipulación automática de proyectos completos.

La estructura del artículo es la siguiente: En el apartado 2 se propone el modelado de la máquina modular desde el punto de vista funcional y de control (hardware-software), cuya implementación en casos concretos plasmará el grado de granularidad adecuado. Se ilustra con una propuesta concreta de máquina que es la que se utiliza en el resto de apartados. El apartado 3 se dedica a la generación automática del proyecto TIA Portal. Se presenta la arquitectura general de la aplicación de generación así como sus módulos principales. En el apartado 4 se presenta el caso de estudio de una máquina de ensayos de fugas. El artículo finaliza con el apartado de conclusiones y trabajos futuros.

## 2. Modelado modular de máquinas.

El modelado de la máquina modular que se propone se basa en dos vistas: La funcional, en la que la máquina está definida por un conjunto de módulos, de forma que un módulo puede estar a su vez formado por otros formando una jerarquía, y la de implementación que define el hardware y el software de control de la máquina.

A continuación se presentan ambas vistas y se ilustran para un caso concreto de jerarquía.

### 2.1 Vista funcional.

La vista funcional define los componentes que pueden conformar una máquina. Dado que esta vista define componentes físicos, se propone una estructura jerárquica que permite al diseñador establecer la granularidad deseada para definir los módulos físicos. De esta forma, un módulo funcional puede estar formado por otros módulos y dispositivos de entrada/salida que representan el conjunto de señales de los sensores y actuadores que se utilizan para controlar ese componente. El último nivel de la jerarquía de cada rama únicamente contiene dispositivos de entrada/salida. El meta-modelo de esta vista se ilustra en la Figura 1 mediante un diagrama de clases UML.

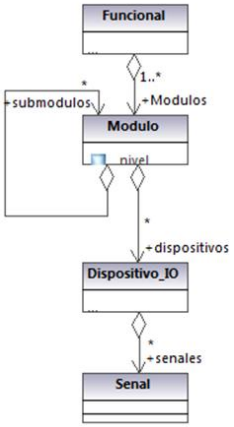


Figura 1 Meta-Modelo de la Vista Funcional

El meta-modelo se completa con dos reglas de composición: un módulo sólo puede contener módulos de un nivel inferior y los módulos de último nivel de la jerarquía sólo pueden contener dispositivos.

Para ilustrar el uso de esta vista, supongamos una ingeniería que diseña y monta máquinas que están formadas por un conjunto de bastidores sobre los que se ubican estaciones que pueden realizar operaciones de fabricación. Además, se contempla la existencia de módulos botonera (para el mando de la máquina, transporte (módulo opcional que puede existir para transportar la pieza entre máquinas), HMI y armario (que agrupa el resto de señales necesarias para el buen funcionamiento de la máquina). Siguiendo el meta-modelo de la Figura 1, es posible definir el meta-modelo de este tipo de máquinas definiendo los módulos básicos y sus relaciones. El meta-modelo resultante se ilustra en la Figura 2.

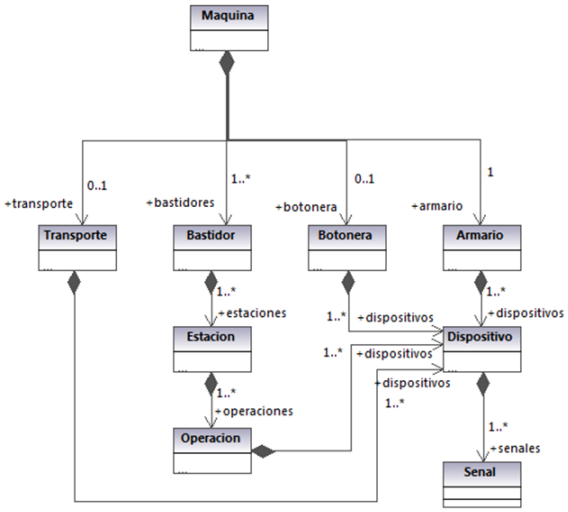


Figura 2 Meta-Modelo Funcional de un tipo de máquina

### 2.2 Vista de Implementación

La vista de implementación sigue el modelo de proyectos de automatización de TIA Portal (Siemens) que define los elementos del meta-modelo de la Figura 3.

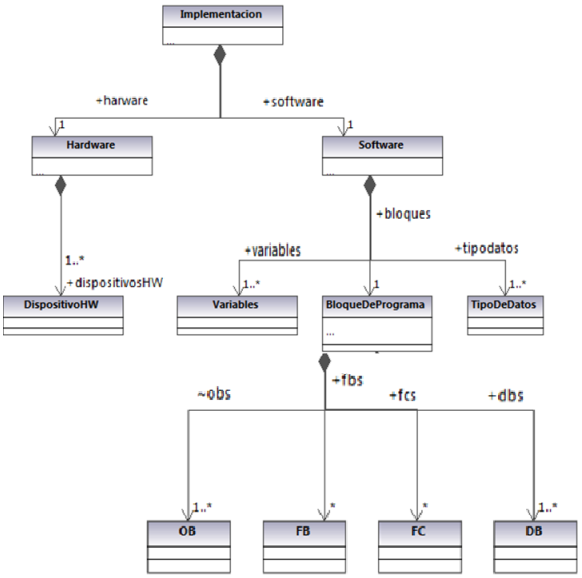


Figura 3 Meta-Modelo de la implementación

Para ilustrar la vista de implementación, la Figura 4 representa las propiedades de dispositivoHW. Como se puede observar, en este caso se ha caracterizado un dispositivo de una red Profinet. Cada dispositivo se caracteriza por un nombre, el nombre Profinet y la dirección IP (necesarios para configurar la red) así como la dirección inicial de señales de E/S.

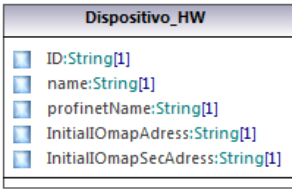


Figura 4 Dispositivo_HW

La máquina modular está formada por las dos vistas y las relaciones entre ellas. Concretamente, existe una relación entre los dispositivos hardware de la vista de implementación y el dispositivo IO de la vista funcional. Por otro lado, cada señal de la vista funcional corresponde a una variable y una dirección física en la tabla de variables. Por otro lado, los módulos de la vista funcional se mapean a boques de programa.

## 3. Generación automática del proyecto TIA Portal

La Figura 5 representa la arquitectura de alto nivel de la aplicación de generación.

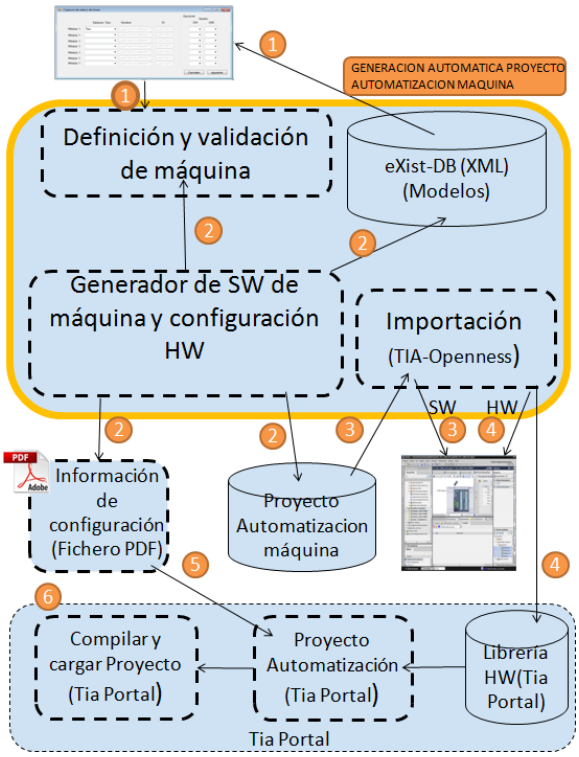


Figura 5 Arquitectura general

La aplicación de generación de un proyecto de automatización está dividida en una serie de fases: se comienza definiendo una nueva máquina que está compuesta por un conjunto de módulos con diferentes funcionalidades. Por cada módulo que compone la máquina (y que puede contener una jerarquía de módulos) se dispone de un proyecto TIA

Portal que corresponde a su modelo de implementación. La aplicación debe resolver etiquetas de código, variables y direcciones Profinet duplicadas y generar el código final.

Se ha definido una base de datos orientada a modelos que contiene todos los proyectos de automatización tipo correspondiente a módulos funcionales, así como las nuevas máquinas definidas.

La base de datos elegida ha sido eXist-db [9], que es del tipo NoSQl, y XML nativa lo que la hace adecuada para el manejo y almacenamiento de modelos en formato XML, que es el formato en el que se almacena la información de los modelos.

Una de las características de esta base de datos es que no se necesita especificar un XML schema de la información que se almacena, lo cual da mucha flexibilidad para introducir diferentes tipos de documentos, y para futuras ampliaciones. Esto no significa que no se puedan hacer validación de los documentos XML que se introduzcan.

eXist-DB es independiente de la plataforma, dado que está basada en java, al igual que su API. Esta API permite el uso de lenguajes query como Xpaht o Xquery. También permite la administración de usuarios, permisos, indizado…

La administración de los datos se consigue por medio de colecciones de documentos jerárquica, por los que se pueden realizar las acciones sobre conjuntos de documentos. Para actualizar o borrar documentos se puede hacer uso del lenguaje XUpdate, que nos permite actualizar el documento entero o la elección de los nodos a actualizar. También provee de mecanismos de copias de seguridad y restauración (Backup/restore). El motor de la base de datos tiene funciones básicas de seguridad, como pude ser el control de acceso mediante contraseña de los usuarios a los grupos que pertenezcan.

La elección de una base de datos XML nativa se debe a que la herramienta TIA Portal ofrece TIA Portal Openness, un API que permite acceder a la estructura de la herramienta TIA Portal, de forma remota y modificar el contenido de la misma. De esta forma se pueden generar proyectos de automatización utilizando objetos almacenados en librerías u objetos externos importados en XML.

También, se puede acceder a los datos de proyectos para su posterior procesamiento, extraer datos estadísticos, realizar copias de seguridad o actualizar el contenido de los proyectos.

Entre las funcionalidades ofrecidas por TIA Portal Openness, caben destacar las siguientes:

- *Manipulación* de ciertos objetos de un proyecto, p.e. (carpetas, hardware, bloques de programa, variables, tipos de variables, …), tanto del PLC, como del HMI.
- *Utilización* de librerías, tanto del proyecto, como librerías globales.
- *Exportación* e *importación* de información relativa al software de proyectos.
- *Ejecución* de comandos relacionados con tareas del TIA Portal, como por ejemplo compilar un proyecto ya generado y cargar el proyecto en el PLC.

Por otro lado, un proyecto de automatización TIA Portal contiene toda la información relacionada con todos los controladores del proyecto. Por cada controlador se genera una estructura de directorios, tal y como se ilustra en la Figura 6. En ella se puede observar que la estructura de carpetas relativas al software coincide con la del meta-modelo de la Figura 3: la carpeta de "bloques de programa", en la cual se organizan todos los bloques de programa del PLC (OB, FB, FC, DB), la carpeta "variables PLC", donde están declaradas las variables globales del programa del PLC y la carpeta de "tipos de dato de PLC", en la que se pueden definir tipos de dato de usuario específicos para la aplicación. Estas carpetas se generan automáticamente vacías en TIA Portal cuando se inserta un PLC y se va introduciendo el contenido a medida que se va desarrollando el proyecto.

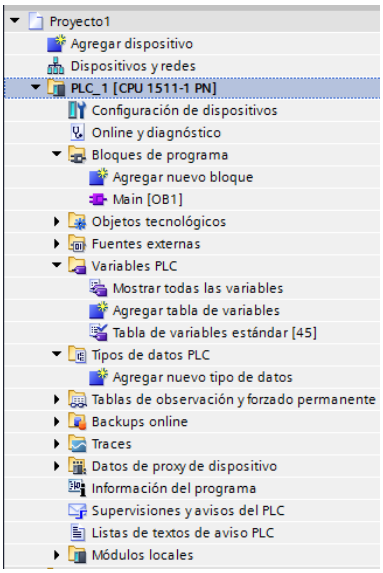


Figura 6 Árbol de directorios de PLC en TIA Portal

A continuación se describen los pasos que ejecuta la aplicación de generación:

### 3.1 Captura de datos de definición de la máquina

Se ha desarrollado una aplicación que permite, que el operador defina las características de la maquina. Dispone de un interfaz de usuario que accede a la

base de datos de la que se extraen los proyectos tipo definidos, que pueden utilizarse en la composición de la máquina. Esto corresponde al paso 1 de la Figura 5.

Para los tipos de máquinas definidos en la Figura 2 la aplicación ofrece los componentes mecatrónicos que son los de primer nivel: Bastidor, Transporte, Botonera y Armario.

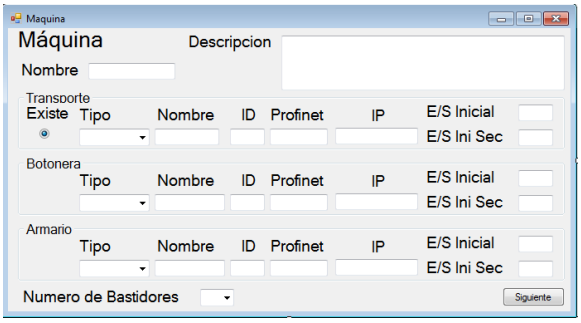


Figura 7 Interfaz de definición de la máquina.

**Base de datos orientada a modelos**

Una vez definida la máquina a partir de módulos funcionales, la aplicación accede a la base de datos orientada a modelos que contiene los modelos de implementación que siguen la estructura TIA Portal correspondientes a los módulos funcionales tipo, paso 2 de la Figura 5.

La Figura 8 representa las colecciones de la base datos para el caso de la máquina tipo definida en la sección 2. Contiene los modelos de implementación (bastidor, transporte, botonera, armario y HMI) de los que se van a componer las máquinas. Cada modelo representa la información relativa a un proyecto de automatización con toda la estructura hardware y software, siguiendo el meta-modelo de la Figura 3. La estructura sigue el Schema XML de la Figura 9. Además, los proyectos de automatización de las nuevas máquinas definidas, se almacenan como proyectos máquinas tipo para su posterior reutilización.

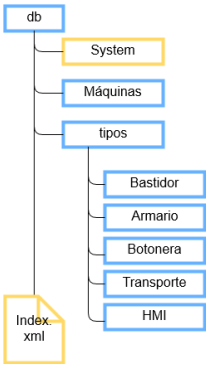


Figura 8 Estructura de la base de datos de modelos de implementación

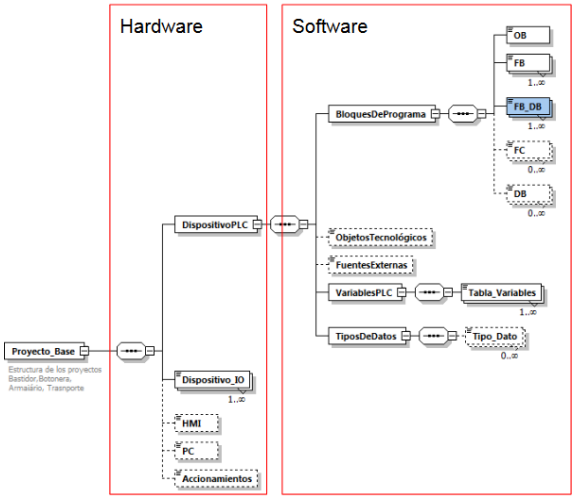


Figura 9 Schema de proyecto tipo

### 3.2 Generación del Proyecto Máquina

El proyecto Máquina se genera a partir de los proyectos tipo de los módulos que la componen.

Esta parte de la aplicación se encarga de adaptar el código y los datos de cada proyecto tipo, para asegurar que las instanciaciones en el código generado sean correctas, paso 2 de la Figura 5.

Esta operación se realiza en las siguientes fases:

- Fase 1. Se dispone del archivo de definición de la máquina en formato XML, generado en el paso 1. La aplicación extrae de él la información necesaria para seleccionar de la base de datos los proyectos tipo con los que se va a construir la máquina.
- Fase 2. Adaptación de las variables globales (Tipos de datos, DB globales, Tablas de variables) de aquéllos módulos tipo con más de una instancia. A modo de ejemplo, la Figura 10 representa las modificaciones que habría que realizar en una tabla de variables en cada instancia del mismo módulo.
- Fase 3. Modificación de los nombres de los parámetros actuales que se utilizan en las instanciaciones de los módulos de programa, haciendo uso de las variables declaradas en las tablas de variables.
- Fase 4. Generación del modelo de implementación del proyecto de la máquina integrando en los OBs del mismo tipo de ejecución, el contenido de los OBs de cada módulo tipo. En el modelo final solo existe un OB de cada tipo de ejecución que integrará el código de todos los proyectos tipo. En la Figura 11 se indica la forma de proceder para la generación de los OBs.

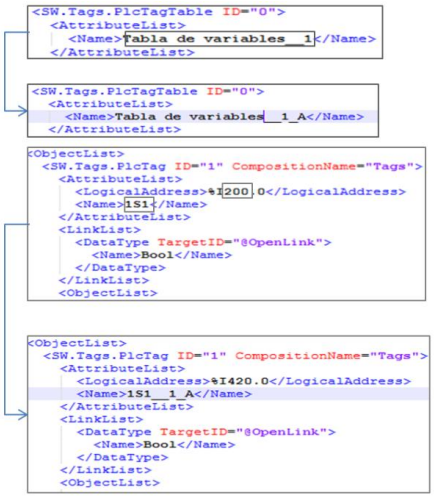


Figura 10 Adaptación de la tabla de variables

- Fase 5. Generación de un documento PDF con la documentación necesaria para la configuración del hardware y del sistema de comunicaciones de la maquina.

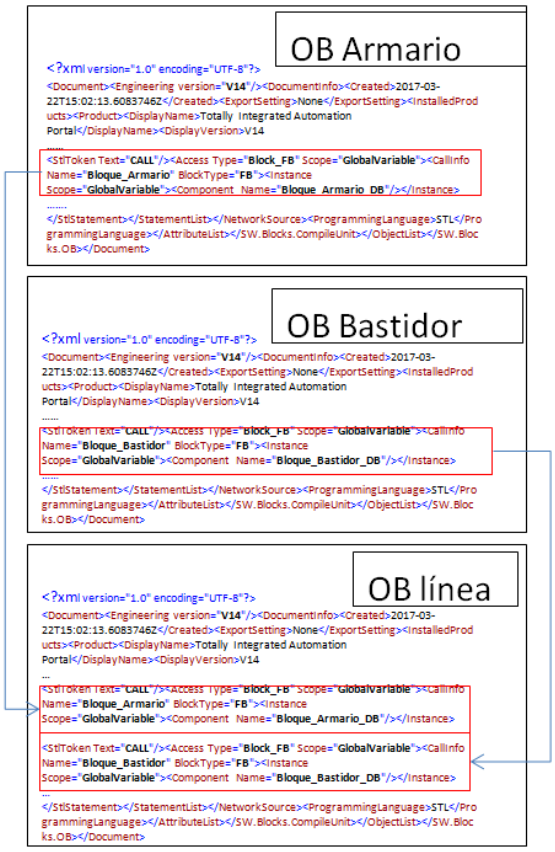


Figura 11 Generación del OB1 del proyecto máquina

### 3.3 Generación del proyecto en TIA Portal

El modelo de implementación de la máquina generado siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 3.3 se importa a la herramienta TIA Portal utilizando las funciones del API TIA Portal Openness, paso 3 de la Figura 5.

La importación se realiza en dos fases:

- Fase 1. Utiliza la función de grupos para crear bloques, variables y tipos en una estructura de carpetas. La estructura de carpetas del proyecto generado en TIA Portal sigue la estructura del modelo funcional. Ver Figura 13.

- Fase 2. Importa el software del proyecto generado descrito en el apartado 3.3 a las diferentes carpetas del proyecto.

El hardware relacionado con los proyectos tipo se encuentra almacenado en la librería global de TIA Portal. Para completar el proyecto de automatización que se está generando, es necesario importar en el mismo el hardware de cada componente mecatrónico, paso 4 de la Figura 5.

TIA Portal Openness dispone de funciones que permite importar hardware almacenado en librerías TIA Portal al proyecto de automatización generado.

El operador configurará el hardware y las comunicaciones de forma manual en el entorno TIA Portal. La información necesaria para realizar esta configuración la genera la aplicación, a partir del proyecto generado, en un fichero PDF. Corresponde al paso 5 de la Figura 5.

Una vez completados los pasos anteriormente indicados se tendrá el proyecto completo generado en TIA Portal. Quedaría por último la compilación del mismo y la carga en el PLC, paso 6 de la Figura 5.

## 4. Caso de estudio

Figura 12 Diagrama funcional caso de estudio "Test de fugas"

El caso de estudio se ha desarrollado para la generación del proyecto de automatización de una máquina de testeo de fugas, utilizada en la fabricación de bloques y culatas de motores de combustión en el sector del automóvil, con la estructura de la Figura 12.

Aunque este tipo de máquinas pueden tener diferente formas constructivas, en muchos casos la máquina está formada por un plato giratorio, con varias posiciones (3 o 4), en las que se realizan las operaciones sobre las piezas. Estas máquinas pueden estar varias juntas formando una línea de procesando de piezas, iguales o diferentes, en un sistema de producción general, o pueden estar insertadas en una línea de producción con otras máquinas que realizan otras operaciones sobre el producto que se está fabricando. La máquina consta de los elementos componentes mecatrónicos siguientes.

Plato divisor (Bastidor): Es un plato giratorio de 3 posiciones desfasadas 120º, accionado por un servo-accionamiento eléctrico en posición, que dispone de señales E/S analógicas y digitales y tiene un FB asociado de control. En una posición se realiza la carga y descarga de las piezas, en la segunda posición se realiza el test del circuito de agua y en la tercera posición se realiza el test del circuito de aceite.

Cilindro hidráulico (Operación): El cilindro hidráulico eleva la pieza hasta la posición donde se encuentra un bloque mecánico, sobre el que se encuentran los sensores y actuadores del "sistema de inyección de aire y registro de valores". Tiene un dispositivo IO con un FB para su control, por cada pieza y por cada estación de la máquina.

Sistema de inyección de aire y registro (Operación): Este sistema consta de sensores de medida y actuadores y dispone de un sistema de control propio que realiza el control del testeo sobre la pieza. Dispone de un FB por cada tipo de pieza y por estación. La comunicación con el PLC es en Profinet

Transporte: la maquina utilizada como caso de estudio no tiene transporte.

Sistema de alimentación: La alimentación de la máquina se hace de forma manual. Las señales están conectadas a un dispositivo I/O y se procesan mediante un FB.

Interfaz de operador (HMI): La máquina dispone de un interfaz de operador HMI desde donde se puede dar órdenes al sistema de control.

Botonera (Botonera): La máquina dispone de un conjunto de pulsadores y dispositivos de puesta en marcha y paros de la máquina. Las señales implicadas se controlan mediante un FB de control de señalizaciones y se capturan y transmiten a través de un dispositivo I/O.

La Figura 13 presenta la estructura del proyecto generado, que como se puede observar sigue la estructura del modelo funcional de la Figura 3.

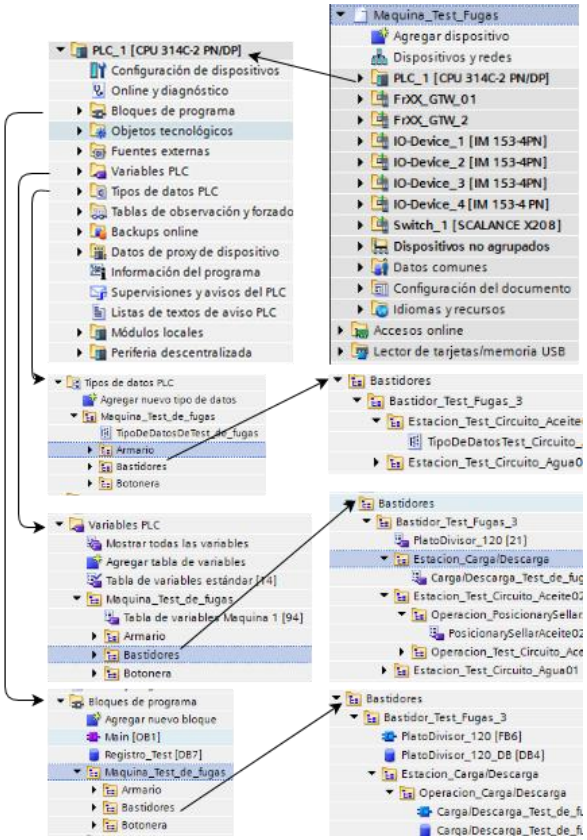


Figura 13 Resultado generación de código en TIA Portal

## 5. Conclusiones y trabajos futuros

La arquitectura desarrollada y descrita en este articulo permite generar proyectos de automatización de maquinas modulares a partir de proyectos tipo de forma automática, evitando todos los inconvenientes que presenta hacerlo de forma manual. Con lo que se consigue un mayor grado de de reutilización de los desarrollos realizados.

Para poder utilizar esta arquitectura es necesario un diseño modular de todos los proyectos tipo de la máquina desde su concepción.

Es una arquitectura abierta sobre la que siempre se pondrán añadir proyectos tipo básicos que se pueden ir desarrollando para futuras máquinas. Este desarrollo se realiza una única vez y se puede utilizar en muchas máquinas.

La arquitectura desarrollada es fuertemente dependiente de:

- Plataforma en la que se va a generar el proyecto de automatización en este caso TIA Portal
- El meta-modelo de las máquinas que construye cada empresa.

En un principio se ha definido una arquitectura que contempla el nivel máquina, pero esta arquitectura podría ampliarse añadiendo mas niveles, como podría ser la línea completa de un proceso de fabricación.

**Agradecimientos**
Este trabajo se ha financiado en parte bajo el Proyecto DPI2015-68602-R (MINECO/FEDER, UE), por la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) con el proyecto PPG17/56, y por el Gobierno Vasco (GV/EJ) bajo el reconocido grupo de investigación IT914-16.

**Referencias**

[1] B. Prasad, "Analysis of pricing strategies for new product introduction," *Pricing Strateg. Pract.*, vol. 5, no. 4, pp. 132–141, 1997.

[2] Plattform Industrie 4.0, "What is Industrie 4.0?," pp. 4–5, 2017.

[3] K. Ulrich, "Fundamentals of product modularity," in *Management of Design*, Springer, 1994, pp. 219–231.

[4] C. Maga, N. Jazdi, and P. Göhner, "Reusable models in industrial automation: experiences in defining appropriate levels of granularity," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 44, no. 1, pp. 9145–9150, 2011.

[5] R. Priego, A. Armentia, E. Estévez, D. Orive, N. Iriondo, and M. Marcos, "Implementación de mde para la generación de sistemas de automatización reconfigurables," *XXXVI Jornadas de Automática*, pp. 166–173, 2015.

[6] B. Vogel-Heuser, A. Fay, I. Schaefer, and M. Tichy, "Evolution of software in automated production systems: Challenges and research directions," *J. Syst. Softw.*, vol. 110, pp. 54–84, 2015.

[7] S. Feldmann and B. Vogel-Heuser, "Interdisciplinary product lines to support the engineering in the machine manufacturing domain," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 55, no. 13, pp. 3701–3714, Jul. 2017.

[8] E. Estévez, M. Marcos, and D. Orive, "Automatic generation of PLC automation projects from component-based models," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 35, no. 5–6, pp. 527–540, 2007.

[9] E. Siegel and A. Retter, *eXist A NoSQL Document Database and Application Platform*. O'Reilly Media, 2014.