

Actas de

XXXVIII

Jornadas de Automática

© 2017 Universidad de Oviedo
© Los autores

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

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

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

Prefacio

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

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

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

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

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

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López
Presidente del Comité Organizador

Program Committee

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

Daniel Pérez	University of Oviedo
Emilio Pérez	Universitat Jaume I
Juan Pérez Oria	Universidad de Cantabria
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
<i>Eduardo Alvarez, Manuel Rico-Secades, Antonio Javier Calleja Rodríguez, Joaquín Fernández Francos, Aitor Fernández Jiménez, Mario Alvarez Fernández and Samuel Camba Fernández</i>	
Reduction of population variability in protein expression: A control engineering approach.	8
<i>Yadira Boada, Alejandro Vignoni and Jesús Picó</i>	
CONTROL ROBUSTO DEL PH EN FOTOBIORREACTORES MEDIANTE RECHAZO ACTIVO DE PERTURBACIONES	16
<i>José Carreño, Jose Luis Guzman, José Carlos Moreno and Rodolfo Villamizar</i>	
Control reset para maniobra de cambio de carril y validación con CarSim	23
<i>Miguel Cerdeira, Pablo Falcón, Antonio Barreiro, Emma Delgado and Miguel Díaz-Cacho</i>	
Maniobra de aterrizaje automática de una Cessna 172P modelada en FlightGear y controlada desde un programa en C	31
<i>Mario de La Rosa, Antonio Javier Gallego and Eduardo Fernández</i>	
Alternativas para el control de la red eléctrica aislada en parques eólicos marinos	38
<i>Carlos Díaz-Sanahuja, Ignacio Peñarrocha, Ricardo Vidal-Albalade and Ester Sales-Setién</i>	
CONTROL PREDICTIVO DISTRIBUIDO UTILIZANDO MODELOS DIFUSOS PARA LA NEGOCIACIÓN ENTRE AGENTES	46
<i>Lucía Fargallo, Silvana Roxani Revollar Chavez, Mario Francisco, Pastora Vega and Antonio Cembellín</i>	
Control Predictivo en el espacio de estados de un captador solar tipo Fresnel	54
<i>Antonio Javier Gallego, Mario de La Rosa and Eduardo Fernández</i>	
Control predictivo para la operación eficiente de una planta formada por un sistema de desalación solar y un invernadero	62
<i>Juan Diego Gil Vergel, Lidia Roca, Manuel Berenguel, Alba Ruiz Aguirre, Guillermo Zaragoza and Antonio Giménez</i>	
Depuración de Aguas Residuales en la Industria 4.0	70
<i>Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel, Ana María Jiménez Arévalo, Laura Eiroa Mateo and Fco. Javier Fernández-De-Cañete-Rodríguez</i>	
Control robusto con QFT del pH en un fotobioreactor raceway	77
<i>Ángeles Hoyo Sánchez, Jose Luis Guzman, Jose Carlos Moreno and Manuel Berenguel</i>	
Revisión sistemática de la literatura en ingeniería de sistemas. Caso práctico: técnicas de estimación distribuida de sistemas ciberfísicos	84
<i>Carmelina Ierardi, Luis Orihuela Espina, Isabel Jurado Flores, Álvaro Rodríguez Del Nozal and Alejandro Tapia Córdoba</i>	
Desarrollo de un Controlador Predictivo para Autómatas programables basado en la normativa IEC 61131-3	92
<i>Pablo Krupa, Daniel Limon and Teodoro Alamo</i>	
Diseño de un emulador de aerogenerador de velocidad variable DFIG y control de pitch ...	100
<i>Manuel Lara Ortiz, Juan Garrido Jurado and Francisco Vázquez Serrano</i>	

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

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

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

ANÁLISIS FORMAL DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS NO LINEALES MEDIANTE REDES NEURONALES.....	376
<i>Eloy Irigoyen, Mikel Larrea, A. Javier Barragán, Miguel Ángel Martínez and José Manuel Andújar</i>	
Predicción de la energía renovable proveniente del oleaje en las islas de Fuerteventura y Lanzarote.	384
<i>G.Nicolás Marichal, Deivis Avila, Ángela Hernández, Isidro Padrón and José Ángel Rodríguez</i>	
Aplicación de Redes Neuronales para la Estimación de la Resistencia al Avance en Buques	393
<i>Daniel Marón Blanco and Matilde Santos</i>	
Novel Fuzzy Torque Vectoring Controller for Electric Vehicles with per-wheel Motors	401
<i>Alberto Parra, Martín Dendaluze, Asier Zubizarreta and Joshué Pérez</i>	
REPOSTAJE EN TIERRA DE UN AVIÓN MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS .	408
<i>Elías Plaza and Matilde Santos</i>	
VISUALIZACIÓN WEB INTERACTIVA PARA EL ANÁLISIS DEL CHATTER EN LAMINACIÓN EN FRÍO.....	416
<i>Daniel Pérez López, Abel Alberto Cuadrado Vega and Ignacio Díaz Blanco</i>	
BANCADA PARA ANÁLISIS INTELIGENTE DE DATOS EN MONITORIZACIÓN DE SALUD ESTRUCTURAL.....	424
<i>Daniel Pérez López, Diego García Pérez, Ignacio Díaz Blanco and Abel Alberto Cuadrado Vega</i>	
CONTROL DE UN VEHÍCULO CUATRIRROTOR BASADO EN REDES NEURONALES.....	431
<i>Jesus Enrique Sierra and Matilde Santos</i>	
CONTROL PREDICTIVO FUZZY CON APLICACIÓN A LA DEPURACIÓN BIOLÓGICA DE FANGOS ACTIVADOS.....	437
<i>Pedro M. Vallejo Llamas and Pastora Vega Cruz</i>	
<hr/> Educación en Automática <hr/>	
REFLEXIONES SOBRE EL VALOR DOCENTE DE UNA COMPETICION DE DRONES EN LA EDUCACIÓN PARA EL CONTROL.....	445
<i>Ignacio Díaz Blanco, Alvaro Escanciano Urigüen, Antonio Robles Alvarez and Hilario López García</i>	
Uso del Haptic Paddle con aprendizaje basado en proyectos	451
<i>Juan M. Gandarias, Antonio José Muñoz-Ramírez and Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel</i>	
REPRESENTACION INTEGRADA DE ACCIONAMIENTOS MECANICOS Y CONTROL DE EJES ORIENTADA A LA COMUNICACIÓN Y DOCENCIA EN MECATRONICA	457
<i>Julio Garrido Campos, David Santos Esterán, Juan Sáez López and José Ignacio Armesto Quiroga</i>	
Construcción y modelado de un prototipo fan & plate para prácticas de control automático	465
<i>Cristina Lampon, Javier Martin, Ramon Costa-Castelló and Muppaneni Lokesh Chowdary</i>	

EDUCACION EN AUTOMATICA E INDUSTRIA 4.0 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS 3D	471
<i>Jose Ramon Llata, Esther Gonzalez-Sarabia, Carlos Torre-Ferrero and Ramon Sancibrian</i>	
Desarrollo e implementación de un sistema de control en una planta piloto hibrida.....	479
<i>Maria P. Marcos, Cesar de Prada and Jose Luis Pitarch</i>	
LA INFORMÁTICA INDUSTRIAL EN LAS INGENIERÍAS INDUSTRIALES	486
<i>Rogelio Mazaeda, Eusebio de La Fuente López, José Luis González, Eduardo J. Moya de La Torre, Miguel Angel García Blanco, Javier García Ruiz, María Jesús de La Fuente Aparicio, Gregorio Sainz Palmero and Smaranda Cristea</i>	
Ventajas docentes de un flotador magnético para la experimentación de técnicas control ..	495
<i>Eduardo Montijano, Carlos Bernal, Carlos Sagües, Antonio Bono and Jesús Sergio Artal</i>	
PROGRAMACIÓN ATRACTIVA DE PLC	502
<i>Eduardo J. Moya de La Torre, F. Javier García Ruíz, Alfonso Poncela Méndez and Victor Barrio Lángara</i>	
MODERNIZACIÓN DE EQUIPO FEEDBACK MS-150 PARA EL APRENDIZAJE ACTIVO EN INGENIERÍA DE CONTROL	510
<i>Perfecto Reguera Acevedo, Miguel Ángel Prada Medrano, Antonio Morán Álvarez, Juan José Fuertes Martínez, Manuel Domínguez González and Serafín Alonso Castro</i>	
INNOVACIÓN PEDAGÓGICA EN LA FORMACIÓN DEL PERFIL PROFESIONAL PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL A TRAVÉS DE UNA APROXIMACIÓN HOLÍSTICA.	517
<i>Juan Carlos Ríos, Zaneta Babel, Daniel Martínez, José María Paredes, Luis Alonso, Pablo Hernández, Alejandro García, David Álvarez, Jorge Miranda, Constantino Manuel Valdés and Jesús Alonso</i>	
Aprendiendo Simulación de Eventos Discretos con JaamSim	522
<i>Enrique Teruel and Rosario Aragüés</i>	
RED NEURONAL AUTORREGRESIVA NO LINEAL CON ENTRADAS EXÓGENAS PARA LA PREDICCIÓN DEL ELECTROENCEFALOGRAMA FETAL...	528
<i>Rosa M Aguilar, Jesús Torres and Carlos Martín</i>	
ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MATERIA EN REACTORES RACEWAYS.....	534
<i>Marta Barceló, Jose Luis Guzman, Francisco Gabriel Acién, Ismael Martín and Jorge Antonio Sánchez</i>	
MODELADO DINÁMICO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE FRÍO VINCULADO A UN CICLO DE REFRIGERACIÓN	539
<i>Guillermo Bejarano Pellicer, José Joaquín Suffo, Manuel Vargas and Manuel G. Ortega</i>	
Predictor Intervalar basado en hiperplano soporte	547
<i>José Manuel Bravo Caro, Manuel Vasallo Vázquez, Emilian Cojocarú and Teodoro Alamo Cantarero</i>	
Dynamic simulation applied to refinery hydrogen networks	555
<i>Anibal Galan Prado, Cesar De Prada, Gloria Gutierrez, Rafael Gonzalez and Daniel Sarabia</i>	

APROXIMACIÓN DE MODELOS ALGEBRAICOS MEDIANTE ALAMO Y ECOSIMPRO	563
<i>Carlos Gómez Palacín, José Luis Pitarch, Gloria Gutiérrez and Cesar De Prada</i>	
A Causal Model to Analyze Aircraft Collision Avoidance Deadlock Scenarios	569
<i>Miquel Àngel Piera Eroles, Julia de Homdedeu, Maria Del Mar Tous, Thimjo Koca and Marko Radanovic</i>	
ONLINE DECISION SUPPORT FOR AN EVAPORATION NETWORK	575
<i>José Luis Pitarch, Marc Kalliski, Carlos Gómez Palacín, Christian Jasch and Cesar De Prada</i>	
Predicción de la irradiancia a partir de datos de satélite mediante deep learning	582
<i>Javier Pérez, Jorge Segarra-Tamarit, Hector Beltran, Carlos Ariño, José Carlos Alfonso Gil, Aleks Attanasio and Emilio Pérez</i>	
MODELO DINÁMICO ORIENTADO AL TRATAMIENTO Y SEGUIMIENTO DE LA LEUCEMIA MIELOIDE CRÓNICA	589
<i>Gabriel Pérez Rodríguez and Fernando Morilla</i>	
Modelado y optimización de la operación de un sistema de bombeo de múltiples depósitos	596
<i>Roberto Sanchis Llopis and Ignacio Peñarrocha</i>	
DEVELOPMENT OF A GREY MODEL FOR A MEDIUM DENSITY FIBREBOARD DRYER IN ECOSIMPRO	604
<i>Pedro Santos, Jose Luis Pitarch and César de Prada</i>	
DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE FALLOS MEDIANTE MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LAS FECHAS DE LIMPIEZA PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS	611
<i>Jorge Segarra-Tamarit, Emilio Pérez, Hector Beltran, Enrique Belenguer and José Luis Gandía</i>	
Modelado de micro-central hidráulica para el diseño de controladores con aplicación en regiones aisladas de Honduras	618
<i>Alejandro Tapia Córdoba, Pablo Millán Gata, Fabio Gómez-Estern Aguilar, Carmelina Ierardi and Álvaro Rodríguez Del Nozal</i>	
FRAMEWORK PARA EL MODELADO DE UN LAGO DE DATOS	626
<i>J.M Torres, R.M. Aguilar, C.A. Martin and S. Diaz</i>	
SIMULADOR CARDIOVASCULAR PARA ENSAYO DE ROBOTS DE NAVEGACION AUTONOMA	633
<i>José Emilio Traver, Juan Francisco Ortega Morán, Ines Tejado, J. Blas Pagador, Fei Sun, Raquel Pérez-Aloe, Blas M. Vinagre and F. Miguel Sánchez Margallo</i>	
PLANIFICACION DE LA PRODUCCION BASADA EN CONTROL PREDICTIVO PARA PLANTAS TERMOSOLARES	641
<i>Manuel Jesús Vasallo Vázquez, José Manuel Bravo Caro, Emilian Cojocarú and Manuel Emilio Gegundez Arias</i>	
Evaluación multicriterio para la optimización de redes de energía	649
<i>Ascensión Zafra Cabeza, Rafael Espinosa, Miguel Àngel Ridao Carlini and Carlos Bordóns Alba</i>	
Percibiendo el entorno en los robots sociales del RoboticsLab	657
<i>Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo Montoya, Àlvaro Castro-Gonzalez, Juan José Gamboa, Marcos Maroto Gómez, Sara Marqués Villaroya, Antonio J. Pérez Vidal and Miguel Àngel Salichs</i>	

DISEÑO DE UNA PRÓTESIS DE MANO ADAPTABLE AL CRECIMIENTO	664
<i>Marta Ayats and Raul Suarez</i>	
COOPERATIVISMO BIOINSPIRADO BASADO EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS HORMIGAS	672
<i>Brayan Bermudez, Kristel Novoa and Miguel Valbuena</i>	
PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN EXOESQUELETO DE MIEMBRO SUPERIOR PARA SOPORTE DE CARGAS	680
<i>Andrea Blanco Ivorra, Jorge Diez Pomares, David Lopez Perez, Francisco Javier Badesa Clemente, Miguel Ignacio Sanchez and Nicolas Garcia Aracil</i>	
Estructura de control en ROS y modos de marcha basados en máquinas de estados de un robot hexápodo	686
<i>Raúl Cebolla Arroyo, Jorge De Leon Rivas and Antonio Barrientos</i>	
USING AN UAV TO GUIDE THE TELEOPERATION OF A MOBILE MANIPULATOR	694
<i>Josep Arnau Claret and Luis Basañez</i>	
Estudio de los patrones de marcha para un robot hexápodo en tareas de búsqueda y rescate	701
<i>Jorge De León Rivas and Antonio Barrientos</i>	
SISTEMA DE INTERACCIÓN VISUAL PARA UN ROBOT SOCIAL	709
<i>Mario Domínguez López, Eduardo Zalama Casanova, Jaime Gómez García-Bermejo and Samuel Marcos Pablos</i>	
Mejora del Comportamiento Proxémico de un Robot Autónomo mediante Motores de Inteligencia Artificial Desarrollados para Plataformas de Videojuegos	717
<i>David Fernández Chaves, Javier Monroy and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	
Micrófonos de contacto: una alternativa para sensado táctil en robots sociales	724
<i>Juan José Gamboa, Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo, Marcos Maroto Gómez and Miguel A. Salichs</i>	
Clasificación de información táctil para la detección de personas	732
<i>Juan M. Gandarias, Jesús M. Gómez-De-Gabriel and Alfonso García-Cerezo</i>	
Planificación para interceptación de objetivos: Integración del Método Fast Marching y Risk-RRT	738
<i>David Alfredo Garzon Ramos, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos</i>	
ESTABILIZACIÓN DE UNA BOLA SOBRE UN PLANO UTILIZANDO UN ROBOT PARALELO 6-RSS	746
<i>Daniel González, Lluís Ros and Federico Thomas</i>	
TELEOPERACIÓN DE INSTRUMENTOS QUIRÚRGICOS ARTICULADOS	754
<i>Ana Gómez Delgado, Carlos Perez-Del-Pulgar, Antonio Reina Terol and Victor Muñoz Martinez</i>	
CONTROL OF A ROBOTIC ARM FOR TRANSPORTING OBJECTS BASED ON NEURO-FUZZY LEARNING VISUAL INFORMATION	760
<i>Juan Hernández Vicén, Santiago Martínez de La Casa Díaz and Carlos Balaguer</i>	
PLATAFORMA BASADA EN LA INTEGRACIÓN DE MATLAB Y ROS PARA LA DOCENCIA DE ROBÓTICA DE SERVICIO	766
<i>Carlos G. Juan, Jose Maria Vicente, Alvaro Garcia and Jose Maria Sabater-Navarro</i>	

Estimadores de fuerza y movimiento para el control de un robot de rehabilitación de extremidad superior.....	772
<i>Aitziber Mancisidor, Asier Zubizarreta, Itziar Cabanes, Pablo Bengoa and Asier Brull</i>	
Definiendo los elementos que constituyen un robot social portable de bajo coste	780
<i>Marcos Maroto Gómez, José Carlos Castillo, Fernando Alonso-Martín, Juan José Gamboa, Sara Marqués Villarroya and Miguel Ángel Salichs</i>	
Interfaces táctiles para Interacción Humano-Robot	787
<i>Sara Marqués Villarroya, Jose Carlos Castillo Montoya, Fernando Alonso Martín, Marcos Maroto Gómez, Juan José Gamboa and Miguel A. Salichs</i>	
HERRAMIENTAS DE ENTRENAMIENTO Y MONITORIZACIÓN PARA EL DESMINADO HUMANITARIO	793
<i>Hector Montes, Roemi Fernandez, Pablo Gonzalez de Santos and Manuel Armada</i>	
Control a Baja Velocidad de una Rueda con Motor de Accionamiento Directo mediante Ingeniería Basada en Modelos	799
<i>Antonio José Muñoz-Ramírez, Jesús Manuel Luque-Bedmar, Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel, Anthony Mandow, Javier Serón and Alfonso Garcia-Cerezo</i>	
SIMULACIÓN DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS USANDO V-REP BAJO ROS	806
<i>Cándido Otero Moreira, Enrique Paz Domonte, Rafael Sanz Dominguez, Joaquín López Fernández, Rafael Barea, Eduardo Romera, Eduardo Molinos, Roberto Arroyo, Luís Miguel Bergasa and Elena López</i>	
Cinemática y prototipado de un manipulador paralelo con centro de rotación remoto para robótica quirúrgica.....	814
<i>Francisco Pastor, Juan M. Gandarias and Jesús M. Gómez-De-Gabriel</i>	
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE SINGULARIDADES AISLADAS EN ROBOTS PARALELOS MEDIANTE DESARROLLOS DE TAYLOR DE SEGUNDO ORDEN.....	821
<i>Adrián Peidro Vidal, Óscar Reinoso, Arturo Gil, José María Marín and Luis Payá</i>	
INTERFAZ DE CONTROL PARA UN ROBOT MANIPULADOR MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL	829
<i>Elena Peña-Tapia, Juan Jesús Roldán, Mario Garzón, Andrés Martín-Barrio and Antonio Barrientos</i>	
Evolución de la robótica social y nuevas tendencias.....	836
<i>Antonio J. Pérez Vidal, Alvaro Castro-Gonzalez, Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo Montoya and Miguel A. Salichs</i>	
DISEÑO MECÁNICO DE UN ASISTENTE ROBÓTICO CAMARÓGRAFO CON APRENDIZAJE COGNITIVO	844
<i>Irene Rivas-Blanco, M Carmen López-Casado, Carlos Pérez-Del-Pulgar, Francisco García-Vacas, Víctor Fernando Muñoz, Enrique Bauzano and Juan Carlos Fraile</i>	
CÁLCULO DE FUERZAS DE CONTACTO PARA PRENSIONES BIMANUALES.....	852
<i>Francisco Abiud Rojas-De-Silva and Raul Suarez</i>	
Modelado del Contexto Geométrico para el Reconocimiento de Objetos.....	860
<i>José Raúl Ruiz Sarmiento, Cipriano Galindo and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	
Estimación Probabilística de Áreas de Emisión de Gases con un Robot Móvil Mediante la Integración Temporal de Observaciones de Gas y Viento	868
<i>Carlos Sanchez-Garrido, Javier Monroy and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	

MANIPULADOR AÉREO CON BRAZOS ANTROPOMÓRFICOS DE ARTICULACIONES FLEXIBLES	876
<i>Alejandro Suarez, Guillermo Heredia and Anibal Ollero</i>	
EVALUACIÓN DE UN ENTORNO DE TELEOPERACIÓN CON ROS	864
<i>David Vargas Frutos, Juan Carlos Ramos Martínez, José Luis Samper Escudero, Miguel Ángel Sánchez-Urán González and Manuel Ferre Pérez</i>	

Sistemas de Tiempo Real

GENERACIÓN DE CÓDIGO IEC 61131-3 A PARTIR DE DISEÑOS EN GRAFCET....	892
<i>María Luz Alvarez Gutierrez, Isabel Sarachaga Gonzalez, Arantzazu Burgos Fernandez, Nagore Iriondo Urbistazu and Marga Marcos Muñoz</i>	
CONTROL EN TIEMPO REAL Y SUPERVISIÓN DE PROCESOS MEDIANTE SERVIDORES OPC-UA	900
<i>Francisco Blanes Noguera and Andrés Benlloch Faus</i>	
Control de la Ejecución en Sistemas de Criticidad Mixta	906
<i>Alfons Crespo, Patricia Balbastre, Jose Simo and Javier Coronel</i>	
GENERACIÓN AUTOMÁTICA DEL PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN TIA PORTAL PARA MÁQUINAS MODULARES	913
<i>Darío Orive, Aintzane Armentia, Eneko Fernandez and Marga Marcos</i>	
DDS en el desarrollo de sistemas distribuidos heterogéneos con soporte para criticidad mixta	921
<i>Hector Perez and J. Javier Gutiérrez</i>	
ARQUITECTURA DISTRIBUIDA PARA EL CONTROL AUTÓNOMO DE DRONES EN INTERIOR	929
<i>Jose-Luis Poza-Luján, Juan-Luis Posadas-Yaguë, Giovanni-Javier Tipantuña-Topanta, Francisco Abad and Ramón Mollá</i>	
Ingeniería Conducida por Modelos en Sistemas de Automatización Flexibles	935
<i>Rafael Priego, Elisabet Estévez, Darío Orive, Isabel Sarachaga and Marga Marcos</i>	
Estudio e implementación de Middleware para aplicaciones de control distribuido	942
<i>Jose Simo, Jose-Luis Poza-Lujan, Juan-Luis Posadas-Yaguë and Francisco Blanes</i>	

Visión por Computador

Real-Time Image Mosaicking for Mapping and Exploration Purposes	948
<i>Abdulla Al-Kaff, Juan Camilo Soto Triviño, Raúl Sosa San Frutos, Arturo de La Escalera and José María Armingol Moreno</i>	
ALGORITMO DE SLAM UTILIZANDO APARIENCIA GLOBAL DE IMÁGENES OMNIDIRECCIONALES	956
<i>Yerai Berenguer, Luis Payá, Mónica Ballesta, Luis Miguel Jiménez, Sergio Cebollada and Oscar Reinoso</i>	
Medición de Oximetría de Pulso mediante Imagen fotopletismográfica.....	964
<i>Juan-Carlos Cobos-Torres, Jordan Ortega Rodríguez, Pablo J. Alhama Blanco and Mohamed Abderrahim</i>	
Algoritmo de captura de movimiento basado en visión por computador para la teleoperación de robots humanoides	970
<i>Juan Miguel Garcia Haro and Santiago Martinez de La Casa</i>	

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DETECCIÓN DE ROSTROS EN IMÁGENES DIGITALES	976
<i>Natalia García Del Prado, Victor Gonzalez Castro, Enrique Alegre and Eduardo Fidalgo Fernández</i>	
LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE FUGA PARA SISTEMA DE DETECCIÓN DE LÍNEAS DE CARRIL	983
<i>Manuel Ibarra-Arenado, Tardi Tjahjadi, Sandra Robla-Gómez and Juan Pérez-Oria</i>	
Oculus-Crawl, a Software Tool for Building Datasets for Computer Vision Tasks	991
<i>Iván De Paz Centeno, Eduardo Fidalgo Fernández, Enrique Alegre Gutiérrez and Wesam Al Nabki</i>	
Clasificación automática de obstáculos empleando escáner láser y visión por computador ..	999
<i>Aurelio Ponz, Fernando Garcia, David Martin, Arturo de La Escalera and Jose Maria Armingol</i>	
T-SCAN: OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS CON COLOR Y TEMPERATURA EN INTERIOR DE EDIFICIOS	1007
<i>Tomás Prado, Blanca Quintana, Samuel A. Prieto and Antonio Adan</i>	
EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA REALIZAR RESÚMENES AUTOMÁTICOS DE VÍDEOS	1015
<i>Pablo Rubio, Eduardo Fidalgo, Enrique Alegre and Víctor González</i>	
SIMULADOR PARA LA CREACIÓN DE MUNDOS VIRTUALES PARA LA ASISTENCIA A PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA EN SILLA DE RUEDAS .	1023
<i>Carlos Sánchez Sánchez, María Cidoncha Jiménez, Emiliano Pérez, Ines Tejado and Blas M. Vinagre</i>	
Calibración Extrínseca de un Conjunto de Cámaras RGB-D sobre un Robot Móvil	1031
<i>David Zúñiga-Nöel, Rubén Gómez Ojeda, Francisco-Ángel Moreno and Javier González Jiménez</i>	

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

Julio Garrido Campos

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. E.I. Industriales, Campus Lagoas Marcosende, 36200, Universidad de Vigo, jgarri@uvigo.es

David Santos Esterán, Juan Sáez López, José Ignacio Armesto Quiroga

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. E.I. Industriales, Campus Lagoas Marcosende, 36200, Universidad de Vigo, marin@uvigo.es, juansaez@uvigo.es, armesto@uvigo.es

Resumen

La aproximación “mecatrónica” al diseño y realización de máquinas hace un uso extensivo de tecnologías electrónicas para el control y coordinación de ejes mecánicos permitiendo que el control realice funcionalidades que antes eran hechas únicamente por los elementos mecánicos. Sin embargo, los métodos existentes para representar estas dos vistas tecnológicas (mecánica y electrónica/lógica) se han ignorado mutuamente, paralelamente a lo que sucedía con los perfiles docentes y profesionales correspondientes: mecánico y automático. Esto, desde el punto de vista docente, complica por ejemplo la descripción pedagógica de sistemas mecánicos servoaccionados con todos los requerimientos propios de una solución mecatrónica conjunta. Este artículo desarrolla un nuevo modelo de representación de diseños mecatrónicos que integre efectivamente ambas vistas tecnológicas. El uso de esta metodología facilitará la comunicación entre diseñadores mecánicos y diseñadores de control, así como la introducción de restricciones mecánicas en docencia de control y viceversa.

Palabras Clave: Mecatrónica, Modelado, Docencia en ingeniería.

1 INTRODUCCION

La creación de máquinas es un proceso que conjuga de conocimientos de diferentes áreas. En algunos casos, como las máquinas con servoejes, la interacción e interdependencia entre la mecánica y control puede ser muy elevada. La posibilidad de definir en tiempo de funcionamiento, relaciones cinemáticas temporales entre ejes, así como el uso de ejes virtuales asociados a ejes reales y levas electrónicas entre otras técnicas, simplifica el diseño mecánico a costa de aumentar el del control. Distribuyendo así la complejidad de la aplicación en dos campos que deben estar perfectamente integrados

para obtener una solución óptima difícil de alcanzar con un enfoque monodisciplinar.

Consecuencia de una mayor integración es la posibilidad de simplificar y reducir las transmisiones mecánicas, obteniendo como resultado sistemas más eficientes energéticamente y aumentado aún más dicha flexibilidad. La documentación e intercambio de información de un problema multidisciplinar con una solución multidisciplinar requiere de un sistema de representación común que sirva como base.

La ingeniería gráfica dispone de diferentes técnicas de representación muy adecuadas para cada campo. Pero actualmente, cada disciplina tiene los suyos propios. Todos ellos evolucionaron de forma prácticamente independiente del resto, con objetivos y resultados diferentes por ello no se tienen en consideración los unos a los otros. Por ejemplo, el dibujo técnico de planos mecánicos tiene como finalidad la fabricación, montaje y ensamblaje de sistemas mecánicos, no tiene previsto métodos para representar su relación con el sistema de control. Por ejemplo, se puede dibujar el servomotor y eje que acciona, pero sigue faltando mucha información, como a que posiciones se va a mover, a que velocidades, etc. Por otro lado, los lenguajes de programación, se emplean para abstraer de las complejidades del código máquina o ensamblador. Y salvo comentarios de texto en el código fuente tampoco tienen métodos para representar su relación con el sistema mecánico que controlan. Por ejemplo, un servoeje, no es más que otra variable pero a diferencia de otras, cambios en su valor implica un movimiento de un objeto físico.

Así pues, se presentan dos opciones, modificar estándares existentes o crear uno nuevo. En este artículo se estudia la segunda opción. Este nuevo sistema de representación se podría ver como una combinación de los principales sistemas de representación empleados en el diseño de maquinaria. Pero presentando únicamente aquellas informaciones comunes y relevantes para todas las

partes, obviando lo que se considerarían detalles para el resto.

La dificultad reside en seleccionar ese conjunto de información común relevante y descartar el resto y combinar normas como son la ISO128 [1], ISO3952 [2], PLC-Open for Motion Control [3] en una metodología que presente la información de forma conjunta y fácilmente interpretable para especialista de las diferentes áreas implicadas. Este artículo desarrolla un nuevo modelo de representación de diseños mecatrónicos teniendo en cuenta estas consideraciones: MMCS (*Mechanical and Motion control Schematics*).

No se pretende en este artículo hacer una propuesta formal ni al detalle de una nueva norma pero si proponer una serie de fundamentos metodológicos.

2 TECNICAS DE DISEÑO GRAFICO EMPLEADAS EN EL DISEÑO MECANICO DE EJES CONTROLADOS.

Pala la revisión de las diferentes normas utilizadas en la ingeniería gráfica, desde el campo mecánico y de control, se han agrupado estas normas en tres apartados que se desarrollan a continuación, Dibujo Técnico, Lenguajes de Programación y Otras normas de interés.

2.1 DIBUJO TECNICO

Este apartado engloba los diferentes sistemas de representación gráfica empleados en arquitectura, topografía, electricidad y otras muchas ramas de la ingeniería incluyendo la mecánica. Cuenta con numerosas normas y estándares que regulan diferentes aspectos. Por ejemplo la parte 20 de la ISO128 [1] detalla convenios generales para las líneas, la ISO 5455 [4], las escalas, la ISO 6433 [5] referencias de los elementos, etc. Su uso es amplio, aceptado y presente en la literatura y documentación científica y técnica.

Los dibujos se suelen clasificar en croquis o planos. Se emplean proyecciones o vistas de los objetos haciendo uso de escalas. Mediante el uso de cotas y otros símbolos se añade más información.

2.1.1 Planos mecánicos.

A su vez existen diferentes tipos de planos. Por ejemplo, en el caso de la ingeniería mecánica, si se trata de un plano para la fabricación de una pieza se incluirán además tolerancias de fabricación, acabados, materiales, etc. Los servoaccionamientos,

en cualquiera de sus variedades, husillo, correa, piñon-cremellera, rotativo, etc. pueden aparecer en cualquiera de estos tipos planos. Estos pueden detallar componentes individuales como guías, rodamientos, carro, servomotor, etc. o pueden aparecer como un conjunto dentro de una envolvente al estilo de los módulos lineales.

Los detalles concretos de esos componentes, fundamentales para el diseño mecánico, no lo son sin embargo para el control. Además, este tipo de planos son representación con una orientación demasiado estática, no se identifican claramente los elementos móviles. Tampoco se especifican los sistemas de referencia ni las cotas empleadas para la descripción de los de movimiento a realizar. Por ejemplo, el acoplamiento de una parte móvil con aquellas a las que traslada se tiene que deducir de la interpretación de la construcción y ensamblaje de las propias piezas. Esto entraña cierta dificultad en caso de no estar familiarizados con estos tipos de planos o si la máquina es compleja.

Además, los planos mecánicos se limitan a la especificación de condiciones geométricas, pero no establecen condiciones cinemáticas o dinámicas. Los elementos eléctricos como finales de carrera o sensores de *homing* se pueden representar en su versión mecánica pero sin especificar su función o identificación según normas eléctricas.

En la Figura 1 se puede ver un plano mecánico de un módulo lineal de correa comercial [6]. Para el sistema de control la información relevante se limita:

- A la carrera efectiva, en este caso la cota L menos el ancho del carro móvil.
- Y el punto concreto del carro móvil o herramienta o útil, respecto del cual se va a medir la posición, que se usará como realimentación para el sistema de control.

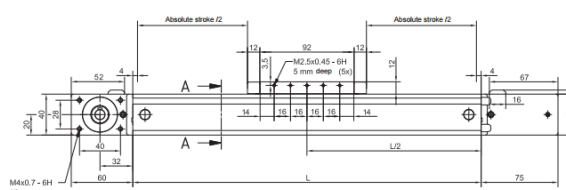


Figura 1 Vista lateral del plano mecánico de un módulo lineal de correa

2.1.2 Esquemas cinemáticos.

En el estándar ISO 3952 [2] define un sistema de símbolos gráficos orientado a la representación simplificada de sólidos rígidos y las relaciones mecánicas entre ellos que definen un mecanismo. Esta norma no tiene en cuenta detalles constructivos

como los que se puede encontrar en planos mecánicos. En la Figura 2 pueden verse ejemplos típicos de esta norma. En la Figura 3 puede observarse los símbolos propuestos por esta norma aplicable al módulo lineal de la Figura 1.

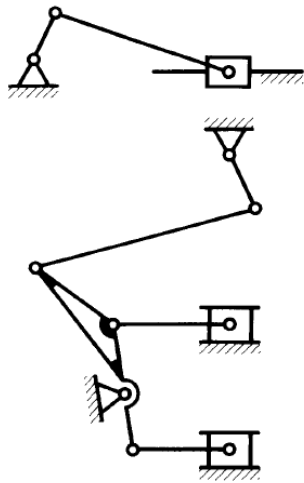


Figura 2 Ejemplos de diagramas cinemáticos según norma ISO 3952

2.1.2	Unión deslizante	Unión de dos miembros que permite el movimiento rectilíneo de un miembro con relación al otro			
-------	------------------	---	--	--	--

Figura 3 Símbolo de la norma ISO3952 para representación de movimientos lineales

Esta simplificación elimina información importante para proceder al diseño detallado y fabricación como son cotas, medidas, acabados, etc. Los sistemas de referencia y coordenadas en esta norma se usan con fines de modelado. En la literatura se pueden encontrar ejemplos donde se combina esta representación simbólica en aplicaciones de servoaccionamientos [7] [8]. También se hace uso de ella para representación esquemática de CNC, como por ejemplo en [9].

Pese a tener una orientación hacia la cinemática y dinámica del sistema, la norma carece de una simbología para incluir vínculos temporales entre partes móviles creada por el sistema de control. Añade detalles innecesarios para el sistema de control, como son los tipos de pares que existen entre los enlaces de los elementos mecánicos. Aunque su uso no está tan extendido como en el caso de los planos mecánicos, se pueden encontrar en la literatura trabajos en donde se hace uso de una representación esquemática de ejes lineales a la que se añaden detalles necesarios para la exposición de las ideas a tratar [10] [11] [12] [13] [14].

2.2 LENGUAJES DE PROGRAMACION PARA CONTROL MULTIEJE: PLC_OPEN FOR MOTION CONTROL

Los ordenes, secuencias de movimientos y relaciones a los servoaccionamientos se describen comúnmente mediante recursos de los lenguajes de programación. Existen múltiples soluciones para implementar y describir el funcionamiento de las máquinas. El estándar más importante es el IEC 61131-3, [3] que propone diferentes lenguajes de programación, Ladder Diagram (LD), Structured Text (ST), Instruction List (IL), Function Block Diagram (FBD) y Sequential Flow Chart (SFC). Su uso está muy extendido y es ampliamente aceptado tanto por usuarios como por fabricantes de equipamiento.

El IEC 61131-3 fue adoptado por PLC-Open [15], que lo amplió especificando, entre otras, un conjunto de librerías de bloques de función para el control de ejes [16] (*Motion Control*). Esta norma define, pero no implementa, un conjunto de FBs (bloques de función) para programar el control de servoaccionamientos. Abarca desde movimientos simples, PTP (punto a punto) hasta complejos movimientos coordinados que crean relaciones virtuales/lógicas entre ejes de formas equivalentes a su realización mecánica, como por ejemplo engranajes, levas mecánicas, etc. Estas relaciones software puede activarse y alterarse durante el funcionamiento de la máquina cambiando el estado lógico de los ejes con efecto en la mecánica.

El comportamiento de los ejes de la máquina resulta de la ejecución de una secuencia de estas instrucciones, ejecutadas por un PLC. En los comentarios del programa se podrían añadir información sobre lo que hace pero si la mecánica es compleja la descripción sería complicada y dada malas interpretaciones sin contar con algún tipo de plano mecánico o similar.

La interpretación de un programa de estas características puede ser muy complicada incluso para especialistas en la materia. Los programas de control de ejes no tienen asociado ningún tipo de representación gráfica explicitando la relación con la vista mecánica, salvo graficas de parámetros fundamentales de los ejes como velocidad y posición. Además, las instrucciones contienen información irrelevante para el sistema mecánico, como son los nombres de las instancias lógicas, variables, tipos de datos, detalles sobre la ejecución, etc. Los programas de control de ejes actuales emplean frecuentemente ejes virtuales. Es decir, ejes lógicos que no tienen asociado ningún servoaccionamiento físico real. También se pueden usar con ejes auxiliares, *encoders* aunque no tengan accionamiento asociado.

2.3 OTRAS NORMAS

Existen otras normas de interés que tienen una relación tangencial con el tema expuesto en este artículo y que se comentan brevemente a continuación, pues de algunas de ellas se utilizan conceptos e ideas.

Es el caso de la norma ISO 841 [17], específica de CNC, describe la metodología para nombrar los diferentes ejes que componen dichas máquinas así como los sentidos y direcciones de dichos ejes. Por ejemplo, un sistema cartesiano de tres ejes perpendiculares es notaria por XYZ. Un segundo sistema UVW. En caso de ejes paralelos se puede usar notación X1, X2, etc. Para ejes rotativos A, C, D perpendiculares a X, Y, Z. Su principal limitación para la representación integrada de mecánica y control se debe a que en este tipo de máquinas las relaciones lógicas entre los ejes están preestablecidas.

Existen otras normas de representación donde aparecen componentes relacionados con los servoaccionamientos, como las normas de planos eléctricos, pero muy orientadas a especificar las conexiones entre los varios componentes que conforman el accionamiento eléctrico.

Otros ejemplos de normas con una relación tangencial serían la ISO 369 [18], consistente en una lista de iconos que pretenden estandarizar la representación de diferentes operaciones en los IHM de los controles de los CNCs; la ISO 2203 [19], signos para engranajes, es otra norma aplicable a elementos típicos de cadenas cinemáticas de servo ejes, como engranajes dentados de reductoras pero tiene un enfoque muy mecánico. De otras normas como la ISO [20] para neumática se podría tomar símbolos como ventosas o pinzas. Incluso información que no esté bajo ninguna norma también puede ser útil para complementar y detallar el funcionamiento como por ejemplos cronogramas o gráficas con las curvas de las levas electrónicas.

2.4 REPRESENTACIONES NO ESTANDARD

El sistema S5 es un robot manipulador para transferir. En general los fabricantes de componentes mecánicos como reductoras, guías, módulos lineales, hacen uso de las normas gráficas. Complementan la información con tablas de características, fotos o vista en tres dimensiones, etc. Este tipo de información también la incluyen los fabricantes de equipamiento electrónico así como su representación simbólica.

Para encontrar alguna representación mecatrónica de los servoaccionamientos hay que buscar en los manuales de usuario de los controladores y las

herramientas de programación con funcionalidad para manejar servoaccionamientos. Aquí hay dos soluciones, las basadas en PLC-Open y las propietarias. Las primeras ya se han comentado, simplemente destacar que en ocasiones se acompañan de representaciones esquemáticas de la mecánica, sin atender a ningún estándar, y de cronogramas [21] [22] [23]. Confirmando de otra forma la necesidad del sistema de representación aquí propuesto. En el segundo grupo hay herramientas de programación gráfica que mezclan los diagramas de estados con órdenes de control ejes acompañadas de unos iconos para hacer más fácil la interpretación [24]. Pero en cualquier caso se limita al ámbito software y no trasciende a la mecánica.

También se pueden encontrar representaciones que no atienden a ninguna norma pero que cumplen su función mediante esquemas simples o representaciones 3D, como por ejemplo [25] [26] [27]

3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA.

En la Tabla 1, a modo de resumen, se presentan indicando las ventajas, limitaciones y el ámbito de uso, de los principales métodos de representación que se pueden emplear en el diseño de máquinas con servoaccionamientos.

Todos los sistemas tienen sus ventajas pero las limitaciones son demasiado importantes requiriendo de una modificación tan sustancial que desvirtuaría el objetivo inicial del sistema de dibujo o lenguaje de programación. Por ello se opta por plantear un nuevo sistema de representación. Aunque reutilizando en la medida de lo posible las normas existentes ya que así se harán más sencillo el trabajo y el intercambio de información aprovechando la familiaridad y experiencia previa con las técnicas y normas conocidas.

3.1 EJE LINEAL

El eje lineal (Figura 4) es uno de los casos más simples. En la Figura 5: Eje lineal de husillo se representa un módulo lineal. Se puede identificar el servomotor, la campana de acoplamiento, el carro móvil y el cuerpo del módulo en cuyo interior se encuentra el husillo, rodamientos y las guías con los patines. En la Figura 1 se presentó un plano mecánico detallado.

Tabla 1. Comparativa sistemas de representación.

Ambato	Información relevante común	Limitaciones	Ventajas
Diagramas cinemáticos	Elementos móviles, relación entre ellos, trayectorias	Visita 2D, cotas. Información excesiva sobre pares mecánicos, tipo de componente , etc.	Sencillez, interpretación visual rápida de elementos móviles y sus relaciones.
Planos mecánicos	Cotas y medidas de desplazamiento elementos móviles. Sistemas de referencia de posición.	Interpretación cinemática confusa debido a exceso de información relativa a cotas, materiales, acabados tanto de elementos fijos como móviles.	Información precisa de cotas y medidas. En concreto de los elementos móviles. Referencias de posición respecto a la máquina real.
CNC	Notación de ejes	Orientado maquinas CNC, diseños y cinemáticas concretos y definidos de antemano	Norma de amplio uso que se puede adoptar parcialmente sin problemas.
Programación	Relación entre ejes, secuencia de movimientos, detalle tipo de movimiento.	Ningún tipo de referencia, salvo opción de comentarios en código a la mecánica. Detalles de la implementación del código sobrantes, como nombres variables, condiciones lógicas, control de otros sistemas de la máquina, etc.	Describe la secuencia de movimientos de la máquina. La relaciones cinemáticas temporales, engranajes electrónicos, levas electrónicas, ejes virtuales, etc. Difícil interpretación para no programadores.

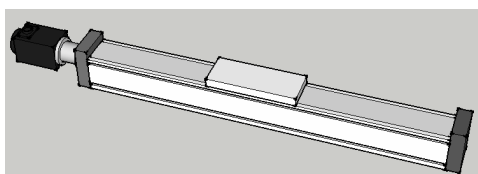


Figura 4: Vista lateral del eje lineal y sus sucesivas simplificaciones

Se propone usar la letra “O” mayúscula, para notar el origen del eje y una flecha con un signo + o -, según convenga para indicar el sentido (Figura 6). Una vez se tiene representado el punto desde el que se va a realizar la medida hay que indicar el segundo punto. Que bien podría ser un extremo del carro móvil, el punto medio, un punto notable de la herramienta que transporta.

Puesto que estos planos deberían ser zona común entre diseño mecánico y programación, las cotas deberían indicarse como variables cuyo nombre pueda ser empleando en el propio código del programa PLC-Open, aplicando para ello las restricciones que la norma aplica a los nombres de las variables. Este es un aspecto importante del modelo

porque de una manera fácil se puede asociar la información del plano con el código del programa automatización.

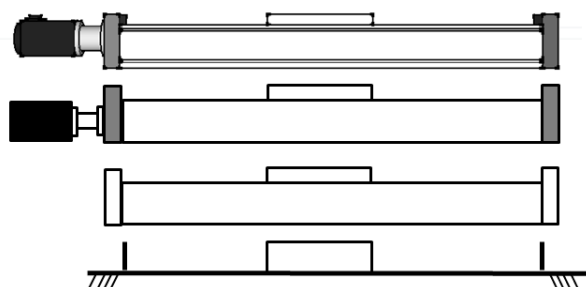


Figura 5: Eje lineal de husillo

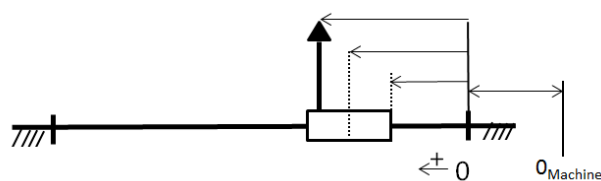


Figura 6: Diferentes puntos sobre los que medir la posición del eje

Se propone por ejemplo, que las distancias usen el prefijo “D” seguido del identificador del punto de origen y el punto de medida. Por ejemplo “D_Omachine_Tool” que sería la distancia entre el “cero máquina” y el punto de aplicación de la herramienta. Estos esquemas mecánicos y control de ejes o MMCS (*Mechanical and Motion control Schematics*) se podrían combinar con el código fuente mediante un simple comentario en el código. Por ejemplo, el siguiente programa, activa un eje, lo referencia a una posición concreta para después ejecutar un movimiento absoluto referido a dicha origen y finalmente un movimiento relativo a la anterior posición. En los comentarios se indica que MMCS se debe consultar para aclarar detalles y casar las órdenes de control con la mecánica.

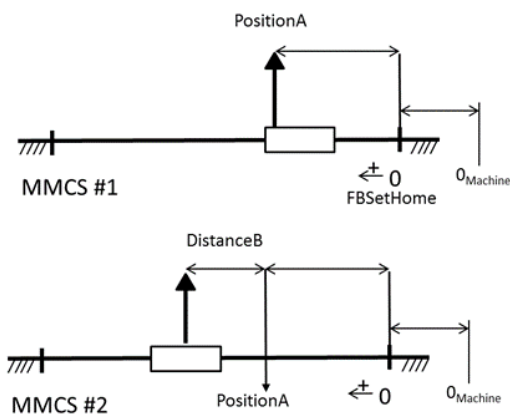


Figura 7: Ejemplo

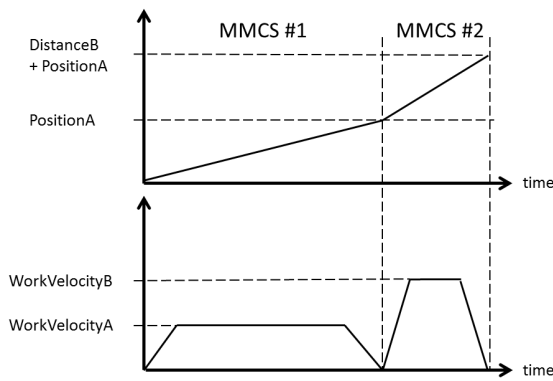


Figura 8: Cronograma ejemplo eje lineal
En la Figura 7 se muestran los MMCS que representan la operación de referenciado y los dos movimientos (Figura 8).

3.2 DOS EJES PARALELOS, EJE VIRTUAL

Otro ejemplo de dos ejes, son las configuraciones en Gantry (Figura 9).

Se trata de dos o más ejes paralelos que se desplazan de forma sincronizada para transportar una estructura solidaria a los carros móviles. Es claro que si la diferencia de posición de ambos carros es excesiva la estructura se torcería y quedaría bloqueada.

Para minimizar la diferencia de posición entre los ejes estos tienen que estar sincronizados. Un eje recibiría las órdenes de movimiento y haciendo de maestro sobre el segundo eje, que sería el esclavo y se moverían sincronamente.

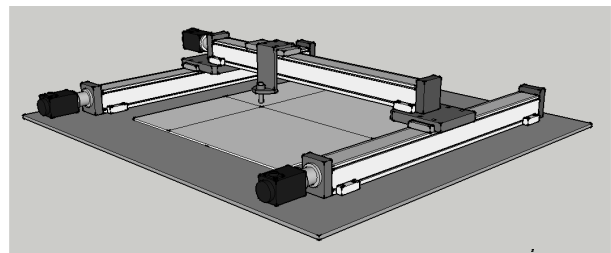


Figura 9: Sistema de ejes con dos ejes paralelos en configuración Gantry.

La relación maestro-esclavo, es una condición cinemática temporal creada por software. El controlador de ejes, lee la posición el eje maestro y la utiliza como posición de destino para el eje esclavo. En el identificador del eje maestro se indicaría con una letra M seguida de los ejes esclavos. Y en el eje esclavo, una S seguida del identificador el eje maestro. Por ejemplo X_MY, es decir, eje X maestro de eje Y. Y a su vez Y_SX (Figura 11).

El tiempo que tarda en leerse la posición del eje maestro y transmitírsela al eje esclavo, produce un retardo que tiene como consecuencia que el esclavo se posicione en una posición en la que el maestro ya no está. Generándose una diferencia entre ambos.

Una posible solución es el uso de ejes virtuales. Los ejes virtuales son ejes lógicos, con un comportamiento teórico e ideal que no tienen asociado accionamiento ni mecánica real.

```

FBPowerAxis( axis:=LinearAxis1, enable:= PowerLinearAxis1);

// Homing mechanics reference details MMCS#1
FBSetHome( axis:= LinearAxis1, execute:= FBPowerAxis.Status AND DoHomeAxis);

// Move absolute axis to point A, (details MMCS#1)
FBMoveToPointA( axis:=LinearAxis1, execute:= (LinearAxis1.Details.Homed AND MoveToA),
                Position:=PositionA, Velocity:= WorkVelocityA);

// Move relative axis a distance B, (details MMCS#2)
FBMoveDist ( axis:=LinearAxis1, execute:= FBMoveToPointA.Done,
            Distance:= DistanceB, Velocity:=WorkVelocityB);

```

Figura 10: Homing y posicionado.

Surge por tanto la necesidad de representar en un plano de naturaleza mecánica un recurso que solo tiene representación lógica dentro del control de ejes. Se propone representarlos de forma similar a los ejes reales, pero con línea discontinua y puesto que no tiene carro móvil asociado un rombo o flecha. Se notaría con prefijo V y seguirían las mismas normas de notación que los ejes reales teniendo en cuenta su posición virtual en la máquina. De esta forma el ejemplo virtual maestro de los dos ejes reales se notaría como VX_MX1_MX2.

El código en ST de PLC-Open que establecería las relaciones entre el eje virtual y los esclavos junto con una orden de movimiento quedaría de la siguiente forma (Figura 12). Aunque un eje solo puede ser esclavo de un único maestro en un momento dado, podría serlo de diferentes maestros en diferentes momentos. En este caso, se podrían indicar en el nombre del eje esclavo los de los maestros, solo los de maestro que mayor tiempo ejerza el control o ninguno. También se puede plantear que si la relación maestro-esclavo tiene una duración temporal escasa respecto al tiempo total, obviar la indicación.

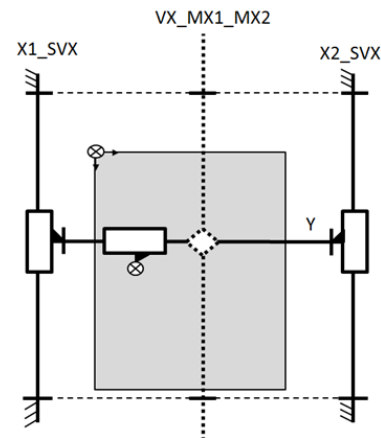


Figura 11: Vista superior del sistema Gantry.

4 SUMARIO Y CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un sistema de representación preliminar para la representación de sistemas básicos de control de ejes: M.MCS (*Mechanical and Motion control Schematics*).

```

FBPowerX1( axis:=X1_SVX, enable:=ActivateAxis); // MC_Power to axis X1
FBPowerX2( axis:=X2_SVX, enable:=ActivateAxis); // MC_Power to axis X2
FBPowerY( axis:=Y, enable:=ActivateAxis); // MC_Power to axis Y

// MC_GearIn, function Blocks for activate Master-Slave control between VX and X1 and X2
// See details MMCS #3
FBGearIN1( master:=VX_MX1_MX2 ,slave:=X1_SVX, execute:=ActivateGearVX_X1_X2,
           RatioNumerator:=1, RatioDenominator:=1, ReferenceType:=_eMC_REFERENCE_TYPE#_mcFeedback);

FBGearIN2( master:=VX_MX1_MX2 ,slave:=X2_SVX, execute:=ActivateGearVX_X1_X2,
           RatioNumerator:=1, RatioDenominator:=1, ReferenceType:=_eMC_REFERENCE_TYPE#_mcFeedback);

// MC_MoveAbsolute, function block to move VX and because of previous MC_GearIn, synchronously X1 and X2
FBMoveVX( axis:=VX_MX1_MX2, execute:= (MoveX1_X2 AND FBGearIN1.InGear AND FBGearIN2.InGear),
          position:= PositionDestinationX, velocity:= WorkVelocityX);

// MC_MoveAbsolute, function block to move Y
FBMoveY( axis:=Y, execute:= MoveY,
         position:= PositionDestinationY, velocity:= WorkVelocityY);

```

Figura 12: Activación de relación maestro esclavo entre un eje virtual y dos reales.

A partir de los elementos básicos del modelo presentados en este artículo, se han definido modelos de representación para otros elementos tanto mecánicos, como eléctricos y de control, como por ejemplo, ejes rotativos, finales de carrera, sensores, campos de visión de cámaras, TCP de robots, representación de ECAM sobre el propio esquema, etc. Estas representaciones de sistemas más complejos no se han presentado en este artículo. Un sistema de representación combinado permitiría el intercambio de información entre diferentes perfiles formativos y profesionales sin tener que conocer las herramientas y normas gráficas de otros. El modelo ha permitido presentar de una forma sencilla y precisa, sistemas mecatrónicos en el ámbito docentes, tanto al alumnado con perfil formativo mecánico como de control y automatización.

La nueva propuesta está siendo empleada para la docencia de "sistemas de control ejes" permitiendo presentaciones simples y claras de sistemas mecatrónicos.

Referencias

- [1] ISO, "128:2003 Technical drawings, parts 1-2x".
- [2] ISO, "3952 Kinematic Diagrams – Graphical symbols, parts 1-4".
- [3] IEC, "61131-3:2013 Programmable controllers - Part 3: Programming languages".
- [4] ISO, "5455:1979 Technical drawings – Scales".
- [5] ISO, "6433:2012 Technical product documentation -- Part references".
- [6] UNIMOTION, "MTJ 65 LINEAR UNIT," p. <http://unimotion.eu/en/index/browseproductscategory/cid/587>.
- [7] F. G. a. W. G. Yongjun Bai, "Design of mechanical presses driven by multi-servomotor," *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2011.
- [8] H. L. a. Y. Zhang, "Seven-bar mechanical press with hybrid-driven mechanism for deep drawing;," *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2010.
- [9] W. G. D. Z. T. H. Wenjie Tian, "A general approach for error modeling of machine tools," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 79, pp. 17-23, 2014.
- [10] J. Yang and Y. Altintas, "Generalized kinematics of five-axis serial machines with non-singular tool path generation," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, pp. 119-132, 2013.
- [11] W. Liping, X. Huayang, G. Liwen and Z. Yu, "A novel 3-PUU parallel mechanism and its kinematic issues," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 2016.
- [12] P. Xu, C.-F. Cheung, B. Li, L.-T. Ho and J.-F. Zhang, "Kinematics analysis of a hybrid manipulator for computer controlled," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 2016.
- [13] J. Zhang, Y. Zhao and Y. Jin, "Kinetostatic-model-based stiffness analysis of Exechon PKM," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 2016.
- [14] Y. Jiang, T.-m. Li and L.-p. Wang, "Dynamic modeling and redundant force optimization of a 2-DOF parallel kinematic machine with kinematic redundancy," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 2014.
- [15] PLC-Open, "<http://www.plcopen.org/index.html>".
- [16] PLC-Open, "TC-2 Motion Control," p. http://www.plcopen.org/pages/tc2_motion_control/index.htm.
- [17] ISO, "841:2001 Industrial automation systems and integration -- Numerical control of machines -- Coordinate system and motion nomenclature".
- [18] ISO, "369 Machine tools -- Symbols for indications appearing on machine tools," 2009.
- [19] ISO, "2203 Technical drawings -- Conventional representation of gears," 1973.
- [20] ISO, "1219 Fluid power systems and components -- Graphical symbols and circuit diagrams".
- [21] OMRON, "NJ/NX-series Motion Control Instructions Reference Manual (W508)," pp. 3-282.
- [22] "Manual PLC Lib: Tc2_MC2 TWINCAT 3," p. 74, 2016.
- [23] ABB, "Flying Shear http://www.baldormotion.com/includes/load_apps.asp?ID=AN00122".
- [24] SIEMENS, "SIMOTION SCOUT Configuration Manual," p. 37.
- [25] Z. W. & P. G. Maropolous, "Real-time error compensation of a three-axis machine tool," *Int J Adv Manuf Technol*, 2013.
- [26] R. Halicioglu, L. C. Dulger and A. T. Bozdana, "Modeling, design, and implementation of a servo press for metal-forming application," *Int J Adv Manuf Technol*, 2016.
- [27] J. E. T. & R. F. D. &, "Rapid prototyping of fuzzy controller pneumatic," *Int J Adv Manuf Technol*, 2007.
- [28] J.-S. Mo, Z.-C. Qiu, J.-Y. Wei and X.-M. Zhang, "Adaptive positioning control of an ultrasonic linear motor system," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 2016.
- [29] Z. T. W. C. Z. Y. B. H. C. Y. Li E., "Type Synthesis and Analysis of Two-Axis Swaying Platform with Virtual Rotation Axis," *Advances in Reconfigurable Mechanisms and Robots II*, pp. pp 455-469, 2015.