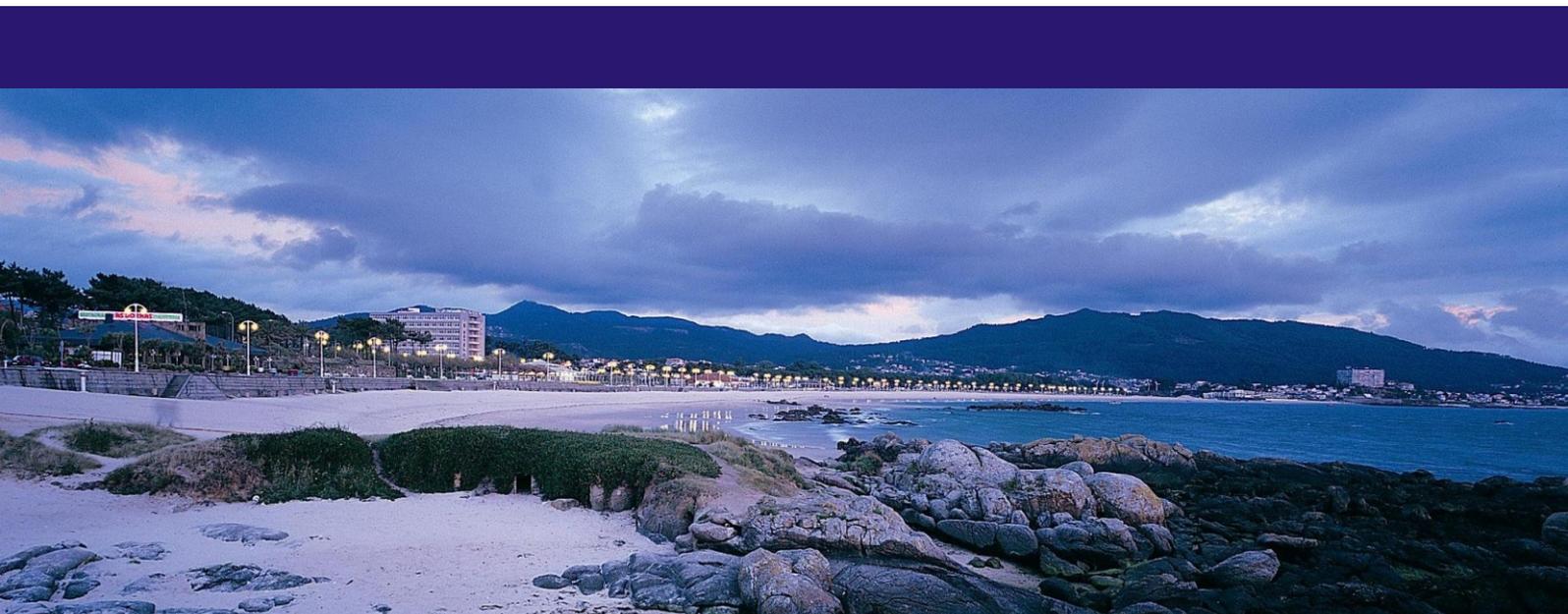




# XXXIII Jornadas de Automática

Vigo, 5 al 7 de Septiembre de 2012





Actas de las  
XXXIII Jornadas de Automática

Vigo, 5 al 7 de Septiembre de 2012



Organizan:

Universida deVigo



**CEA**  
comité  
español de  
automática

Editado por:

Matías García Rivera

Rafael Sanz Domínguez

ISBN: 978-84-8158-583-4

# Comités Organizador y Científico

## Comité Organizador

- Rafael Sanz Domínguez, Universidad de Vigo, Presidente
- Armesto Quiroga, José Ignacio
- Barreiro Blas, Antonio
- Berea Cruz, Juan Manuel
- Camaño Portela, José Luis
- Delgado Romero, Emma
- Díaz-Cacho Medina, Miguel Ramón
- Pérez Losada, Diego
- Espada Seoane, Ángel
- García Rivera, Matías
- Garrido Campos, Julio
- López Fernández, Joaquín
- Marín Martín, Ricardo
- Moares Crespo, José María
- Paz Domonte, Enrique
- Rodríguez Diéguez, Amador
- Rodríguez Monzo, Miguel
- Saéz López, Juan
- Sotelo Martínez, José Manuel
- Vázquez Núñez, Fernando

## Comité Científico

- César de la Prada (UVA), Presidente CEA
- Joseba Quevedo Casín (UPC), Vicepresidente CEA
- Miguel Ángel Mañanas Villanueva (UPC), Secretario CEA
- Pere Ridao Rodríguez (UdG), Automar
- Ramón Ceres Ruiz (CSIC-IAI), Bioingeniería
- José Manuel Andujar Márquez (UHU), Control Inteligente
- Óscar Reinoso García (UMH), Educación en Automática
- Francesc Xavier Blasco Ferragud (UPV), Ingeniería de Control
- Miguel Ángel Piera Eroles (UAB), Modelado y Simulación de Sistemas Dinámicos
- Alfonso García Cerezo (UMA), Robótica
- Alejandro Alonso Muñoz (UPM), Sistemas de Tiempo Real
- José María Martínez Montiel (UNIZAR), Visión por Computador

# Contenido

<b>Presentación</b>	<b>iii</b>
<b>Comités Organizador y Científico</b>	<b>v</b>
<b>Contenido</b>	<b>vii</b>
<b>Automar</b>	<b>1</b>
<i>ORGANIZACIONES HOLÓNICAS MULTIAGENTE PARA RESOLVER MISIONES MEDIANTE ROBOTS MÓVILES;</i> A. Soriano, L. Marín, J. Gómez-Moreno, A. Valera, M. Vallés, A. Giret . . .	3
<i>CONTROL DE PROFUNDIDAD DE CUERPOS SUMERGIDOS BASADO EN CAMBIOS DE VOLUMEN;</i> J. A. Somolinos, A. López, L. R. Núñez, M. Espín, D. Díaz . . . . .	13
<i>Proyecto RAUVI: Historia y Resultados;</i> J. J. Fernández, J. C. García, M. Prats, P. J. Sanz, D. Ribas, P. Ridao, S. Wirth, G. Oliver . . . . .	21
<i>DIAGNOSTICO POR TRANSFORMADA WAVELET DE VIBRACIONES MECÁNICAS EN APLICACIONES MARINAS;</i> Alberto De Miguel Catoira, Javier Romero Gómez, Rebeca Bouzón Otero, Manuel Romero Gómez . . . . .	29
<i>PLANEADOR AUTÓNOMO SUBMARINO;</i> J. Barreiro, H. Pardo, E. García . . . . .	39
<b>Bioingeniería</b>	<b>45</b>
<i>INTERFAZ MULTIMODAL BASADA EN LA COMBINACIÓN DE INFORMACIÓN OCULAR, CEREBRAL Y HÁPTICA PARA EL CONTROL DE UN BRAZO ROBOT;</i> Andrés Úbeda, Eduardo Iáñez, José M. Azorín, José M. Sabater, Carlos Pérez, Nicolás M. García . . . . .	47
<i>CLASIFICADOR DE POTENCIALES DE ERROR ORIENTADO A LA DETECCIÓN DE LA INTENCIÓN DE MOVIMIENTO;</i> Joaquín López, Andrés Úbeda, Eduardo Iáñez, José M. Azorín, Francisco J. Gimeno, José M. Climent . . . . .	53
<i>MobiDerm: UNA APLICACIÓN PARA MÓVILES PARA EL SEGUIMIENTO DE LA EVOLUCIÓN DE LUNARES Y OTRAS ALTERACIONES DERMATOLÓGICAS;</i> José F. Sigut Saavedra, Silvia Alayón Miranda, Monika D. Jarysz Chodowiecki, Adrián Brito Pacheco, José L. Sánchez de la Rosa, Francisco J. Fumero Batista, Vanesa Muñoz Cruz, Lorenzo Moreno . . . . .	59

<i>CARACTERIZACIÓN DE LOS PATRONES DE MOVIMIENTO Y POSTURA ALTERADOS DE PERSONAS CON PARÁLISIS CEREBRAL DISCINÉTICA MEDIANTE UNA INTERFAZ INERCIAL PERSONA-COMPUTADOR;</i>	
R. Raya, E. Rocon, A. Clemotte, R. Ceres . . . . .	67
<i>SISTEMA ROBÓTICO PARA TÉCNICAS DE CIRUGÍA DE PUERTO ÚNICO;</i>	
I. Rivas-Blanco, P. del Saz-Orozco, I. García-Morales, V.F. Muñoz . . . . .	73
<i>Puesta en marcha de un fotobiorreactor industrial;</i>	
C. Rodríguez, I. Fernández, J. L. Guzmán, M. Berenguel, F.G. Ación . . . . .	81
<i>DISEÑO DE UN CIRCUITO DE EMG Y APLICACIÓN EN EL CONTROL DE UNA MANO ROBÓTICA IMPRIMIBLE;</i>	
Álvaro Villoslada, Alejandro Escalante, Mohamed Abderrahim . . . . .	89
<i>Estudio de la función sensoriomotora mediante el dispositivo robótico PUPArm;</i>	
Ana Llinares, Francisco J. Badesa, Ricardo Morales, Nicolás García-Aracil, J. M. Sabater, Carlos Pérez-Vidal, José María Azoín . . . . .	97
<i>Diseño de una órtesis motorizada de tobillo para rehabilitación de ictus con un enfoque TOP-DOWN;</i>	
Guillermo Asín Prieto, Iván Collantes Vallar, Juan C. Moreno Sastoque, José Luis Pons Rovira . . . . .	105
<i>INTEGRACIÓN DE UNA PLATAFORMA HÍBRIDA PARA REHABILITACIÓN Y COMPENSACIÓN FUNCIONAL DE LA MARCHA;</i>	
M. Bortole, J. L. Pons, E. Urendes . . . . .	113
<i>Un modelo de controlador FES basado en sinergias musculares para la rehabilitación del equilibrio con exoesqueletos híbridos;</i>	
S. Piazza, D. Torricelli, F. Brunetti, A. J. del-Ama, A. Gil-Agudo, J. L. Pons . . . . .	119
<i>ACTUADORES MULTIMODALES PARA COMPENSACIÓN DE LA MARCHA DE PERSONAS CON PATOLOGÍA NEUROLÓGICA;</i>	
Antonio J. del-Ama, Magdo Bortole, Andrés Garza-Cervantes, Juan C. Moreno, Ángel Gil-Agudo, José L. Pons . . . . .	125
<i>ANÁLISIS DEL CONTROL CINEMÁTICO DE UN ROBOT ENDOSCÓPICO MODULAR HIPER-REDUNDANTE CON ACCIONAMIENTO ELECTROMAGNÉTICO;</i>	
José L. González, Alberto Herreros, Juan C. Fraile, Javier P. Turiel, David de la Fuente, Rubén Alonso, Fernando Gayubo . . . . .	133
<i>A platform for studying muscle selectivity in sFES;</i>	
Aikaterini D. Koutsou, Juan A. Gallego, José L. Pons, Eduardo Rocon . . . . .	141
<i>INFLUENCIA DE LA DESCARGA PARCIAL DE PESO EN LA LATERALIDAD DE LA MARCHA HUMANA;</i>	
E. Urendes, M. Bortole, J. L. Pons, R. Ceres . . . . .	149
<i>ANÁLISIS DE DATOS BIOMECÁNICOS PARA DETERMINAR EL GRADO DE PARTICIPACIÓN DEL PACIENTE DURANTE REHABILITACIÓN DE LA MARCHA ASISTIDA POR ROBOT;</i>	
I. Collantes, G. Asín, J. C. Moreno, J. L. Pons . . . . .	155

<i>CUANTIFICACIÓN DEL ERROR INSTRUMENTAL EN EL ANÁLISIS CINÉMÁTICO CON SENSORES INERCIALES (MEMS);</i>	
Stefan G. Lambrecht, José Luis Pons . . . . .	161
<i>MODELAMIENTO DE LA MARCHA HEMIPLÉJICA;</i>	
Lely Luengas, Giovanni Sánchez, Esperanza Camargo . . . . .	165
<b>Control Inteligente</b>	<b>171</b>
<i>DISEÑO DE VIVIENDAS BIOSOLARES CON DOMÓTICA;</i>	
M. H. Alanbari, Jorge Verdú . . . . .	173
<i>REDUCCIÓN DE LAS VIBRACIONES DE UN SISTEMA DE VISIÓN A BORDO DE UN HELICÓPTERO MEDIANTE UN CONTROLADOR INTELIGENTE;</i>	
G. Nicolás Marichal Plasencia, María Tomás Rodríguez, Pascual Campoy, Ángela Hernández López, Salvador Castillo Rivera . . . . .	179
<i>Control óptimo en tiempo real de procesos térmicos en la industria alimentaria;</i>	
A. Arias-Mendez, A. A. Alonso, E. Balsa-Canto, N. Molina, C. Vilas . . . . .	187
<i>DYNAMIC MODELLING OF HUMANOID ROBOTS USING SPATIAL ALGEBRA;</i>	
M. González-Fierro, D. Hernández García, P. Pierro, C. Balaguer . . . . .	195
<i>Canales de Comunicación para Sistemas IEC61499 Basados en Componentes;</i>	
Federico Pérez, Elisabet Estévez, Fabian López, Dario Orive, Marga Marcos . . . . .	203
<b>Educación en Automática</b>	<b>213</b>
<i>CONTROL AUTOMÁTICO CON HERRAMIENTAS INTERACTIVAS;</i>	
José Luis Guzmán, Ramon Costa-Castelló, Manuel Berenguel, Sebastián Dormido . . . . .	215
<i>Automatización de instrumentos musicales: un proyecto integral de ingeniería industrial;</i>	
Joan Vallvé Navarro, Ramon Costa Castelló . . . . .	223
<i>La USBLab y el Laboratorio remoto EJS+TwinCAT: dos herramientas de la UCM para el control de dispositivos reales;</i>	
Eva Besada-Portas, Jose A. Lopez-Orozco, Santiago Cifuentes, Jesus M. de la Cruz . . . . .	231
<i>Una nueva librería para la docencia de robótica;</i>	
Arturo Gil, Óscar Reinoso, Miguel Juliá, David Úbeda, Lorenzo Fernández . . . . .	239
<i>INICIO DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL CÁLCULO. DEL ÁBACO AL ORDENADOR;</i>	
Juan Aurelio Montero Sousa, José Luis Casteleiro-Roca, José Luis Calvo-Rolle, Héctor Quintian-Pardo . . . . .	247
<i>INTRODUCCIÓN HISTÓRICA A LA AUTOMÁTICA. PRIMERA LECCIÓN DE FUNDAMENTOS DE AUTOMÁTICA;</i>	
Juan Aurelio Montero Sousa, José Luis Casteleiro-Roca, José Luis Calvo-Rolle, Héctor Quintian-Pardo . . . . .	253

<i>EXPOSICIÓN PARA ALUMNOS DE BACHILLER DE UNA PLANTA DE LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO;</i>	
José Luis Casteleiro-Roca, José Luis Calvo-Rolle, Héctor Quintian-Pardo, Manuel Romero Gómez . . . . .	259
<i>PLATAFORMA DIDÁCTICA PARA LA EVALUACIÓN DE SENSORES TÁCTILES CAPACITIVOS;</i>	
José Ignacio Suárez, Jesús Lozano, Javier Vázquez . . . . .	265
<i>Evaluación de la contribución del aprendizaje basado en proyectos a la adquisición de competencias en estudiantes de Ingeniería en Automática y Electrónica Industrial;</i>	
Jesús M. Gómez de Gabriel, J. Jesús Fernández Lozano, Alfonso J. García Cerezo . . . . .	273
<i>DISEÑO Y CONTROL DE SISTEMA TÉRMICO A ESCALA DE LABORATORIO;</i>	
Javier Rico Azagra, Gabriel Sierra Somovilla, Gabriel Tobias García, Montserrat Gil Martínez . . . . .	281
<i>CONTROL OPTIMIZADO DE NIVEL SOBRE UN SISTEMA DE TANQUES COMUNICANTES DE FLUIDOS;</i>	
Eduardo J. Moya de la Torre, Fco. Javier García Ruiz, Alberto de Domingo de la Rubia, Daniel San José Rodríguez . . . . .	289
<i>"MeiA.": UN ENFOQUE METODOLÓGICO PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DE SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN;</i>	
A. Burgos, M. L. Alvarez, I. Sarachaga, E. Estévez, M. Marcos . . . . .	297
<i>PROPUESTA DE MAQUETA DE BAJO COSTE PARA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE REGULACIÓN AUTOMÁTICA;</i>	
Ángela Baldán Martín, Juan Pazos Serrano . . . . .	305
<i>Robot autobalanceante como proyecto didáctico colaborativo en Iberoamérica y como trabajo integrador de conocimiento;</i>	
R. Lebrón, A. Umeyama, F. Brunetti, J. C. Moreno, J. L. Pons . . . . .	313
<i>Tecnología para dotar a los Laboratorios Virtuales y Remotos de funcionalidades de Evaluación Automática;</i>	
G. Farias, F. Gomez-Estern, L. De la Torre, D. Muñoz de la Peña, C. Sánchez, S. Dormido . . . . .	319
<i>ENTORNO DIDACTICO REALISTA DE INTEGRACIÓN DE SISTEMAS DE FABRICACION SOBRE UN PROTOTIPO DE PLANTA INDUSTRIAL;</i>	
Julio Garrido Campos, Ricardo Marín Martín, Juan Sáez López, José Ignacio Armesto Quiroga . . . . .	327
<b>Ingeniería de Control</b>	<b>335</b>
<i>ARQUITECTURA PLC-OPC-MATLAB PARA CONTROL BORROSO EN TIEMPO REAL DE ELECTROLIZADOR EN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-SOLAR;</i>	
Isaías González Pérez, Antonio José Calderón Godoy, Manuel Calderón Godoy, Antonio Ramiro González . . . . .	339
<i>CONTROL EN RED BASADO EN EVENTOS DE MÚLTIPLES PLANTAS REMOTAS;</i>	
María Guinaldo, José Sánchez, Sebastián Dormido, Manlio A. Delgado . . .	347

<i>CALIBRACIÓN AUTOMÁTICA DE BARRAS DE CONTROL EN UN REACTOR NUCLEAR UTILIZANDO LA INSERCIÓN EXPONENCIAL DE REACTIVIDAD;</i>	
José Luis Fernandez Marrón Juan Blázquez Martínez, José Miguel Barcala Riveira . . . . .	355
<i>ESTRATEGIA DE CODISEÑO DE CONTROLADORES INFERENCIALES PARA SU IMPLEMENTACIÓN MEDIANTE SENSORES INALÁMBRICOS;</i>	
Ignacio Peñarrocha, Daniel Dolz, Julio Ariel Romero, Roberto Sanchis . . .	361
<i>CONTROL Y ADQUISICION DE DATOS DE UN FOTOBIORREACTOR MEDIANTE AUTOMATA PROGRAMABLE Y LABVIEW;</i>	
Salah Eddine Fril Allame, Juan Manuel Méndez Sánchez, Isaías González Pérez, Antonio José Calderón Godoy . . . . .	369
<i>Control PVA aplicado a un quadrotor validado a través de un modelo de simulación multicuerpo;</i>	
Silvia Estellés Martínez, M. Tomás-Rodríguez . . . . .	377
<i>IFAsyn y EIFAsyn: dos Filtros de Información para el Procesado Eficiente de Medidas Temporalmente Desordenadas ;</i>	
Eva Besada-Portas, José A. Lopez-Orozco, Jesus M. de la Cruz . . . . .	383
<i>Coordinación de controladores NMPC en una red de oxígeno;</i>	
Rubén Martí, Daniel Sarabia, Cristina Marcos, César de Prada . . . . .	391
<i>Control GPI-repetitivo de corriente en inversores en entornos con impedancia de red incierta;</i>	
German Andres Ramos Fuentes, John Alexander Cortés Romero, Ramon Costa Castelló . . . . .	399
<i>Optimización multiarreglo en paralelo sobre GPU;</i>	
María Pereda García, Jesús M. Zamarreño . . . . .	407
<i>Plataforma de desarrollo para la configuración del control empotrado en helicópteros quadrotor;</i>	
Laura Muñoz, Daniel Gómez, Emilio Asensi, Antoni Ruiz, Victor Peñacoba, Pedro García . . . . .	413
<i>AJUSTE AUTOMÁTICO EN LAZO ABIERTO DEL REGULADOR DE UN HORNO DIDÁCTICO;</i>	
José Luis Casteleiro-Roca, José Luis Calvo-Rolle, Héctor Quintian-Pardo, Alberto De Miguel Catoira . . . . .	421
<i>Estrategias de Control de pH para un Fotobiorreactor tipo Bolsa de Plano Vertical;</i>	
I. Fernández, C. Rodríguez, J. L. Guzmán, M. Berenguel, J. C. Moreno, M. C. Cerón . . . . .	427
<i>La gestión óptima del canal de comunicaciones para la estimación implica un patrón de muestreo periódico?;</i>	
L. Orihuela, A. Barreiro, F. Gómez-Estern, F. R. Rubio . . . . .	435
<i>CONTROL DE AEROGENERADORES MEDIANTE CONTROLADORES DEPENDIENTES DE LA VELOCIDAD Y TURBULENCIA DEL VIENTO;</i>	
D. Dolz, I. Peñarrocha, N. Aparicio, R. Sanchis . . . . .	443
<i>Desarrollo y evaluación de una estación de control de tierra para vehículos aéreos no tripulados;</i>	
Jesús Velasco, Sergio García-Nieto, Gilberto Reynoso-Meza, Javier Sanchis	451

<i>CONTROL ROBUSTO DE PROCESO ATAD PARA MEJORAR LA CALIDAD DE FANGO TRATADO;</i>	
S. Nájera, M. Gil-Martínez, J. A. Zambrano, I. Irizar . . . . .	457
<i>CONTROLADOR PI BASADO EN EVENTOS CON UMBRALES ADAPT-ABLES;</i>	
Julio A. Romero, Néstor J. Pascual, Ignacio Peñarrocha, Roberto Sanchis . . . . .	463
<i>MONITORIZACIÓN DE CONTROLADORES PREDICTIVOS;</i>	
Diego García-Álvarez, Mario Francisco, María Jesús de la Fuente, Pastora Vega . . . . .	471
<i>Sensor/Actuador de retardos de Internet para la operación de dispositivos remotos;</i>	
Miguel Díaz-Cacho Medina, Emma Delgado Romero, Matías García Rivera, Antonio Barreiro Blas . . . . .	479
<i>MONITORIZACIÓN DE ESTADOS TRANSITORIOS MEDIANTE EL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES;</i>	
Diego García-Álvarez, Alejandro Merino, María Jesús de la Fuente . . . . .	489
<i>AR Drone Identification and Navigation Control at CVG-UPM ;</i>	
J. Pestana, J. L. Sanchez-Lopez, I. Mellado-Bataller, Changhong Fu, P. Campoy . . . . .	495
<i>Aplicación de Técnicas de Visualización para el Análisis del Consumo Eléctrico en Edificios;</i>	
Francisco J. García Fernández, Daniel Pérez López, Ignacio Díaz Blanco, Alberto B. Díez, Manuel Domínguez . . . . .	503
<i>Modelado de un Sistema MIMO de Doble Rotor y Control Robusto QFT de Uno de sus Grados de Libertad;</i>	
Carlos Galilea Gil, Montserrat Gil Martínez . . . . .	509
<i>CONTROL ROBUSTO QFT DE PLANTA EXPERIMENTAL DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA;</i>	
David Lozano Delgado, Montserrat Gil-Martínez, Carlos Elvira Izurrategui . . . . .	519
<i>CONTROL DE VISCOSIDAD BASADO EN MEDIDA VIRTUAL;</i>	
Ramón Ferreiro García, Javier Romero Gómez, Alberto De Miguel Catoira, Manuel Romero Gómez . . . . .	527
<i>ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA CICLOS BRAYTON CERRADOS DE PRODUCCIÓN DE POTENCIA;</i>	
Manuel Romero Gómez, Javier Romero Gómez, José Carbia Carril, Alberto De Miguel Catoira . . . . .	533
<i>CONTROL AUTÓNOMO DE SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIAS DE UN VEHÍCULO CUATRIRROTOR;</i>	
Juan Manuel Herrero, Mireia Medrano Llop, Concepción Peiro Galbis, Carlos Peris Navarro, Ismael Vives Martí . . . . .	541
<i>Control híbrido de una planta termo-solar de baja temperatura para la generación de agua caliente;</i>	
M. Pasamontes, J. D. Álvarez, J. L. Guzmán, E. F. Camacho, M. Berenguel . . . . .	549
<i>OPERACIÓN ÓPTIMA DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS MEDIANTE MPC NO LINEAL;</i>	
Pastora Vega, José M. Martín, Silvana Revollar, Mario Francisco, M.J. Fuente . . . . .	557

<b>Modelado y Simulación de Sistemas Dinámicos</b>	<b>565</b>
<i>MODELADO DEL COMPORTAMIENTO DE CUERPOS SUMERGIDOS EN MANIOBRAS;</i>	
Amable López Piñeiro, José Andrés Somolinos Sánchez, Miguel Santamaría Romojaro, Fernando Robledo de Miguel, Carlos Arias Rodrigo . . . . .	567
<i>ESTUDIO DEL MERCADO NACIONAL EN EL SECTOR DEL MUEBLE;</i>	
Zeltia Prego López, Jairo Paredes Menéndez, Nerea Prego López, Octavio Manuel Pereira Neto . . . . .	575
<i>ESTUDIO DEL MERCADO AUTOMOVILÍSTICO;</i>	
Nerea Prego López, Zeltia Prego López, Jairo Paredes Menéndez, Octavio Manuel Pereira Neto . . . . .	583
<i>SEPARACIÓN DE PARTÍCULAS EN UN ELECTROFILTRO BASADA EN LÓGICA BORROSA;</i>	
Jairo Paredes Menéndez, Zeltia Prego López, Nerea Prego López, Octavio Manuel Pereira Neto . . . . .	591
<i>LAS INNOVACIONES EN LOS SISTEMAS MQL;</i>	
Octavio Manuel Pereira Neto, Jairo Paredes Menéndez, Nerea Prego López, Zeltia Prego López . . . . .	597
<i>ANÁLISIS DINAMICO Y MODELADO DE SUSPENSIONES HOSSACK EN MOTOCICLETAS DE COMPETICION;</i>	
Ciro Moreno Ramírez, M. Tomás-Rodríguez, Simos A. Evangelou . . . . .	605
<i>REDUCCIÓN DE MODELOS PARA CONTROL Y OPTIMIZACIÓN EN TIEMPO REAL: APLICACIÓN A SISTEMAS CON FRONTERA MÓVIL;</i>	
E. López-Quiroga, A. A. Alonso, C. Theodoropoulos . . . . .	613
<i>MODELADO Y SIMULACIÓN DE SENSORES QUÍMICOS DE DIÓXIDO DE ESTAÑO PARA LA DETECCIÓN DE ETANOL;</i>	
F. J. Lozano Jaramillo, J. Lozano Rogado, J. I. Suárez Marcelo, J. M. Ordiales Solis . . . . .	621
<i>MODELOS EFICIENTES PARA TAREAS DE CONTROL EN LÍNEA DURANTE LA REFRIGERACIÓN DE FRUTAS;</i>	
Diana Rivas, Carlos Vilas, Antonio A. Alonso, Fernando Varas . . . . .	629
<i>OPTIMIZACIÓN EN TIEMPO REAL DE UN REACTOR QUÍMICO USANDO ADAPTACIÓN DE MODIFICADORES;</i>	
Daniel Navia, Gloria Gutiérrez, César de Prada . . . . .	637
<i>REDES DE PETRI COLOREADAS DISYUNTIVAS APLICADAS A UNA TOMA DE DECISIONES EFICIENTE;</i>	
Juan Ignacio Latorre Biel, Emilio Jiménez Macías . . . . .	645
<i>MODELADO DE UN PROCESO DE EXTRUSIÓN DE POLÍMEROS;</i>	
Eduardo J. Moya de la Torre, Alfonso Poncela, Vicente José Castro Peñas . . . . .	653
<i>CALIBRADO DE MODELOS EN BIOLOGÍA DE SISTEMAS MEDIANTE BÚSQUEDA DISPERSA PARALELIZADA Y COOPERATIVA;</i>	
Alejandro Fernández Villaverde, Jose Alberto Egea, Julio Rodríguez Banga . . . . .	661
<i>ACCESO A UN SIMULADOR ECOSIMPRO DESDE OPC/SCADA, MATLAB Y SIMULINK;</i>	
A. Rodriguez, L. F. Acebes, A. Merino, R. Mazaeda, C. de Prada . . . . .	667

<i>METAHEURÍSTICAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DINÁMICA MULTI-OBJETIVO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES;</i>	
Víctor M. Ortiz-Martínez, Isabel Gracia, Jose A. Egea . . . . .	673
<i>MODELO CAUSAL PARA LA SIMULACIÓN DE LA GESTION DEL TRÁFICO AÉREO (ATM) A NIVEL PRETÁCTICO Y ESTRATÉGICO;</i>	
Jenaro Nosedal Sánchez, Sergio Ruiz, Miquel Ángel Piera Eroles . . . . .	681
<b>Robótica</b>	<b>687</b>
<i>SISTEMA AUTOMÁTICO DE RECARGA DE BATERÍAS PARA UN ROBOT MÓVIL EDUCACIONAL;</i>	
Sergio Rubio Rosa, Eduardo Zalama Casanova, Jaime Gómez García-Bermejo . . . . .	689
<i>VERDINO, PROTOTIPO ELECTRICO DE VEHICULO AUTOGUIADO;</i>	
L. Acosta, J. Toledo, A. Hamilton, R. Arnay J. Espelosin, N. Morales, D. Perea, L. Moreno . . . . .	697
<i>DISEÑO DE UN EFECTOR FINAL HIDRÁULICO DE DOBLE FUNCIÓN PARA EL ROBOT MÓVIL ALACRANE;</i>	
Jesús García, Jorge L. Martínez, Anthony Mandow, Alfonso García-Cerezo, Javier Serón . . . . .	705
<i>CORRECCIÓN DE LA POSICIÓN MEDIANTE MARCAS PLANAS UTILIZANDO EL SENSOR IR DEL WIIMOTE;</i>	
Salvador Domínguez, Eduardo Zalama, Jaime Gómez García-Bermejo . . . . .	711
<i>Búsqueda de caminos libres de colisiones para un sistema bimanual considerando la eliminación de obstáculos movibles;</i>	
Carlos Rodríguez, Andrés Montaña, Raúl Suárez . . . . .	721
<i>IMPLETACIÓN DE UN ALGORITMO DE LOCALIZACIÓN BASADO EN UN MÉTODO DE MONTECARLO PARA UN ROBOT MOVIL OMIDIRECCIONAL;</i>	
J. Gómez-Moreno, A. Soriano, M. Vallés, A. Valera, M. Martínez . . . . .	729
<i>ENSEÑANDO ROBÓTICA MÓVIL CON LABORATORIOS REMOTOS;</i>	
D. Chaos, J. Chacón, J. A. López-Orozco, S. Dormido-Bencomo, J. Aranda . . . . .	737
<i>LOCALIZACIÓN MONTE CARLO A PARTIR DE LA APARIENCIA GLOBAL DE IMÁGENES OMNIDIRECCIONALES;</i>	
Lorenzo Fernández, Luis Payá, Mónica Ballesta, Francisco Amorós, Óscar Reinoso . . . . .	743
<i>Coordinación Temporal de Dos Robots Manipuladores;</i>	
Andrés Montaña, Raúl Suárez . . . . .	751
<i>RASMA: Plataforma para la Creación de Animaciones Stop-Motion con Asistencia Robótica;</i>	
David Cuenca, Iván Perea, Gabriel J. García, Jorge Pomares, Fernando Torres . . . . .	759
<i>HUMANOID ROBOT SELF-LOCATION IN SPL LEAGUE;</i>	
Eduardo Munera, Manuel Muñoz, José Simó, Francisco Blanes . . . . .	765
<i>DESARROLLO DE UN SISTEMA RASTREADOR DE OLORES PARA ROBOT MOVIL;</i>	
I. Sáenz del Castillo González, J. Lozano Rogado, J. I. Suárez Marcelo, J. M. Ordiales Solis . . . . .	773

<i>PARÁMETROS DE DISEÑO EN PINZAS ROBÓTICAS FLEXIBLES;</i> Andres S. Vázquez, Javier J. Jiménez, Jesús Chico, Ismael Payo . . . . .	779
<i>Diseño CAD/CAM de un prototipo de dedo para una mano antropomórfica accionada por servomotores;</i> Damián Mira Martínez, Santiago T. Puente Méndez, Fernando Torres Medina . . . . .	789
<i>DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA DETECCIÓN DE PIEZAS DEFECTUOSAS POR FALLOS EN EL CORDÓN DE ADHESIVO;</i> Diego Pérez Losada, Joaquín López Fernández, Enrique Paz Domonte, Rafael Sanz . . . . .	797
<i>MODELADO Y SIMULACIÓN DE BRAZOS ROBÓTICOS CON BLENDER Y PYTHON;</i> Adolfo Sánchez Hermosell, J. Álvaro Fernández Muñoz . . . . .	805
<i>DISEÑO DE UN ACTUADOR PARA PINZA ROBÓTICA BASADA EN UN SMA;</i> Francisco Javier Tormo, Jaime Masiá, Juan Ramón Rufino, José Ferri, Borja Mansilla . . . . .	813
<i>SLAM con Marcadores de Realidad Aumentada;</i> Miguel Juliá, Lorenzo Fernández, Luis Payá, José M. Marín, Arturo Gil, Óscar Reinoso . . . . .	819
<i>Vuelos de planeadores autónomos no tripulados en misiones cooperativas mediante aprovechamiento de energía de térmicas;</i> D. Alejo, J. A. Cobano, G. Heredia, A. Ollero . . . . .	825
<i>INSTRUMENTO QUIRÚRGICO DE SUTURA PARA ANASTOMOSIS AUTOMÁTICA DEL TUBO DIGESTIVO;</i> José Antonio Tornero, Raúl Suárez, Francesc Cano, Andrés Montaña, Manuel López Cano . . . . .	833
<i>Algoritmo para la secuenciación en el ensamblaje de estructuras mediante robots;</i> S. Vera, I. Maza, A. Ollero . . . . .	839
<b>Tiempo Real</b>	<b>847</b>
<i>Arquitectura de Supervisión y Control en Tiempo Real de un vehículo Fórmula Student Eléctrico;</i> Sara Mata, Asier Zubizarreta, Eva Portillo, Itziar Cabanes, Dario Orive, Marga Marcos, Charles Pinto . . . . .	849
<i>ARQUITECTURA MULTI-CONTROLADOR CON TRANSFERENCIA SIN SALTO PARA PROCESOS CON CONMUTACIÓN DE MODOS;</i> Nagore Iriondo, Elisabet Estévez, Marga Marcos . . . . .	859
<i>APLICACIONES AVANZADAS PARA LA AUTOMATIZACIÓN EN LA INDUSTRIA DE SEMICONDUCTORES;</i> Manuel J. Moreno Lizaranzu, Federico Cuesta Rojo . . . . .	867
<i>Sistemas particionados de control;</i> J. Simó, P. Balbastre, S. Peiró, M. Masmano, A. Crespo . . . . .	873
<i>CARACTERÍSTICAS DE ZIGBEE EN TELEMETRÍA DE UN QUADROTOR;</i> Ramón A. García, Francisco R. Rubio . . . . .	879



<i>MONITORIZACIÓN AUTOMÁTICA EN TIEMPO REAL DE EQUIPOS DE PRUEBA DE SEMICONDUCTORES ;</i>	
Manuel J. Moreno Lizaranzu, Federico Cuesta Rojo . . . . .	887
<i>MANTENIMIENTO REMOTO PARA MAQUINAS DE CORTE DE PIEDRA HECHAS A MEDIDA ;</i>	
Julio Garrido Campos, Ricardo Marín Martín, Juan Sáez López, José Ignacio Armesto Quiroga . . . . .	893
<i>MODELO EN ECOSIMPRO DE CAPTADOR SOLAR FRESNEL;</i>	
J. M. Torres, A. J. Gallego, J. M. Escaño, C. Bordons . . . . .	901
<b>Visión por Computador</b>	<b>907</b>
<i>Método General de Segmentación de Imágenes Basado en una Distancia Pseudométrica para Definir Vecindarios de Píxeles;</i>	
José F. Sigut Saavedra, Francisco J. Fumero Batista, Silvia Alayón Miranda, Manuel González de la Rosa, Marta González-Hernández, José L. Sánchez de la Rosa, Lorenzo Moreno . . . . .	909
<i>Vitality assessment of boar sperm using N Concentric Squares resized and Local binary pattern in gray scale images;</i>	
Óscar García-Olalla, María Teresa García-Ordás, Diego García-Ordás, Laura Fernández-Robles, Enrique Alegre . . . . .	919
<i>SVM APPROACH TO CLASSIFY BOAR ACROSOME INTEGRITY OF A MULTI-FEATURES SURF DESCRIPTION;</i>	
Laura Fernández-Robles, Óscar García-Olalla, María Teresa García-Ordás, Diego García-Ordás, Enrique Alegre . . . . .	925
<i>DETECCIÓN DE SUELO Y PAREDES CON VISIÓN MONOCULAR PARA NAVEGACIÓN POR INTERIORES;</i>	
J. Omedes, G. López-Nicolás, J. J. Guerrero . . . . .	931
<i>Reconocimiento de manos con sensor RGB-D;</i>	
Carlos M. Mateo, Pablo Gil, Santiago T. Puente, Fernando Torres . . . . .	939
<i>Boar spermatozoa classification using local invariant features and bag of words;</i>	
María Teresa García-Ordás, Laura Fernández-Robles, Óscar García-Olalla, Diego García-Ordás, Enrique Alegre . . . . .	947
<i>Detección de Peatones para Sistemas de Asistencia a la Conducción;</i>	
Daniel Olmeda, Basam Musleh, Fernando García, José María Armingol, Arturo de la Escalera . . . . .	953
<i>EVALUATION OF SEGMENTATION METHODS APPLIED TO INTACT AND DAMAGED ACROSOMES OF BOAR SPERMATOZOON HEADS;</i>	
Eduardo Fidalgo, Javier de Pedro, Laura Fernández-Robles, María Teresa García-Ordás, Enrique Alegre . . . . .	959
<i>RECONSTRUCCIÓN PRECISA DE INTERIORES CON ESCÁNER 3D Y TECNOLOGÍAS RFID;</i>	
Enrique Valero, Antonio Adán, Carlos Cerrada . . . . .	967
<i>DISEÑO DE SOFTWARE PARA EL CONTROL DE DISPOSITIVOS EN APLICACIONES DE VISIÓN POR COMPUTADOR;</i>	
Juan Manuel Muñoz Lobato, Alejandro Hidalgo Paniagua, Santiago Salamanca Miño, Pilar Merchán García . . . . .	977

*CONSTRUCCIÓN DE MAPAS ÓPTICOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL FONDO MARINO;*

Ricard Prados, Rafael Garcia, Nuno Gracias, Pere Ridao, Javier Escartín, László Neumann . . . . . 985

*USO DE DESCRIPTORES DE APARIENCIA GLOBAL EN TAREAS DE CONSTRUCCIÓN DE MAPAS Y LOCALIZACIÓN;*

Francisco Amorós, Luis Payá, Óscar Reinoso, Luis M. Jiménez . . . . . 993

*SISTEMA DE SEGURIDAD LABORAL BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA MÁQUINA DE CORTE POR PLASMA / OXIGÁS;*

M. Dolores Moreno Rabel, J. Álvaro Fernández Muñoz . . . . . 1003

**Índice de Autores** **1011**



## Una nueva librería para la docencia de robótica

Arturo Gil, Óscar Reinoso, Miguel Juliá, David Úbeda, Lorenzo Fernández  
Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH)  
Avda. de la Universidad s/n  
03202 Elche (Alicante)  
{arturo.gil, o.reinoso, mjulia, ubeda, lfernandez}@umh.es

### Resumen

*En este artículo se presenta una nueva toolbox destinada a la docencia al área de los robots manipuladores. La librería se ha desarrollado bajo el entorno Matlab y está orientada a la realización de sesiones prácticas para reforzar los contenidos teóricos tratados durante las clases de teoría. La librería engloba todos los temas de cualquier curso de introducción a la robótica de manipuladores de tipo serie. Además, la herramienta cuenta con características que típicamente precisaban el uso de software propietario. Entre otras características, la librería permite al alumno la visualización en 3D de brazos robóticos comerciales y su programación en lenguaje RAPID. Las prácticas docentes plantean los principales conceptos en el área de la robótica de manipuladores serie: la cinemática directa, inversa así como los problemas dinámico directo e inverso. Como práctica docente transversal, se plantea que el alumno introduzca en la librería un nuevo brazo robótico de su elección y resuelva, entre otros, el problema cinemático inverso, directo y la inclusión de sus parámetros dinámicos. La librería se ha probado con alumnos de cuarto curso de Ingeniería industrial durante el último año, habiendo recibido una buena acogida.*

**Palabras clave:** Robótica, docencia, simulación

### 1. INTRODUCCIÓN

Se presenta una librería basada en Matlab destinada a la docencia de robótica de robots manipuladores. Este tipo de librerías resultan de gran ayuda en las titulaciones de ingeniería donde los diferentes contenidos de las materias que integran las asignaturas se realizan tradicionalmente en aulas de teoría, estando los laboratorios (bien de tipo informático o equipados con maquetas y dispositivos físicos) destinados a la docencia de contenidos prácticos. En el caso de la docencia en robótica, los autores consideran fundamental la realización de actividades prácticas para poder comprender y afianzar los conocimientos previamente impartidos en teoría [4, 2]. Dado que está destinada a la docencia, la toolbox presentada se ha bautizado

como ARTE (A Robotics Toolbox for Education). La toolbox se publica bajo licencia GNU LGPL<sup>1</sup>.

La librería cuenta con una serie de guiones prácticos que guían al alumno y permiten que ahonde en los conceptos vistos en teoría de forma autónoma. La herramienta está orientada a la docencia de manipuladores robóticos tipo serie en los últimos años de grado o de Máster. La aplicación desarrollada permite la visualización de los resultados de una forma intuitiva y sencilla. El elemento diferenciador respecto de otras librerías existentes ([3], p. e.) es la capacidad para observar el movimiento de los robots en tres dimensiones. Se ha comprobado que, de esta manera, el alumno consigue una mejor comprensión de la utilidad de los sistemas D-H, así como la definición de los parámetros dinámicos del robot. Por ejemplo, las diferentes soluciones de la cinemática inversa se pueden mostrar dibujando el robot como un conjunto de elementos sólidos en 3D. Aunque existen otras herramientas que permiten una visualización en 3D de robots manipuladores [11], consideramos que utilizar demasiadas herramientas software diferentes exige que el alumno dedique su tiempo a aprender a usarlas y se reduzca el tiempo útil dedicado a comprender los conceptos. El segundo elemento diferenciador de la librería es su claridad de implementación: el código de las funciones se ha escrito de manera que sea fácil de seguir y comprender. Finalmente, la librería está diseñada para que los alumnos añadan nuevos robots y se motiven observando los resultados tangibles del esfuerzo realizado.

### 2. MOTIVACIÓN

En este apartado presentamos las razones que llevaron al desarrollo de la librería de Matlab que se presenta aquí. La experiencia acumulada durante los últimos años en la docencia de la robótica de manipuladores<sup>2</sup> permitió plantearnos la creación de una herramienta para realizar prácticas docentes que contara con las siguientes características:

<sup>1</sup>se puede descargar de [www.arvc.umh.es/arte](http://www.arvc.umh.es/arte)

<sup>2</sup>4747 Control de Robots y Sistemas Sensoriales (UMH)

- a) Representación D-H del robot manipulador.
- b) Capacidad para visualizar la posición, velocidad y aceleración de las variables articulares del robot durante la realización de un movimiento. Capacidad para visualizar la velocidad del extremo del robot durante la simulación.
- c) Capacidad para visualizar las fuerzas y pares existentes en las articulaciones durante el movimiento.
- d) Capacidad para visualizar la posición, velocidad y aceleración de las variables articulares del robot.
- e) Representación realista en 3D de los eslabones del robot como objetos sólidos.
- f) Planificación de trayectorias.
- g) Programación del brazo en un lenguaje industrial. Simulación paso a paso del lenguaje.
- h) Programación de forma interactiva mediante una paleta de programación virtual. Creación de puntos de destino y de paso de forma interactiva mediante una interfaz gráfica.
- i) Inclusión sencilla de nuevos robots.

En la tabla 1 se evalúan algunas de las herramientas software comentadas en la introducción desde el punto de vista de las características enunciadas anteriormente (a, b, c, d, etc.). Es importante que, salvo ARTE, ninguna de las otras herramientas evaluadas cumple con todos los requisitos que se han planteado. La combinación de varias herramientas podría permitir conseguir las características anteriores, pero exige que el alumno aprenda a utilizar herramientas diferentes. En los estudios de Ingeniería Matlab es una herramienta habitual, con lo que el tiempo de adaptación del alumno es generalmente corto.

Desde nuestro punto de vista, la característica más importante de la librería es que permite añadir nuevos robots de forma muy sencilla y transparente. De esta manera, los guiones de prácticas que acompañan a la librería plantean esta actividad como ejercicio transversal entre todas las sesiones prácticas que se realizan. El alumno es evaluado en base a la calidad con la que ha resuelto todos los problemas relacionados con el robot introducido. Los resultados docentes que se han obtenido de esta manera han sido muy positivos: la motivación del alumno es alta, ya que el trabajo que realiza se traduce en una simulación muy realista del robot introducido que le permite comprobar de forma amena si ha realizado correctamente todos los ejercicios.



### 3. TRABAJO RELACIONADO

La herramienta “Robotics Toolbox for Matlab” [3] es muy completa y cuenta con una gran cantidad de algoritmos de referencia. Sin embargo cuenta con algunas deficiencias: no permite una visualización realista de los robots, no permite la programación del robot mediante algún lenguaje industrial ni mediante paleta de programación. La última versión de la librería está orientada a objetos y este hecho puede causar cierta dificultad a los alumnos a la hora de realizar ejercicios o ampliar la librería con nuevos robots. SimMechanics [7] es otra toolbox de Matlab muy generalista y orientada a la simulación de sistemas multi-cuerpo, con lo que no está específicamente orientada al área de robots manipuladores. Por ejemplo, no emplea las convenciones de D-H para modelar los eslabones del robot. Las herramientas propietarias de los principales fabricantes de robots manipuladores están orientadas a la simulación de sus propios modelos [1, 5, 8]. Normalmente estas herramientas permiten la programación del brazo en un lenguaje industrial, pero no es posible observar los parámetros cinemáticos o dinámicos ni la evolución de las coordenadas articulares cuando se realiza algún movimiento. Por ejemplo, RobotStudio está orientada a la simulación de los robots del fabricante ABB GmbH. Permite simular de forma muy realista el robot y su espacio de trabajo en un entorno 3D. Permite la programación. No obstante, para funcionar correctamente precisa un PC con Windows 7 y gran cantidad de memoria RAM. Generalmente, ABB proporciona licencias con fines docentes a las Universidades. Por otra parte, la herramienta Easy-rob 3D es comercial. Permite la simulación de diferentes brazos robóticos en cualquier modelo de entorno y, además su programación. Sin embargo, no permite añadir robots de forma sencilla ni observar la evolución de las variables articulares durante el movimiento o los esfuerzos realizados.

### 4. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA TOOLBOX

#### 4.1. CINEMÁTICA

##### 4.2. Cinemática directa

La cinemática directa de los robots serie existentes en la librería se describe mediante los parámetros estándar de Denavit-Hartenberg (D-H). Cada uno de los robots de la librería almacena una tabla de parámetros D-H en su fichero de configuración. Para ser capaz de introducir un nuevo robot, el alumno debe comprender el problema cinemático

Cuadro 1: Comparación de herramientas software para simulación de robots manipuladores.

Nombre	Características	Comentario	Licencia
Robotics Toolbox for Matlab	a b c d f i	www.petercorke.com	LGPL
SimMechanics toolbox	b c d e i	www.mathworks.es	Comercial
RobotStudio	d f g	www.abb.com	Comercial
KUKA, Sim	d f g	www.kuka.com	Comercial
Solutions in Motion	d f g	www.motoman.com.	Comercial
Easy-rob 3D	e g	www.easy-rob.de	Comercial (existe una versión demo)
ARTE	a b c d e f g h i	arvc.umh.es/arte	LGPL

directo y definir correctamente los parámetros de Denavit-Hartenberg.

#### 4.3. Cinemática inversa

Una de las principales actividades que el alumno debe realizar con la librería es la resolución de la cinemática inversa. Así, pues, la librería no proporciona un método general para la resolución del problema cinemático inverso que pueda ser utilizado para un gran número de configuraciones diferentes [6], con lo que cada uno de los robots cuenta con una función específica para resolver el problema. Durante las prácticas el alumno debe entender el problema y ser capaz de escribir una función en lenguaje Matlab que resuelva el problema cinemático inverso para el caso concreto del robot que esté integrando.

#### 4.4. DINÁMICA

##### 4.5. Dinámica inversa

La dinámica está basada en la formulación recursiva de Newton-Euler [9] y permite calcular las fuerzas y pares en las articulaciones en función del estado de movimiento y las cargas aplicadas al robot. El fichero de configuración de cada robot almacena los parámetros dinámicos de cada robot. La librería incluye los parámetros dinámicos de robots clásicos que ya han sido profundamente estudiados.

##### 4.6. Dinámica directa

La dinámica directa usa la formulación primera de Walker y Orin [10] para el cálculo de la aceleración articular en función de los pares aplicados. Esta formulación precisa del conocimiento del modelo dinámico inverso. Para simular el movimiento del robot durante un periodo de tiempo, se integran las aceleraciones utilizando la función ode45 de Matlab.

#### 4.7. GRÁFICOS

La librería utiliza el formato STL (STereoLithography) de gráficos<sup>3</sup>. Este es un formato libre soportado por la mayoría de programas de CAD. Dado un modelo de robot que se desea incluir, resulta sencillo exportar cada uno de los eslabones a formato STL, de manera que puedan ser representados en una figura de Matlab. En el formato STL, cada fichero asociado a un eslabón del robot almacena al posición de un conjunto de puntos que definen la forma 3D de ese eslabón. La posición de estos puntos está referida al sistema D-H correspondiente al eslabón. La figura 1(a) presenta una vista 3D del robot ABB IRB 140, donde se pueden observar los sistemas D-H asociados a cada eslabón.

#### 4.8. PROGRAMACIÓN

##### 4.8.1. Paleta de programación - GUI

Se ha proporcionado una aplicación gráfica (“teach”) realizada con el editor GUI de Matlab para permitir que el alumno maneje de forma intuitiva el brazo robótico. La apariencia de esta aplicación se muestra en la figura 2. Las funciones de esta aplicación son similares a las de cualquier paleta de programación de robots. Los controles deslizantes permiten mover cada una de las articulaciones del robot cargado de forma independiente. Los botones X-, X+, Y-, Y+, Z- y Z+ permiten mover el extremo del robot en línea recta, tanto en coordenadas de la base como en coordenadas del extremo. La cinemática directa está representada de forma dual mediante una matriz de transformación homogénea  $T$  y mediante un cuaternio  $Q$  y posición 3D  $(P_x, P_y, P_z)$ . Tanto la matriz  $T$  como el cuaternio  $Q$  y la posición son editables. Cuando el usuario presiona el botón “Move to”, se resuelve la cinemática inversa para el brazo elegido y se lleva al brazo a esa posición/orientación. Finalmente, existe un apartado dedicado a la programación del brazo en lenguaje RAPID ABB. La aplicación gráfica permite guardar la posición y orientación actual del robot como un “target point” de lenguaje RAPID. Bajo la solapa “Program” se pueden

<sup>3</sup>[http://en.wikipedia.org/wiki/STL\\_\(file\\_format\)](http://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format))

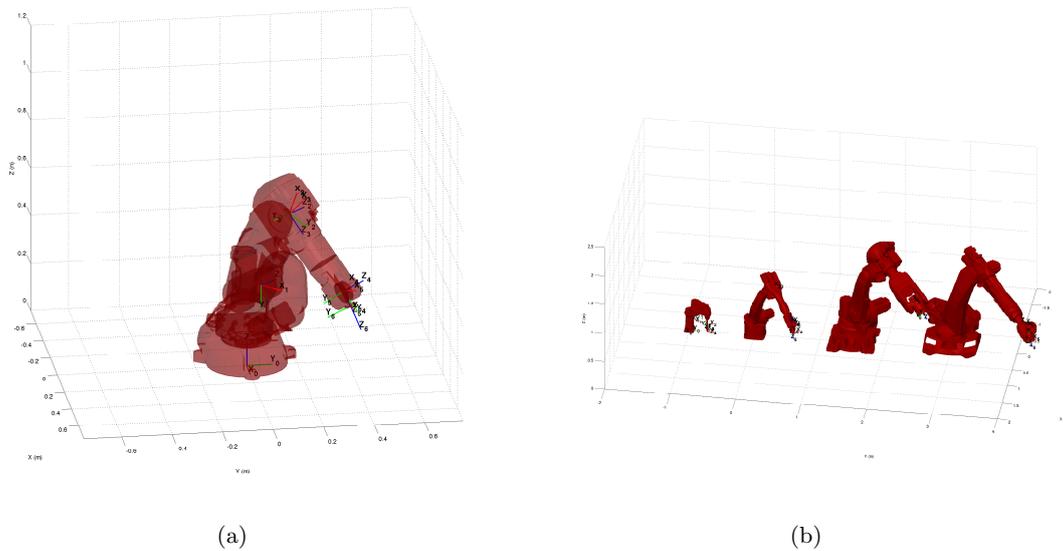


Figura 1: La figura 1(a) presenta uno de los robots incluidos en la librería. Los eslabones se dibujan de modo transparente, de manera que se puedan observar los sistemas de coordenadas D-H. La figura 1(b) presenta más robots existentes en la librería. De izquierda a derecha: robot KUKA KR5 scara R350 Z200 y robot KUKA KR5 arc. Robot ABB IRB6620 y robot KUKA KR90 R2700 pro.

programar instrucciones RAPID seleccionando de los menús desplegables. Las instrucciones se pueden ir simulando una a una y también se pueden ir incluyendo una a una en el programa actual. Se permite la simulación de todo el programa generado hasta el momento. Además, existe un menú que permite guardar todo el programa y cargar un programa existente.

Por el momento, las instrucciones de lenguaje RAPID soportadas por la librería son las siguientes:

- MoveJ: Movimiento isócrono de ejes independientes.
- MoveL: Movimiento en línea recta en el espacio cartesiano.
- MoveC: Movimiento circular pasando por un tercer punto.
- MoveAbsJ: Movimiento isócrono de ejes independientes especificando las coordenadas articulares.
- Offs(): Movimiento relativo al punto actual en coordenadas de la base.

#### 4.8.2. Lenguaje RAPID

La aplicación “teach” es capaz de traducir cada una de las instrucciones RAPID a una instrucción de Matlab. De esta manera, el programa escrito en RAPID se traduce a un script de Matlab

que puede ser simulado paso a paso por el robot. A continuación se presenta un pequeño programa RAPID.

```

MODULE Module1
VAR extjoint xt:=[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09];
CONST robtarger tp1:=[[0.5,0,0.7],[0,0.707,0,0.707],[0,0,0,0],xt];
CONST robtarger tp2:=[[0.6,0.1,0.7],[0,0.707,0,0.707],[0,-1,0,0], xt];
CONST robtarger tp3:=[[0.6,0,0.4],[0,0.707,0,0.707], [0,-2,1,0], xt];
CONST robtarger tp4:=[[0.8,0,0.2],[0,0.707,0,0.707], [0,-2,1,0], xt];
MoveL tp3, vmax, fine, tool0\Wobj:=wobj0;
MoveJ tp2, vmax, fine, tool0\Wobj:=wobj0;
MoveJ tp1, vmax, fine, tool0\Wobj:=wobj0;
MoveC tp2, tp3, vmax, fine, tool0\Wobj:=wobj0;
ENDMODULE
    
```

La toolbox traduce el programa anterior a una serie de instrucciones de la librería Matlab.

```

%BEGINMODULE
%BEINTARGETPOINTS
ext_a=[9E+9,9E+9,9E+9,9E+9,9E+9,9E+9];
tp1=[[0.5, 0, 0.7],[0,0.707,0,0.707], [0, 0, 0, 0], ext_a];
tp2=[[0.6, 0.1, 0.7],[0,0.707,0,0.707], [0, -1, 0, 0], ext_a];
tp3=[[0.6, 0, 0.4],[0,0.707,0,0.707], [0, -2, 1, 0], ext_a];
tp4=[[0.8, 0, 0.2],[0,0.707,0,0.707], [0, -2, 1, 0], ext_a];
%ENDTARGETPOINTS
robot=MoveL(robot,tp3,'vmax', 'fine', robot.tool0, robot.wobj0);
robot=MoveJ(robot, tp2, 'vmax', 'fine', robot.tool0, robot.wobj0);
robot=MoveJ(robot, tp1, 'vmax', 'fine', robot.tool0, robot.wobj0);
robot=MoveC(robot, tp2, tp3, 'vmax', 'fine', robot.tool0, robot.wobj0);
%ENDMODULE
    
```

Una vez hecho esto, el programa puede ser abierto mediante el editor de Matlab, pudiéndose modificar de forma sencilla, así como ejecutarlo paso a paso y depurarlo.

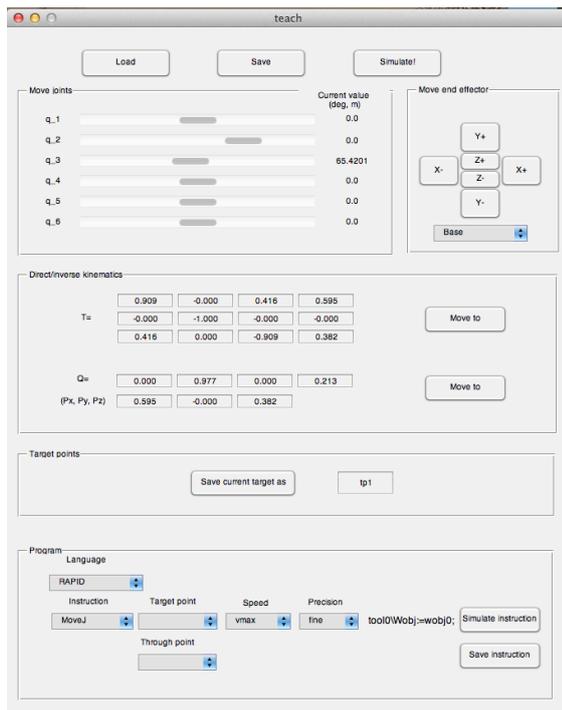


Figura 2: La figura presenta la aplicación gráfica para el manejo interactivo de los robots.

#### 4.9. ROBOTS COMERCIALES

La tabla 2 presenta un resumen de todos los robots que se encuentran disponibles en la *toolbox*. En la figura 1(b) se presentan algunos de los modelos de robots comerciales incluidos en la librería.

### 5. PRÁCTICAS DOCENTES

Cada una de las sesiones prácticas está orientada a profundizar en cada uno de los conceptos vistos en teoría. Cada uno de los guiones plantea una serie de tareas y ejercicios. Además, los guiones tienen una tarea transversal que consiste en incluir un nuevo robot a la librería, resolviendo la cinemática directa, inversa, dinámica e incluyendo los ficheros gráficos adecuados.

#### 5.1. Práctica 1: Cinemática directa

Esta práctica busca que el alumno comprenda los conceptos fundamentales sobre matrices de transformación homogénea y los parámetros D-H de un robot. La práctica plantea diversos ejercicios para comprender estos conceptos. El alumno deberá resolver la matriz de D-H para el robot que desea incluir en la librería. Los siguientes comandos ilustran esta primera práctica docente:

```
robot=load_robot('abb','IRB6620' );
T = directkinematic(robot, [pi/2 pi/4 pi/4 0 0 0])
drawrobot3d(robot, [pi/2 pi/4 pi/4 0 0 0])
```

donde el último comando realiza una representación 3D del brazo (figura 1(a)).

#### 5.2. Práctica 2: Cinemática inversa. Matriz Jacobiana.

Durante la práctica, el alumno debe resolver la cinemática inversa de un robot de ejemplo. A continuación, deberá resolver la cinemática inversa para el robot a incluir en la librería. La cinemática inversa se resuelve en un fichero Matlab específico para ese robot que se almacena en el directorio del robot.

```
robot=load_robot('abb','IRB140' );
T = directkinematic(robot, [pi/2 pi/4 pi/4 0 0 0])
drawrobot3d(robot, [pi/2 pi/4 pi/4 0 0 0])
qinv = inversekinematic(robot, T)
```

donde la variable `qinv` almacena, en este caso, 8 soluciones posibles. El alumno deberá comprobar cuáles de esas soluciones son válidas y la posición/orientación del extremo del robot en cada una de las soluciones.

#### 5.3. Práctica 3: Dinámica inversa

Durante la práctica, el alumno profundizará en el concepto de dinámica inversa: dado el estado de movimiento del brazo, la librería permite calcular el par existente en cada articulación. El alumno observará cómo varía el par en cada articulación cuando varían las coordenadas articulares del brazo o éste es sometido a cargas diferentes en el extremo.

#### 5.4. Práctica 4: Dinámica directa

Durante la práctica, el alumno profundizará en el concepto de dinámica directa: dados los pares aplicados en cada articulación, se calcula la aceleración de cada articulación y mediante integración, podemos simular el movimiento del brazo. Se presentan al alumno diferentes ejemplos de simulación.

#### 5.5. Práctica 5: Control en simulación

Durante la práctica, el alumno utilizará los conceptos de la práctica anterior. En base al modelo dinámico directo del brazo, se puede simular una aplicación de control PID independiente. La figura 3 muestra el esquema Simulink para realizar esta tarea. El alumno debe ajustar las constantes PID para realizar un control independiente de

Cuadro 2: Lista de robots soportados

Fabricante	Modelo	Cin. Directa	Cin. Inversa	Din. Directa	Din. Inversa	Gráficos 3D
ABB	IRB 140	✓	✓			✓
ABB	IRB 6620	✓	✓			✓
KUKA	KR5 arc	✓	✓			✓
KUKA	KR5 scara R350 Z200	✓	✓			✓
KUKA	KR5 sixx R650	✓	✓			✓
KUKA	KR5 sixx R850	✓	✓			✓
KUKA	KR90 R2700 pro	✓	✓			✓
MITSUBISHI	PA-10 6DOF	✓	✓			✓
UNIMATE	PUMA 560	✓	✓	✓	✓	✓
-	STANFORD	✓	✓	✓	✓	✓
-	SCARA	✓	✓			✓
-	2 DOF PLANAR	✓	✓	✓	✓	✓
-	3 DOF PLANAR	✓	✓	✓	✓	✓
-	PRISMATIC	✓	✓	✓	✓	✓

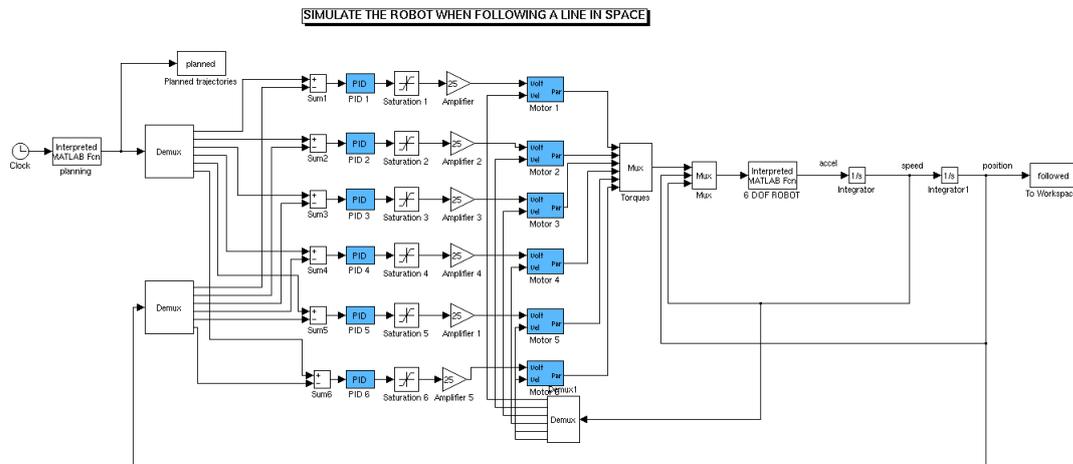


Figura 3: La figura presenta un esquema de control PID con simulación de la dinámica directa del robot.

las coordenadas articulares del robot cuando este sigue una trayectoria recta en el espacio.

**5.6. Práctica 6: RAPID**

La aplicación “teach” permite realizar programas sencillos en lenguaje RAPID. A continuación, los programas se traducen a lenguaje Matlab, de manera que se pueden simular paso a paso y el alumno puede observar las trayectorias, velocidades y aceleraciones articulares durante cada uno de los movimientos realizados. Después de la simulación y depuración del programa RAPID el alumno puede descargar y probar el programa en un robot ABB IRB140 real que se encuentra en el laboratorio, con lo que puede comprobar de forma fehaciente el trabajo realizado.

**5.7. Práctica transversal: Adición de un robot a la librería**

El alumno incluye, como actividad transversal a todas las prácticas, un brazo robótico dentro de la librería. Para ello utilizará ficheros CAD nor-

malmente proporcionados por los principales fabricantes de robots. Además de proporcionar los gráficos del robot, el alumno deberá resolver el problema cinemático inverso y directo, así como proporcionar los parámetros dinámicos del brazo.

**6. CONCLUSIONES**

Se ha presentado una librería destinada a la docencia de robótica de brazos manipuladores. Se ha implementado como una *toolbox* de Matlab y cuenta con características que la diferencian de otras herramientas similares, principalmente la capacidad para representar robots de diferentes fabricantes, dibujarlos como sólidos tridimensionales y poder simular programas escritos en un lenguaje industrial (RAPID). La herramienta se ha empleado durante el curso 2011-2012 en la asignatura “4747 Control de robots y sistemas sensoriales”, teniendo una buena acogida. Algunos de los robots integrados han sido desarrollados por alumnos durante este último curso y se espera seguir desarrollando más durante los cursos siguientes. En general,



el alumno se siente motivado al ver que el esfuerzo realizado se traduce en un resultado tangible que puede ser usado por otros. Finalmente, como trabajo futuro, se incluirán modelos de robots paralelos en la librería.

### Agradecimientos

El trabajo presentado en este artículo ha sido realizado gracias al proyecto: “EXPLORACIÓN INTEGRADA DE ENTORNOS MEDIANTE ROBOTS COOPERATIVOS PARA LA CREACIÓN DE MAPAS 3D VISUALES Y TOPOLÓGICOS QUE PUEDAN SER USADOS EN NAVEGACIÓN CON 6 GRADOS DE LIBERTAD”. DPI 2010-15308, concedido por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

### Referencias

- [1] ABB, RobotStudio 5, [www.robotstudio.com](http://www.robotstudio.com)
- [2] Candelas, F.A. and Puente, S. and Torres, F. and Ortiz, F. and Gil, P. and Pomares, J. A virtual laboratory for teaching robotics. *International Journal of Engineering Education*, 19(3):363–370, 2003.
- [3] Corke, P.I., (1996) A Robotics Toolbox for MATLAB, *IEEE Robotics and Automation Magazine*, Volume 3(1), pp. 24-32.
- [4] Dormido, S., (2004) Control learning: present and future. *Annual Reviews in Control*, no. 28, pp. 115–136.
- [5] KUKA Sim, KUKA Industrial Robots, [www.kuka.com](http://www.kuka.com)
- [6] Paul, R. P. and Zhang, H. (1986) Computationally efficient kinematics for manipulators with spherical wrists, *Int. J. Robot. Res.*, vol. 5, no. 2, pp. 32–44.
- [7] SimMechanics, The Mathworks, User’s Guide, 2005.
- [8] Solutions in Motion. MotoSim, Motoman Yaskawa Company, [www.motoman.com](http://www.motoman.com).
- [9] Tsai, L-W (1999) Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators, *John Wiley and Sons*, ISBN: 0-471-32593-7.
- [10] Walker, M. W. and Orin, D. E. (1982) Efficient dynamic computer simulation of robotic mechanisms. *ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, 104:205-211.
- [11] Zlajpah, L., (2008) Simulation in robotics. *Mathematics and Computers in Simulation*. Elsevier num. 79 pp. 879–897.

