

ACTAS

DE LAS

XXXVIII Jornadas de Automática

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



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo



CEA
*Comité Español
de Automática*

Colabora

Gijón

Convention Bureau

Actas de

XXXVIII

Jornadas de Automática

© 2017 Universidad de Oviedo
© Los autores

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

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

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

Prefacio

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

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

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

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

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

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López
Presidente del Comité Organizador

Program Committee

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

Daniel Pérez	University of Oviedo
Emilio Pérez	Universitat Jaume I
Juan Pérez Oria	Universidad de Cantabria
MiguelÁngel Ridao	Universidad de Sevilla
Gregorio Sainz-Palmero	Universidad de Valladolid
Antonio Sala	Universitat Politecnica de Valencia
Ester Sales-Setién	Universitat Jaume I
Jose Sanchez	UNED
Javier Sanchis Saez	Universitat Politecnica de Valencia (UPV)
José Pedro Santos	ITEFI-CSIC
Matilde Santos	Universidad Complutense de Madrid
Alvaro Serna	University of Valladolid
José Enrique Simó	Universidad Politécnica de Valencia
José A. Somolinos	ETS I Navales. Universidad Politecnica de Madrid
Fernando Tadeo	Univ. of Valladolid
Alejandro Tapia	Universidad de Loyola Andalucía
David Tena	Universitat Jaume I
Jesús Torres	Universidad de La Laguna
Pedro M. Vallejo	Universidad de Salamanca
Guilherme Vianna	Universidad de Sevilla
Alejandro Vignoni	AI2 - UPV
Ramón Vilanova	UAB
Francisco Vázquez	Universidad de Cordoba
Jesús M. Zamarreño	University of Valladolid

Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

Balbastre, Patricia
Beltrán de La Cita, Jorge
Bermudez-Cameo, Jesus
Blanco-Claraco, Jose-Luis
Blanes, Francisco
Bonin-Font, Francisco

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

Garita, Cesar
Gimenez, Antonio
Gruber, Patrick
Guindel, Carlos

Hernandez Ruiz, Alejandro
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

Marin, Raul
Marín Plaza, Pablo
Mañanas, Miguel Angel
Morales, Rafael
Moreno, Francisco-Angel

Nuñez, Luis Ramón

Ponz Vila, Aurelio
Posadas-Yague, Juan-Luis
Poza-Luján, Jose-Luis
Pumarola, Albert

Raya, Rafael
Revestido Herrero, Elías
Rocon, Eduardo
Ruiz Sarmiento, José Raúl
Ruiz, Adria

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor

Table of Contents

Ingeniería de Control

TÚNEL DE AGUA PARA PRUEBAS Y CARACTERIZACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES DE TURBINAS HIDROCINÉTICAS	1
<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>	

INTERFAZ DE CONTROL PARA UN ROBOT MANIPULADOR MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL

Elena Peña-Tapia, Juan Jesús Roldán, Mario Garzón, Andrés Martín-Barrio y Antonio Barrientos
 Centro de Automática y Robótica (UPM-CSIC), Universidad Politécnica de Madrid
 c/ José Gutiérrez Abascal, nº2, 28006 Madrid

elena.ptapia@alumnos.upm.es, jj.rolan@upm.es, ma.garzon@upm.es, andres.mb@upm.es, antonio.barrientos@upm.es

Resumen

Las tecnologías inmersivas como la Realidad Virtual tienen potencial para mejorar la teleoperación de los robots. Estas tecnologías transportan al operador al espacio de trabajo, le proporcionan información sobre la misión y le permiten comandar los robots de manera intuitiva. En este trabajo se ha integrado un robot manipulador Kinova Jaco² en un entorno de realidad virtual visualizado con las gafas de realidad virtual HTC Vive. La interfaz permite tanto la monitorización del brazo robótico (estado de las articulaciones, localización del efector, acciones sobre su entorno...) como el comando del mismo (mediante el envío de metas al efector). Además, el trabajo aborda con éxito la conexión entre el mundo de los robots, dominado por Robot Operating System (ROS), y el mundo de la realidad virtual, recreado mediante Unity y Steam VR. Las primeras pruebas con operadores muestran el potencial de esta interfaz: la transmisión de información espacial, el sistema de comando intuitivo y la operación en condiciones de seguridad. En trabajos futuros se abordará la integración de información sobre el entorno obtenida mediante cámaras 3D, así como la visualización de las trayectorias del robot manipulador hacia sus metas.

Palabras clave: Robótica, Robot Manipulador, Interfaz, Realidad Virtual.

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En los últimos años las misiones robóticas han experimentado un gran desarrollo y se han aplicado en múltiples campos como la protección de infraestructuras [4], monitorización ambiental [11], etc. Estas misiones presentan dificultades ligadas a la utilización de múltiples robots, la realización de tareas complejas o el despliegue en escenarios desestructurados.

Algunos de los problemas de factores humanos en las misiones robóticas son el exceso de carga de trabajo, la falta de conciencia de situación, un in-

adecuado nivel de estrés que pueda dar lugar a estados de ansiedad o aburrimiento y una falta o exceso de confianza en la automatización. Estos problemas pueden provocar que las decisiones del operador sean incorrectas y sus acciones de control provoquen desde pérdidas de eficiencia hasta accidentes con los robots.

Estos retos pueden ser abordados mediante el desarrollo de interfaces que asuman algunas funciones del operador, transmitan la información adecuada de la forma adecuada, mantengan su atención durante la misión y favorezcan la toma de decisiones. En particular, estas interfaces exploran posibilidades como las interacciones multimodales, las tecnologías inmersivas, los componentes predictivos y los paneles adaptativos.

En este trabajo se ha desarrollado una interfaz mediante realidad virtual para la monitorización y el control de un robot manipulador. Esta interfaz emplea tecnologías inmersivas (realidad virtual) para introducir al operador en el entorno de trabajo y mejorar su percepción sobre las acciones del robot, así como interacciones multimodales (mandos con vibración) para reforzar la información visual y facilitar el comando del robot.

El resto de esta comunicación está organizada de la siguiente manera: La sección 2 recopila algunos desarrollos actuales de interfaces inmersivas para misiones robóticas. La sección 3 presenta el sistema formado por el robot manipulador y la interfaz en realidad virtual. La sección 4 describe el robot manipulador, así como su sistema de planificación y control de trayectorias. La sección 5 describe la interfaz de realidad virtual y aborda tanto la visualización de la información como la generación de los comandos. Por último, la sección 6 resume los principales resultados del trabajo y las posibles continuaciones del mismo.

2 ESTADO DEL ARTE

Las interfaces de operador para robots deben integrar estas informaciones [1]: las medidas de los sensores de los robots, los comandos enviados a los robots, el estado actual de los robots (por ejemplo, el nivel de batería), el estado actual de las tareas

(por ejemplo, el porcentaje de realización) y los mapas necesarios para la navegación.

El rendimiento de estas interfaces puede verse afectado por los problemas que se presentan en la tabla 1. Factores como la limitación del campo visual, la pérdida de la orientación o la degradación de la percepción de la profundidad han de tenerse en cuenta en su diseño. El desarrollo de interfaces inmersivas es una de las estrategias más prometedoras para abordar estos problemas.

Tabla 1: Problemas en la teleoperación.

Problema	Posible solución
Limitación del campo visual	Inmersión Múltiples cámaras
Desorientación	Mapas
Pérdida del contexto	Inmersión
Degradación de la profundidad	Inmersión
Retardo en las comunicaciones	Predicción Adaptación

A día de hoy existen tres tipos de tecnologías inmersivas: la realidad aumentada (RA), la realidad virtual (RV) y la realidad mixta (RM).

La realidad aumentada superpone elementos virtuales sobre los vídeos de los robots. Estos elementos virtuales pueden incluir mapas, elevación del terreno, obstáculos, rutas de los robots, posiciones de los objetivos y otros datos relevantes. La literatura contiene ejemplos de interfaces de realidad aumentada para robots manipuladores [5], robots quirúrgicos [15] y flotas con múltiples robots [6].

La realidad virtual recrea escenarios combinando representaciones de elementos reales (por ejemplo, robots y obstáculos) y elementos virtuales (por ejemplo, rutas y objetivos). En la literatura se pueden encontrar desarrollos de interfaces de realidad virtual para robots móviles [9] y manipuladores industriales [10]. Algunos estudios empiezan a demostrar el potencial de estas interfaces para mejorar la conciencia de la situación de los operadores sin incrementar sustancialmente su carga de trabajo [12].

Por último, la realidad mixta combina aumentada y virtual, generando escenarios en los que los operadores pueden interactuar con objetos tanto reales como virtuales. Esta tecnología es reciente y apenas se ha implementado en interfaces, pero existe algún desarrollo para robots industriales [3] y móviles [7].



Figura 2: Brazo robótico Jaco² de Kinova.

3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La integración del robot manipulador en la realidad virtual requiere la conexión entre el mundo real y el mundo virtual, tal y como se muestra en la figura 1. El mundo real (descrito en la sección 4) está formado por el robot manipulador y su espacio de trabajo y está dominado por *Robot Operating System (ROS)*, dado que este sistema se emplea tanto para la planificación como para el control de este robot. Por su parte, el mundo virtual (descrito en la sección 5) contiene la interfaz de operador y está controlado por *Unity* y *Steam VR*, ya que estas herramientas son utilizadas para la reproducción y la visualización de la realidad virtual.

4 ROBOT MANIPULADOR

Para el desarrollo de este trabajo se ha utilizado un robot manipulador Jaco² fabricado por *Kinova Robotics*. Se trata de un brazo robótico de seis grados de libertad que incluye un efector final formado por tres dedos plásticos flexibles. Soporta una carga de peso de 1,6 kg y consigue un alcance de 900 mm. Este brazo permite también realizar control de fuerza, haciendo que sea seguro para trabajar de forma colaborativa con personas. El robot manipulador formado por el brazo y su efector pueden observarse en la figura 2.

El control del robot se realiza a través de una conexión USB o Ethernet entre un ordenador, en el que se ejecuta la planificación de trayectorias y demás tareas de alto nivel, y un controlador embebido en el brazo, en el que se ejecuta el control de las articulaciones y, en caso de ser necesaria, la cinemática inversa.

La planificación de los movimientos del brazo utiliza como herramienta principal la *Open Motion Planning Library (OMPL)* [13], que es una librería

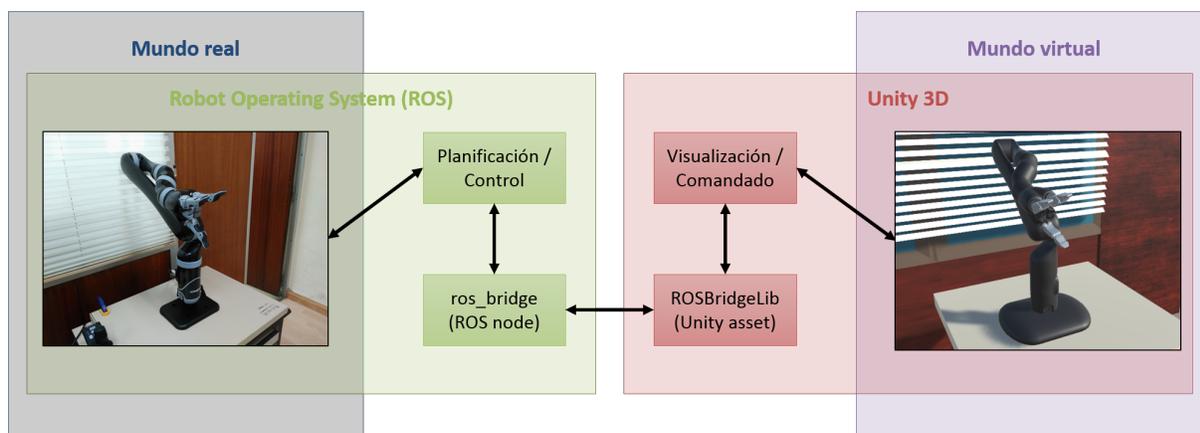


Figura 1: Esquema del sistema formado por el robot manipulador y la realidad virtual.

de código abierto que implementa varios algoritmos de planificación basados en muestreo: algunos ejemplos son PRM, RRT, EST, SBL, KPIECE y SyCLOP. Esta librería está integrada en el software de manipulación móvil *MoveIt!*, que provee funcionalidades cinemáticas como la comprobación de colisiones, la percepción 3D y otras herramientas.

Para los experimentos realizados, se utilizó el planificador *RRT-connect* [8]. Primero, este planificador obtiene un estado aleatorio q_r en el espacio articular. Luego busca entre los estados previamente observados el más cercano a q_r y lo denota como q_c . Finalmente expande el árbol, teniendo en cuenta las capacidades cinemáticas del robot, desde el estado q_c en dirección a q_r hasta llegar a un estado válido q_m , el cual es añadido al árbol de exploración. La figura 3 muestra un caso de uso de esta herramienta en el que el robot manipulador alcanza las metas enviadas desde la realidad virtual.

La configuración del robot en *MoveIt!* se realiza mediante un fichero Unified Robot Description Format (URDF), que utiliza un formato XML para representar el modelo del robot, sus sensores y la escena en la que se encuentra. El modelo utilizado parte de un fichero básico proporcionado por el fabricante, al cual se agrega la descripción de la escena y los sensores adicionales que se utilizan. A partir de este modelo URDF, *MoveIt!* obtiene la información necesaria para el verificador de colisiones y los demás elementos necesarios para la planificación del movimiento.

Una vez realizada la configuración inicial, *MoveIt!* se comunica con el driver del robot para obtener la posición de cada articulación y demás parámetros necesarios para conocer su estado actual del robot. La configuración final o la posición del robot puede ser enviada a *MoveIt!* mediante una interfaz de

control o a través de un mensaje de ROS. Una vez recibida la meta, se realiza la planificación y se obtiene la trayectoria de cada articulación, que es enviada de vuelta al driver del robot, que se encarga de comunicarse con el brazo y controlar los movimientos del mismo.

Para poder controlar el manipulador desde la interfaz de realidad virtual es necesario establecer una comunicación bidireccional entre el entorno *Unity* y los componentes de software del robot, los cuales trabajan bajo ROS. Para esto se utiliza el componente *RosBridge*¹, que permite comunicar nodos de ROS con programas externos, convirtiendo los mensajes estándar de ROS en mensajes JSON, que pueden ser enviados a través de una interfaz web. *RosBridge* establece un protocolo para el establecimiento de las comunicaciones, es decir, para suscribirse o publicar en un tópico de ROS. Además, este paquete posee una implementación que permite el envío de mensajes utilizando web-sockets.

Como se mencionó anteriormente, la comunicación entre *RosBridge* y *Unity* es bidireccional. *RosBridge* recibe de *Unity* los mensajes de control, formados por comandos de movimiento y otras señales que controlan la ejecución de la misión. Por otra parte, *RosBridge* envía de vuelta el estado del robot, que consiste en la posición de cada una de las articulaciones, y en caso de estar disponibles, las medidas de los sensores y cualquier otra información que permita al operador tener un conocimiento adecuado de la situación.

La figura 4 muestra un esquema general de las comunicaciones entre el robot y *Unity*. Como se puede observar, una vez recibidos los comandos desde *RosBridge*, un nodo intermedio se encarga de procesarlos y convertirlos en mensajes que pueden ser interpretados como órdenes de con-

¹http://wiki.ros.org/rosbridge_suite

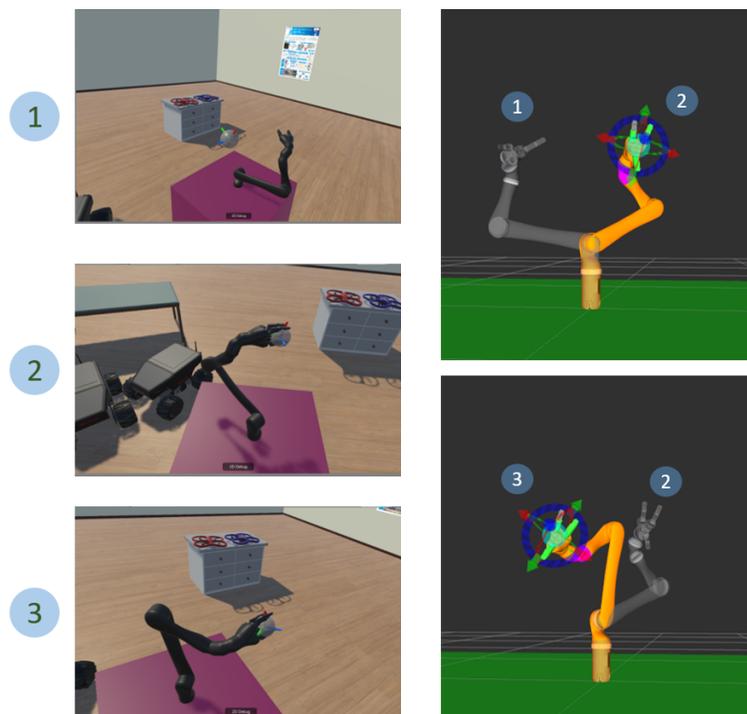


Figura 3: Planificación de los movimientos del robot manipulador.

trol válidas para *MoveIt!*, este nodo envía también las señales necesarias para iniciar, detener o reiniciar el movimiento del brazo. *MoveIt!* procesa estos mensajes, realiza la planificación de movimientos y envía las trayectorias articulares al controlador del robot. Este último se encarga de la comunicación con el controlador embebido del robot y envía de vuelta mensajes con el estado de las articulaciones. *RosBridge* envía este mensaje directamente a *Unity*, donde se procesa para ser presentado al operador.

5 REALIDAD VIRTUAL

Para el desarrollo de la interfaz por realidad virtual se ha utilizado el entorno *Unity* y para su visualización se han empleado las gafas de realidad virtual *HTC Vive* y el programa *Steam VR*. *Unity* es un entorno de desarrollo de videojuegos que proporciona multitud de recursos como escenarios realistas, modelos dinámicos y cinemáticos, personajes con inteligencia artificial, etc. El conjunto *HTC Vive* incluye un casco con gafas de realidad virtual y auriculares, dos controladores con botones y vibración y dos estaciones base para posicionar estos elementos en la habitación. Por último, *Steam VR* es un complemento para *Unity* necesario para compilar y ejecutar los programas en la realidad virtual.

El modelo del robot se ha introducido en *Unity* descompuesto en ocho eslabones: base, hombro,

brazo, antebrazo, muñeca 1, muñeca 2, mano y dedos. Cada eslabón se ha implementado mediante dos objetos: uno para ensamblarlo con el anterior con la posición y la orientación adecuadas y otro para permitir el movimiento de su articulación. El resultado es un robot virtual con posiciones y movimientos que coinciden con los del robot real.

Además, se han diseñado dos escenarios para el robot manipulador: uno para pruebas en el que el robot virtual se encuentra en un escenario vacío y otro para demostraciones que reproduce el laboratorio del robot real. La herramienta *Unity* y, sobre todo, la amplia gama de recursos disponibles en internet permite el modelado de todo tipo de escenarios interiores o exteriores: por ejemplo, casas, oficinas, industrias, cultivos, bosques...

Para el comando del manipulador se plantearon varios sistemas intuitivos y finalmente se optó por una esfera con tres ejes. La esfera representa la posición que tiene que alcanzar el efector del robot, mientras que los tres ejes definen la orientación que debe adquirir el mismo. Cuando la esfera está en el efector, el robot permanece en reposo. En cualquier momento, el operador puede agarrar la esfera, desplazarla por la escena y soltarla en otra localización. Cuando el operador suelta la esfera, el robot se desplaza hasta esta localización.

Además, se ha introducido un sistema de teletransporte que permite al operador escoger el

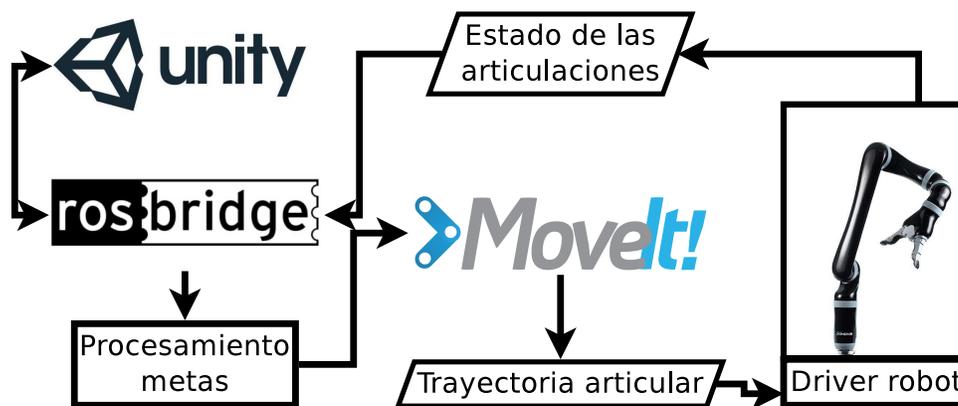


Figura 4: Esquema de comunicaciones del robot con el entorno *Unity*.

punto de vista desde el que observar la escena y comandar el robot. Para teletransportarse, el usuario sólo tiene que presionar un botón en el mando y dirigir la parábola hacia el punto deseado del suelo (ver figura 5). Este sistema es especialmente útil para tener una visión adecuada de las tareas de manipulación y enviar las metas del efector de forma precisa.

En el comandado del manipulador intervienen varios scripts. El primero de ellos (*Interactable*) se desarrolló tomando como base un ejemplo de *Steam VR* y controla los movimientos de la esfera de comandado, permitiendo al usuario cogerla, desplazarla y soltarla. El resto de los scripts pertenecen a la librería *ROSBridgeLib* [2] y han sido adaptados para trabajar con los mensajes que emplea el robot manipulador.

El script *RealSenseViewer* establece la comunicación por socket con el paquete *RosBridge* y crea los suscriptores y publicadores pertinentes. En este caso, el programa desarrollado en *Unity* se suscribe a un mensaje con las posiciones de las articulaciones (*sensor_msgs/JointState*) y publica otro mensaje con las metas para el efector (*geometry_msgs/Pose*).

Cada mensaje que se desee intercambiar entre *Unity* y *ROS* se debe implementar mediante dos scripts. El primero tiene que definir la estructura del mensaje, proporcionar constructores a partir de un *JSONNode* (mensaje recibido por el socket) y de cada una de las variables del mensaje y proporcionar métodos para acceder a dichas variables. El segundo se ocupa de establecer el tipo de mensaje y el tópico en el que se debe recibir.

6 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados de las primeras pruebas con operadores indican que la interfaz aporta beneficios

relacionados con el conocimiento de la situación y el comandado intuitivo del robot. Los operadores valoran positivamente la libertad para elegir el punto de vista desde el que observan el robot, así como la facilidad de comandar el robot moviendo la meta de su efector.

En trabajos futuros se reforzará la información visual del robot y su entorno, mostrando el espacio de trabajo, la manipulabilidad y las trayectorias planificadas. Además, se prevé el desarrollo de un método de comandado directo que permita modificar una a una las orientaciones de las articulaciones. Por último, se estudiará el modelado automático del entorno del robot, empleando cámaras 3D y mostrando las nubes de puntos.

Agradecimientos

La investigación que ha llevado a estos resultados ha recibido fondos de los proyectos RoboCity2030-III-CM (Robótica aplicada a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos. fase III; S2013/MIT-2748), financiado por los Programas de Actividades I+D en la Comunidad de Madrid y cofinanciado por los Fondos Estructurales de la Unión Europea, DPI2014-56985-R (Protección robotizada de infraestructuras críticas), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España, y SAVIER (Situational Awareness Virtual Environment), dirigido y financiado por Airbus Defence & Space.

Referencias

- [1] Chen, J.Y.C., Haas, E.C., Barnes, M.J., (2007) Human performance issues and user interface design for teleoperated robots. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37(6):1231-1245.
- [2] Codd-Downey, R., Forooshani, P. M., Speers, A., Wang, H., Jenkin, M. (2014). From ROS

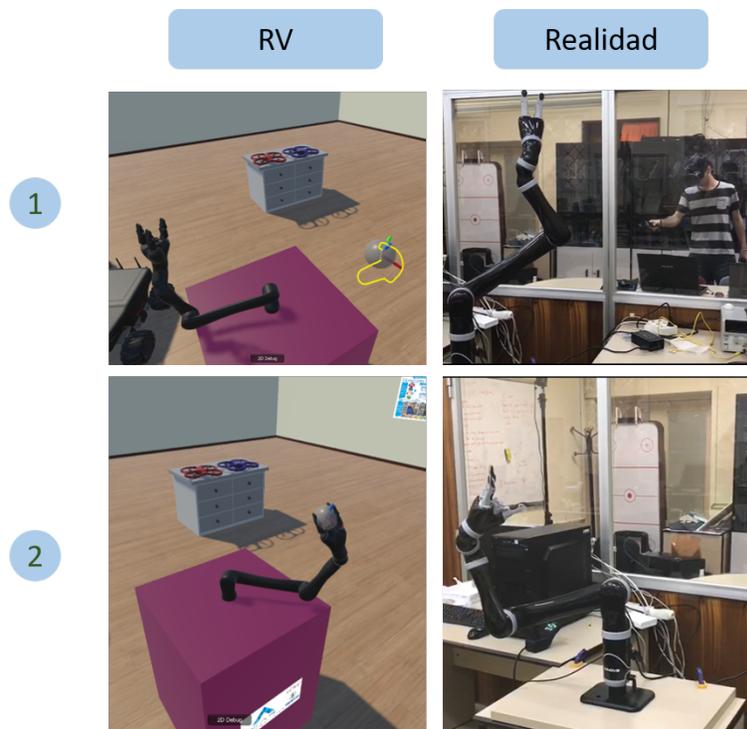


Figura 5: Comandado del robot manipulador.

- to unity: Leveraging robot and virtual environment middleware for immersive teleoperation. In *Information and Automation (ICIA), 2014 IEEE International Conference on* (pp. 932-936). IEEE.
- [3] Foit, K. (2014). Mixed reality as a tool supporting programming of the robot. In *Advanced Materials Research (Vol. 1036, pp. 737-742)*. Trans Tech Publications.
- [4] Garzón, M., Valente, J., Roldán, J. J., Cancar, L., Barrientos, A., Del Cerro, J. (2015). A multirobot system for distributed area coverage and signal searching in large outdoor scenarios. *Journal of Field Robotics*.
- [5] Gaschler, A., Springer, M., Rickert, M., Knoll, A. (2014). Intuitive robot tasks with augmented reality and virtual obstacles. In *Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on* (pp. 6026-6031). IEEE.
- [6] Ghiringhelli, F., Guzzi, J., Di Caro, G. A., Caglioti, V., Gambardella, L. M., Giusti, A. (2014). Interactive augmented reality for understanding and analyzing multi-robot systems. In *Intelligent Robots and Systems (IROS 2014), 2014 IEEE/RSJ International Conference on* (pp. 1195-1201). IEEE.
- [7] Hoenig, W., Milanés, C., Scaria, L., Phan, T., Bolas, M., Ayanian, N. (2015). Mixed reality for robotics. In *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2015 IEEE/RSJ International Conference on* (pp. 5382-5387). IEEE.
- [8] Kuffner, J. J., LaValle, S. M. (2000). RRT-connect: An efficient approach to single-query path planning. In *Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA'00. IEEE International Conference on (Vol. 2, pp. 995-1001)*. IEEE.
- [9] Lin, A., Milshteyn, A., Herman, G., Garcia, M., Liu, C., Rad, K., Boussalis, H. (2014). Virtual reality head-tracking observation system for mobile robot. In *Embedded Computing (MECO), 2014 3rd Mediterranean Conference on* (pp. 152-157). IEEE.
- [10] Matsas, E., Vosniakos, G. C. (2017). Design of a virtual reality training system for human-robot collaboration in manufacturing tasks. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 11(2), 139-153.
- [11] Roldán, J. J., Garcia-Aunon, P., Garzón, M., de León, J., del Cerro, J., Barrientos, A. (2016). Heterogeneous Multi-Robot System for Mapping Environmental Variables of Greenhouses. *Sensors*, 16(7), 1018.
- [12] Ruiz, J. J., Viguria, A., Martínez-de-Dios, J. R., Ollero, A. (2015). Immersive displays

for building spatial knowledge in multi-UAV operations. In Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2015 International Conference on (pp. 1043-1048). IEEE.

- [13] Sucas, I. A., Moll, M., Kavraki, L. E. (2012). The open motion planning library. IEEE Robotics & Automation Magazine, 19(4), 72-82.
- [14] Sucas, I. A., Chitta, S. (2013). Moveit!. Online at <http://moveit.ros.org>.
- [15] Wen, R., Tay, W. L., Nguyen, B. P., Chng, C. B., Chui, C. K. (2014). Hand gesture guided robot-assisted surgery based on a direct augmented reality interface. Computer methods and programs in biomedicine, 116(2), 68-80.