

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 Politécnic de Madrid
David Martin Gomez	Universidad Carlos III de Madrid
Fernando Matia	Universidad Politecnica de Madrid
Joaquim Melendez	Universitat de Girona
Juan Mendez	Universidad de La Laguna
Luis Moreno	Universidad Carlos III de Madrid
María Dolores Moreno Rabel	Universidad de Extremadura
David Muñoz	Universidad de Sevilla
Antonio José Muñoz-Ramirez	Universidad de Málaga
Jose Luis Navarro	Universidad Politecnica de Valencia
Manuel G. Ortega	University of Seville
Andrzej Pawlowski	UNED
Mercedes Perez de La Parte	University of La Rioja
Ignacio Peñarrocha	Universitat Jaume I de Castelló, Spain
José Luis Pitarch	Universidad de Valladolid

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

Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

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

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

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

Hernandez Ruiz, Alejandro
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

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

Núñez, Luis Ramón

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

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

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor

Table of Contents

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. Zamarréño, 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 Rodriguez-Ugarte, Irma Nayeli Angulo Sherman, Eduardo Iáñez and Jose M. Azorin</i>	
DETECCIÓN, MEDIANTE UN GUANTE SENSORIZADO, DE MOVIMIENTOS SELECCIONADOS EN UN SISTEMA ROBOTIZADO COLABORATIVO PARA HALS	334
<i>Lidia Santos, José Luis González, Eusebio de La Fuente, Juan Carlos Fraile and Javier Pérez Turiel</i>	
BIOSENSORES PARA CONTROL Y SEGUIMIENTO PATOLOGÍAS REUMATOIDES	340
<i>Amparo Tirado, Raúl Marín, José V Martí, Miguel Belmonte and Pedro Sanz</i>	
Assessment of tremor severity in patients with essential tremor using smartwatches	347
<i>Miguel A. Velasco, Roberto López-Blanco, Juan P. Romero, M. Dolores Del Castillo, J. Ignacio Serrano, Julián Benito-León and Eduardo Rocon</i>	
INTERFAZ CEREBRO-ORDENADOR PARA EL CONTROL DE UNA SILLA DE RUEDAS A TRAVÉS DE DOS PARADIGMAS DE NAVEGACIÓN	353
<i>Fernández-Rodríguez Álvaro, Velasco-Álvarez Francisco and Ricardo Ron-Angevin</i>	
<hr/>	
Control Inteligente	
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>	

EVALUACIÓN DE UN ENTORNO DE TELEOPERACIÓN CON ROS

David Vargas Frutos (david.vargas@upm.es), Juan Carlos Ramos Martínez (juancarlos.ramos@upm.es), José Luis Samper Escudero (joseluis.samper@upm.es), Miguel A. Sánchez-Urán González (miguelangel.sanchezurán@upm.es), Manuel Ferre Pérez (manuel.ferre@upm.es)

Centro de Automática y Robótica (CAR) UPM-CSIC, Universidad Politécnica de Madrid.

Resumen

En este artículo se resume el desarrollo de un sistema de teleoperación para el Grips de Kraft Tele-Robotics. La integración con ROS permite el uso de varias herramientas de análisis de datos, visualización, simulación, e interacción con múltiples sensores. Como instrumento maestro del sistema se propone el dispositivo háptico Phantom Omni de SensAble, para el que se ha desarrollado una reflexión de fuerzas.

Palabras clave: Robótica, teleoperación, háptico, realimentación de fuerzas.

1. INTRODUCCIÓN

El hombre a lo largo de la historia ha utilizado herramientas para aumentar el alcance de su capacidad de manipulación. Esto desembocó en lo que se conoce como sistemas de teleoperación maestro-esclavo, en los que el manipulador esclavo reproduce con fidelidad los movimientos que se ejecutan en el dispositivo maestro [?].

Dentro de la teleoperación, el sistema de control más básico es el unilateral, en el que el maestro simplemente genera las señales de referencia, y sea en posición o en velocidad, y el esclavo reproduce esas señales. El control bilateral, por otro lado, es una evolución de éste, en el que se genera una realimentación de información, normalmente en forma de fuerza aplicada sobre la mano del operador. Un esquema de este tipo de sistema puede observarse en la Figura 1. Los problemas asociados a este tipo de control son los debidos a los retardos del esclavo, tanto en su movimiento, como en la realimentación de fuerzas que éste debería generar.

La realimentación de información al operador se hace de diferentes formas. En primer lugar, de forma visual mediante el envío de imágenes de vídeo o simulaciones gráficas. El sentido de la vista permite conocer de qué elementos se compone la zona de trabajo, así como sus características de dimensión, posición, etc. Por otro lado, el sentido del tacto informa sobre los esfuerzos que se producen

en la manipulación de los objetos. Sistemas hápticos como el aquí descrito, ayudan a la inmersión en el entorno mediante una realimentación en fuerza. Por último, la realimentación auditiva no suele ser utilizada y se limita a sonidos de alarmas o a los producidos por las propias máquinas.

Cuando se diseña un sistema de teleoperación, una de las cosas que se debe tener en cuenta es el tipo de señales que se quieren transmitir entre el dispositivo maestro y el esclavo. Los dos esquemas de teleoperación bilateral más comunes son el esquema posición-posición y fuerza-posición [?]. El esquema de fuerza-posición, al igual que el de posición-posición, tiene un bucle cerrado de posición en el esclavo, tomando como referencia la posición en el maestro. Sin embargo, precisa de un sensor que sirva para obtener la fuerza/par que aplica el esclavo sobre su entorno o viceversa. Esta información es enviada al maestro y éste refleja esa lectura en bucle abierto de fuerza sobre el operador. Un amplio estudio sobre el control bilateral se realiza en [?], donde se analizan esquemas clásicos de control bilateral y esquemas con retardo temporal.

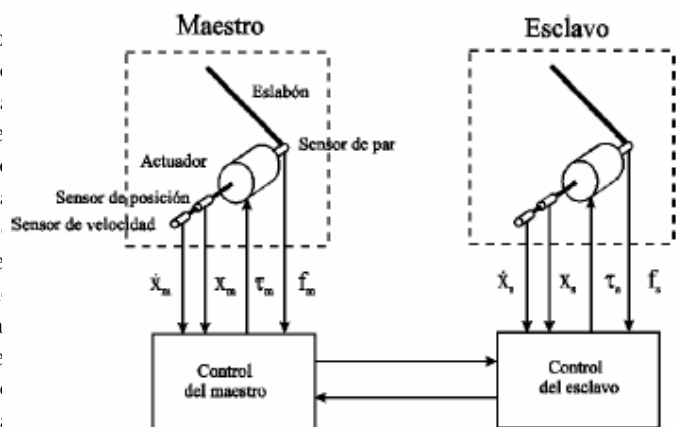


Figura 1: Esquema general de control bilateral. El maestro transmite al esclavo información acerca de distintos parámetros, como posición y velocidad. El esclavo realimenta al maestro con información que el operador percibe en forma de fuerzas.

También son posibles sistemas de control bilate-

ral en los que no existan sensores de fuerza. Para ello, es necesario realizar una estimación de los estados y fuerzas del sistema, y después usar estas estimaciones en los controladores. Un ejemplo de estos sistemas es desarrollado en [?]. En robots hidráulicos, como es este caso, puede ser calculada una aproximación del par de reacción que existe en cada articulación a partir de la diferencia de presión existente en los dos cilindros hidráulicos.

En relación a las interfaces de control, se puede hablar de interfaces directas, en las que el operador controla directamente el manipulador, o interfaces multimodales, que toman información de varios sensores, la combinan, y el operador la puede percibir a través de varios sentidos, lo que le permite un mejor control del manipulador. Por último, las interfaces para control supervisado incluyen todo tipo de dispositivos para aumentar el grado de inmersión en el entorno, dispositivos que pueden ser unas gafas de realidad virtual o un dispositivo háptico. El uso de estas interfaces crece cada vez más, y es en el aspecto háptico en lo que se centra este artículo.

El estudio aquí mostrado presenta la teleoperación de un brazo robótico de 6 grados de libertad mediante un dispositivo háptico de también 6 grados de libertad, con la posibilidad de realimentar al operador de forma proporcional a las fuerzas que actúen sobre el manipulador.

En la sección 2 se presentan algunas nociones sobre ROS y su uso en teleoperación. En la sección número 3 se procede a describir los equipos que conforman el entorno de teleoperación, en la sección número 4 se comentan aspectos sobre el tipo de las arquitecturas de teleoperación establecidas y sobre la realimentación de fuerzas generada en el dispositivo maestro, para finalmente, en la sección 5 concluir con un análisis de los resultados obtenidos.

2. ROS APLICADO A SISTEMAS TELEOPERADOS

2.1. ROS

ROS (Robotic Operating System) [?] es una plataforma de desarrollo *open source* para sistemas robóticos. Se compone por un conjunto de librerías, herramientas y estándares que ayudan al desarrollo de software robótico. Provee elementos tales como controladores y algoritmos, como por ejemplo algoritmos de navegación o de teleoperación. Es un sistema basado en un concepto modular y distribuido. Los distintos módulos se llaman nodos y se comunican entre sí mediante mensajes transmitidos a través de *topics* o servicios, si-

guiendo un modelo de publicador/suscriptor. Este modelo permite un envío de información ágil y dinámico.

2.2. ROS EN TELEOPERACIÓN

ROS tiene compatibilidad con un gran número de robots de forma nativa, al igual que con un gran número de sensores y cámaras. Para ello, proporciona varios paquetes que pueden facilitar tareas como la generación correcta de trayectorias, o planificación de agarres. También tiene integración con dos potentes herramientas de simulación y visualización como son Gazebo y RViz, lo que hace de ROS una plataforma muy completa para el desarrollo de tareas de teleoperación.

Los controladores utilizados para teleoperación deben estar diseñados de tal forma que sean robustos ante retardos, saturación en los actuadores y otras no linealidades. ROS es capaz de proporcionar el estado del maestro y del esclavo en cada ciclo de ejecución, además de monitorizar parámetros importantes del modelo. También permite calcular transformaciones de coordenadas, de forma que se puede obtener la posición en el espacio de cualquier componente referenciado a cualquiera de los sistemas de coordenadas definidos. Esto permite realizar una operación sobre el esclavo de forma instantánea a la que se realiza sobre el maestro. Además, el propio framework integra y gestiona eficazmente distintas interfaces con los principales protocolos de comunicación como CAN-BUS, TCP/IP y UDP.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

El sistema real en el que se realizan los experimentos está formado por los siguientes componentes:

- Telemanipulador hidráulico Grips de Kraft TeleRobotics.
- Controlador en tiempo real de ©National Instruments NI-PXIe-8108.
- PC corriendo Labview 2011 conectado con el PXI.
- Sensor de Fuerza/Par ATI SI-130-10.
- Dispositivo háptico Phantom Omni de SensAble.

3.1. TELEMANIPULADOR GRIPS DE KRAFT TELERBOTICS

El brazo robótico utilizado es el modelo *Grips* del fabricante *Kraft TeleRobotics* mostrado en la Figura 2. Se trata de un manipulador hidráulico de

6 grados de libertad cuya operación se lleva a cabo bajo un sistema maestro-esclavo mediante el que se pueden realizar tareas con movimientos y velocidad humanos.

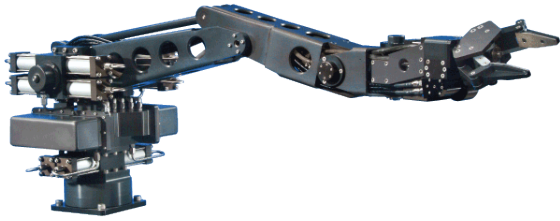


Figura 2: Brazo robótico hidráulico Grips de Kraft TeleRobotics utilizado como esclavo en el entorno de teleoperación bajo ROS.

Este sistema cuenta con la capacidad de reflejar las fuerzas que actúan sobre el brazo manipulador, de tal forma que el operador es realimentado con información de fuerzas y recibe así una mejor percepción del entorno de operación. Esta cualidad hace posible realizar tareas de un mayor grado de complejidad, como se ve en [?].

Como efectores finales se han usado dos pinzas diferentes. En primer lugar, una simple de dos dedos de *Kraft TeleRobotics*. Como segunda pinza, se usa una de tres dedos de *Robotiq*, que además dispone de sensores de fuerza en cada uno de los dedos. Las posibilidades de agarre de ésta última son variadas, ya que permite realizar agarre en tijera, con dos dedos, o adaptar los tres dedos a la forma del objeto a manipular. La decisión de usar como segunda pinza una de tres dedos es debido al equilibrio que tiene entre rendimiento y flexibilidad.

3.2. DISPOSITIVO HÁPTICO PHANTOM OMNI DE SENSABLE



Figura 3: Dispositivo háptico Phantom Omni de SensAble utilizado como maestro en el entorno de teleoperación bajo ROS.

Como recurso de control maestro se ha utilizado el *Phantom Omni* del fabricante *SensAble*, mostrado en la Figura 3.

Consiste en un dispositivo háptico de 6 grados de libertad, cuyas 3 primeras articulaciones son capaces de generar reflexión de fuerzas y que permite la interacción con entornos virtuales complejos. Puede medir de forma precisa la posición espacial tridimensional (X, Y, Z) y la orientación (giro, inclinación y dirección). Puede trabajar en ROS gracias al desarrollo de paquetes que hacen compatible su integración. En [?] se recoge un estudio sobre su análisis cinemático y manipulabilidad.

3.3. MODELO SIMULADO

Para el modelo simulado se ha utilizado Gazebo [?] como simulador debido a su potencia y a su facilidad de integración con ROS. Gracias al potente motor de físicas que posee Gazebo, se dispone de la capacidad de simular de forma precisa y totalmente realista el comportamiento de diversos entornos y escenarios bajo condiciones muy similares a la realidad. Debido a la complejidad de la puesta en marcha del sistema hidráulico del esclavo, así como a la peligrosidad de una operación imprecisa de un brazo robótico de tales dimensiones, el uso de Gazebo como base de testeo en simulación de los algoritmos desarrollados se torna fundamental.

Para dicha simulación se ha podido disponer de un modelo virtual del brazo robótico proporcionado por el fabricante. Se dispone también de los modelos de ambas pinzas facilitados igualmente por los fabricantes, con la necesidad de llevar a cabo la integración con el modelo global. Esto da lugar a un modelo virtual con un alto nivel de detalle y semejanza con el real. El modelo virtual utilizado se puede apreciar en la ilustración mostrada en la Figura 4.

Los modelos están formados por un conjunto de ficheros URDF. El acrónimo URDF proviene de *Unified Robot Description Format*, y es la forma que ROS tiene de representar modelos de robots. Lo que se hace generalmente es desglosar el modelo en ficheros XACRO primero, para después convertirlo a URDF. Cada fichero representa una parte del modelo general a través de un conjunto de *links* y de *joints*, por ejemplo el sensor de fuerza, o una de las pinzas.

Para las pruebas en simulación se ha diseñado un entorno similar al del laboratorio real, en el que se han añadido diferentes objetos para hacer pruebas de agarre, como son una esfera y un disco. Estos objetos servirán para comprobar las ventajas de cada una de las pinzas. La pinza de tres dedos, debido a su configuración, se adapta mejor

al agarre de la esfera, mientras que por otro lado, el disco es agarrado de forma más sencilla por el de dos dedos.

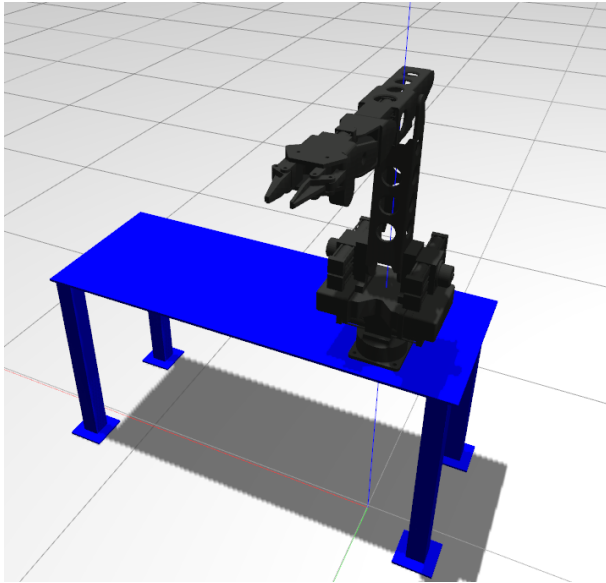


Figura 4: Simulación en Gazebo del entorno de manipulación. En el escenario real del laboratorio donde se ha llevado a cabo este trabajo, el brazo robótico Grips se encuentra situado sobre una estructura similar a una mesa, en la simulación se refleja fielmente dicha configuración.

En cuanto al dispositivo maestro, también se dispone de una interfaz gráfica para visualizar diferentes parámetros del mismo. Con los ficheros adecuados que especifican el modelo virtual del Phantom Omni, desde la herramienta RViz propia de ROS se puede monitorizar el dispositivo y la posición de cada una de sus articulaciones. Esto es útil para apreciar de una forma visual la información de posición y orientación de cada una de las articulaciones que se está transmitiendo por los *topics* correspondientes, en especial la referida al extremo final del dispositivo háptico. En la Figura 5 se puede apreciar la representación virtual del dispositivo háptico y el gizmo que indica de forma visual la posición y orientación de su extremo final.

4. ARQUITECTURAS DE TELEOPERACIÓN E INTERACCIÓN HÁPTICA

Uno de los factores que más influye a la hora de realizar este sistema teleoperado es el hecho de que el dispositivo háptico maestro no tiene la misma configuración cinemática que el brazo robótico esclavo, lo que hace necesario que se tenga que realizar una adaptación entre dispositivos.

Para ubicar el efector final del esclavo dentro del espacio de trabajo del brazo robótico en una posición semejante a la posición y orientación del efector final del maestro es necesario realizar una serie de transformaciones.

En cuanto a la posición, se realiza un proceso de escalado de las coordenadas cartesianas de la posición del efector final del esclavo aplicando un factor de conversión para cada eje. En este proceso de conversión se tienen en cuenta los alcances máximos de los efectores finales de maestro y esclavo en cada eje. Conociendo los límites de movimiento de cada caso se puede aplicar una conversión proporcional entre los distintos espacios de trabajo.

En cuanto a la rotación, se reformula la orientación de la ubicación del efector final del esclavo. Debido a que maestro y esclavo tienen configuraciones cinemáticas distintas, la posición natural o de reposo de ambos es distinta, y sus efectores finales tienen orientaciones respecto a sus sistemas de coordenadas locales prácticamente opuestas. La necesidad de realizar transformaciones entre las orientaciones de los efectores finales viene dada por la imposibilidad de alcanzar determinadas posiciones del esclavo manteniendo las orientaciones indicadas por el maestro.

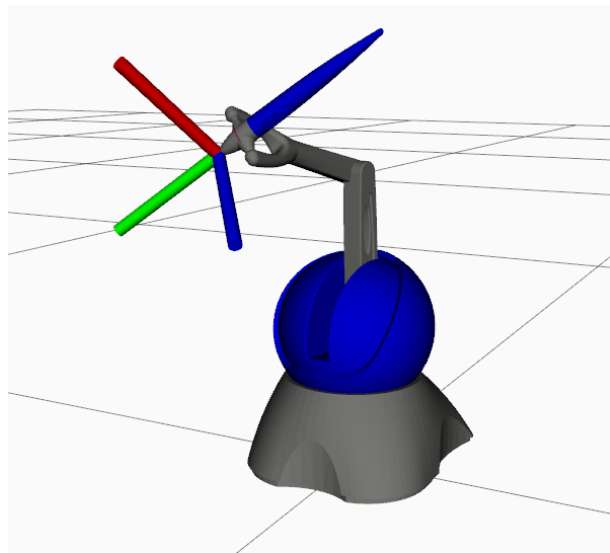


Figura 5: Modelo virtual del Phantom Omni

Con el objetivo de ubicar el efector final del esclavo en una posición determinada, se calcula la cinemática inversa del brazo robótico esclavo. Con los parámetros de la cinemática inversa es posible obtener la configuración angular de cada una de las articulaciones del brazo robótico para ubicar el efector final en tales posición y orientación.

En este punto cabe destacar que las posiciones que el esclavo es capaz de alcanzar tienen un determi-

nado número de orientaciones posibles. Por ello, si se indica al esclavo que se sitúe en una posición con una orientación que no es capaz de reproducir, los cálculos de cinemática inversa para esa posición en concreto devolverán un resultado negativo y se considerará que la posición pedida es inalcanzable. Como resultado, aunque las coordenadas cartesianas de la posición pedida al esclavo fueran posibles de alcanzar, si la orientación indicada no es la adecuada, el brazo robótico no se moverá a tal posición.

Una posible solución a este problema requiere realizar un cálculo exhaustivo de las rotaciones viables del efector final del esclavo para cada una de las incontables posiciones que el brazo robótico es capaz de alcanzar. Ante tal situación, se ha optado por una solución más inmediata, que consiste en relajar la tolerancia en términos de la orientación del efector final pedida al esclavo. De esta forma, se tendrán mayores probabilidades de que la cinemática inversa del brazo robótico pueda devolver resultados positivos para alcanzar la posición indicada por el maestro si se otorga menos prioridad a los requisitos de exactitud en la orientación.

Existen diversas librerías y métodos de cálculo de cinemáticas inversas [?]. Para este caso, se ha optado por calcular la cinemática inversa del esclavo usando la librería *TRAC-IK* [?]. Desarrollada recientemente, comprende un conjunto de paquetes integrados con ROS que proporcionan soluciones de cinemática inversa más eficientes que las calculadas por métodos habituales como KDL, basados en el cálculo de Jacobianas inversas. Tales algoritmos de convergencia aplican el método de Newton, que no siempre converge a una solución cuando se imponen límites articulares, algo común en muchas plataformas robóticas. *TRAC-IK* ejecuta de forma concurrente dos implementaciones de cinemática inversa. Una de ellas es una extensión del método de Newton que detecta y mitiga, mediante saltos aleatorios, los mínimos locales debido a los límites de las articulaciones. La otra consiste en un enfoque de optimización no lineal SQP (*Sequential Quadratic Programming*) que utiliza métodos cuasi-Newtonianos que manejan mejor los límites de las articulaciones. La búsqueda de la cinemática inversa devuelve una solución inmediatamente cuando uno de estos algoritmos converge.

En definitiva, esta implementación alternativa de cinemática inversa encuentra soluciones mucho más a menudo que KDL, es más rápida en promedio que KDL para cadenas de manipulación típicas y, si se desea, permite aplicar tolerancias en cada dimensión cartesiana, incrementando aún más la velocidad de convergencia. Por lo tanto, el uso de esta herramienta supone una solución perfecta pa-

ra el trabajo llevado a cabo.

Los procesos computacionales que se ejecutan son varios. Comprenden el cálculo de la posición y orientación del extremo del maestro en función del sistema de coordenadas definido como original; la adaptación de esta ubicación al espacio de trabajo del esclavo; el cálculo de la cinemática inversa con la que definir la configuración de las articulaciones del brazo robótico para alcanzar la ubicación pretendida y decidir si es viable o no; y el movimiento físico de las articulaciones a las posiciones decididas.

Todo este coste de procesamientos mencionados se ve reflejado en forma de retardos. La precisión no supone un problema por parte del maestro, pero el proceso de transformaciones que hay que realizar para generar coordenadas de ubicaciones adecuadas para el esclavo, así como los cálculos de cinemática inversa para llevar al esclavo a dichas ubicaciones, puede degradar esa precisión. Se han configurado distintas arquitecturas para experimentar el rendimiento de este sistema de teleoperación.

4.1. ARQUITECTURA CENTRALIZADA

La experimentación inicial consiste en realizar la teleoperación bajo una arquitectura centralizada, es decir, consiste en la ejecución de todo el software en un único ordenador. Tanto la adquisición de los datos de posiciones del maestro, la conversión a posiciones correspondientes en el espacio de trabajo del esclavo, el cálculo de las cinemáticas inversas, como el renderizado de la simulación del esclavo en el entorno virtual, se llevan a cabo en la misma máquina. El equipo utilizado para este experimento dispone de un procesador Intel Core i7-6700 a 3.40 GHz de frecuencia.

Los cálculos de cinemática inversa y el renderizado de la simulación son los procesos más costosos de todos los que se están llevando a cabo durante la ejecución de teleoperación. Ejecutando ambos en la misma máquina, se calcula el coste de cómputo de la cinemática inversa. El tiempo promedio de ejecución obtenido no supera los 5 milisegundos.

4.2. ARQUITECTURA DISTRIBUIDA

Se establece una arquitectura distribuida del sistema de teleoperación buscando una mayor fluidez de ejecución. En este caso se utilizan máquinas distintas para ejecutar la simulación por un lado y los cálculos de cinemática inversa y procesos de adquisición de datos por otro. Ambas máquinas pertenecen a la misma red de comunicaciones de área local. Se trabajo con el mismo ordenador uti-

lizado en el caso de la arquitectura centralizada, y se añade un ordenador portátil que dispone de un procesador Intel Core i7-7700HQ a 2.80 GHz de frecuencia

El hecho de que ROS esté basado en un funcionamiento distribuido hace sencillo la configuración de una arquitectura de este tipo. Es preciso definir convenientemente las variables de entorno *ROS_MASTER_URI* y *ROS_IP* en cada una de las máquinas de la arquitectura para posibilitar la comunicación entre ellas dentro de la red.

A pesar de separar bajo esta configuración los procesos de computación de la cinemática inversa y del renderizado de la simulación, el tiempo promedio del coste de cómputo de la cinemática inversa no varía de forma destacable respecto a la ejecución bajo arquitectura centralizada.

De esta forma, tanto para arquitectura centralizada como para distribuida la teleoperación se realiza de forma prácticamente similar. En ambos casos se efectúa de forma fluida. Tal y como se puede apreciar en la Figura 6, la coordenadas *X* (indicadas en color rojo) e *Y* (indicadas en color verde) de las posiciones de los efectores finales del maestro (representadas como líneas continuas) y del esclavo (representadas como líneas discontinuas) se encuentran reescaladas en cada instante, de tal forma que la posición indicada por el maestro se transforma inmediatamente en una posición apropiada y acorde al espacio de trabajo del esclavo.

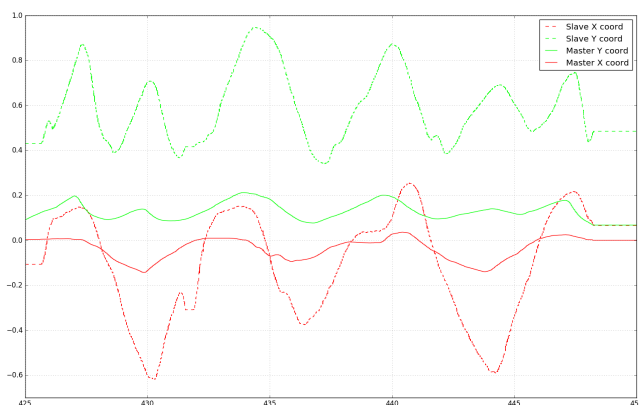


Figura 6: Gráfica de posicionamiento de los efectores finales de maestro y esclavo en un intervalo de 25 segundos. Se puede apreciar cómo cada ubicación del maestro es convertida de forma proporcional en una ubicación del esclavo. Los cálculos de cinemática inversa no introducen retardos apreciables en la operación del sistema maestro-esclavo, el esclavo se mueve de forma prácticamente inmediata a como lo hace el maestro.

4.3. ARQUITECTURA CON LÍNEAS DE TIEMPO REAL

Para realizar la teleoperación sobre hardware real y no sobre simulación se deben introducir elementos que proporcionen un funcionamiento en tiempo real. De esta forma, se sustituye el entorno virtual por el brazo robótico de *Kraft*, así como la comunicación mediante mensajes de ROS por un equipo de National Instruments orientado exclusivamente a trabajar bajo condiciones de tiempo real.

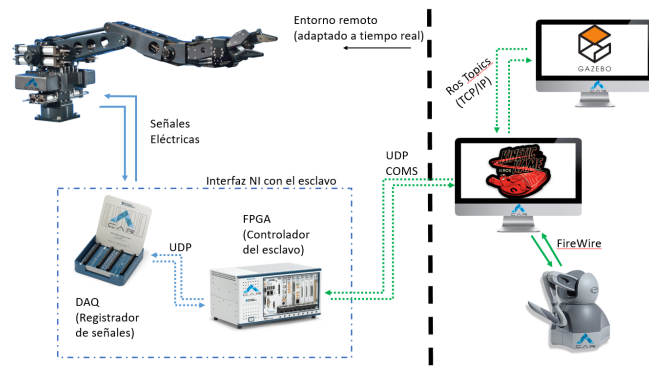


Figura 7: Arquitectura de teleoperación en tiempo real. Mientras la simulación del entorno virtual y la comunicación con el mismo se realiza bajo ROS, la operación del esclavo real requiere un equipamiento hardware adaptado a trabajar en tiempo real. En ambos casos, la adquisición de la información de las ubicaciones del efector final del maestro para realizar la tarea de control del esclavo se mantiene en ROS.

El sistema de teleoperación mencionado, mostrado en la Figura 7, funciona como prosigue: el programa que se ha desarrollado en ROS capta la posición final del *stylus* del *Phantom*, se calcula la cinemática inversa del esclavo para alcanzar la posición referida por el maestro, y el estado de cada una de las articulaciones que debería tener el *Kraft* se transmiten al PXI. Para este tipo de transmisión existen diversas soluciones, como es el caso del protocolo de comunicación BTP orientado a tareas de teleoperación desarrollado en [?]. Para este caso se utiliza UDP como protocolo de comunicaciones para transmitir las posiciones articulares. Por su parte, en el PXI está cargado un programa de *LabView* capaz de leer el estado de cada una de las articulaciones mandadas por UDP y enviárselas al *Kraft*, ejecutándose así el movimiento del esclavo.

El sistema de teleoperación queda totalmente completado con la reflexión al maestro u operador de las fuerzas ejecidas sobre el dispositivo esclavo mediante el entorno del manipulación.

4.4. REALIMENTACIÓN DE FUERZAS

La realimentación de fuerzas que se percibe en el dispositivo maestro permite detectar cuándo el brazo robótico colisiona o agarra un objeto, y cuándo actúan pares o fuerzas sobre sus articulaciones. Para la medición de los valores se dispone de un sensor de fuerza en el efector final del brazo robótico, al igual que de pequeños sensores en cada uno de los dedos de la pinza de *Robotiq*. Estos últimos valores de fuerza obtenidos al agarrar un objeto son enviados mediante terminal, al no disponer el dispositivo maestro de una interfaz sobre la que reproducirlos.

Como se recoge en [?], las fuerzas podrían ser estimadas partiendo de la ecuación que modela el comportamiento dinámico de un manipulador:

$$\tau_m = H(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q}) + \tau_g(q) + \tau_f(\dot{q}) + \tau_{ext} \quad (1)$$

Donde:

- τ_m es el vector de los torques ejercidos en cada articulación.
- $H(q)$ es la matriz de inercia del robot.
- $C(q, \dot{q})$ es el vector de fuerzas centrípetas y coriolis.
- τ_g es el vector de fuerzas de gravedad.
- τ_f es el vector de las fuerzas de fricción.
- τ_{ext} es el vector de torques externos aplicados en cada articulación.

Reordenando y entrando en juego la Jacobiana, se puede hacer una estimación de las fuerzas de la siguiente forma:

$$T_{ext} = J^T (\tau_m - H(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + \tau_g(q) + \tau_f(\dot{q})) \quad (2)$$

donde J es la matriz jacobiana del robot.

En cuanto al tiempo de muestreo, como se demuestra en [?], se tiene un valor de 1kHz, el recomendado para el tipo de teleoperación en la que es necesaria realimentación de fuerzas.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se ha logrado desarrollar una plataforma completa de teleoperación para el modelo *Grips* de *Kraft TeleRobotics* que permite simular el comportamiento de forma realista de todos los elementos. Gracias a esto, se puede ensayar antes de proceder con el robot real. Por otro lado, permite teleoperar de forma precisa, percibiendo además una realimentación de fuerzas a través del dispositivo háptico *Phantom Omni* de *SensAble*, lo que mejora el nivel de inmersión.

El software de ROS está orientado a funcionar como un sistema distribuido. Por este motivo, un entorno de nodos de ejecución con relativamente baja carga computacional que se ejecute en un equipo lo suficientemente moderno y potente no presenta diferencias de comportamiento entre ejecuciones bajo arquitectura centralizada y arquitectura distribuida.

A pesar de ello, a la hora de operar un esclavo hardware y no virtual, es recomendable prescindir de este framework, fundamentalmente porque está diseñado para funcionar bajo sistemas de Canónico y derivados, cuyos kernels no están comúnmente orientados a satisfacer los requisitos de tiempo real. Sustituir ROS por líneas de tiempo real configuradas mediante equipamiento orientado a trabajar en tiempo real permite establecer un entorno de teleoperación robótica con una adecuada reflexión de fuerzas.

En cuanto a los aspectos en los que seguir trabajando, una mejor realimentación de fuerzas es posible, al igual que una integración de todo el conjunto con un sistema de visión eficaz, por ejemplo formado por varias cámaras 3D como podrían ser los dispositivos *Kinect* de *Microsoft*.

Se propone también el desarrollo de un entorno bimanual en el que dos *kraft* pudieran colaborar para realizar tareas de manipulación más sofisticadas, como pudiera ser dar soporte con uno de ellos, y operar con el restante.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido patrocinado por la Universidad Politécnica de Madrid. El material ha sido proporcionado por el Centro de Automática y Robótica, centro mixto de la Universidad Politécnica de Madrid y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

El desarrollo de este trabajo ha sido parcialmente soportado por el proyecto ExoFlex (DPI2015-68842-R), financiado por MINECO.

Referencias

- [Ferre07] Ferre, M., Aracil, R., Balaguer, C., Buss, M., and Melchiorri, C. (Eds.). (2007). Advances in telerobotics, *Heidelberg: Springer*, Volume: 31.
- [Lawrence93] D.A. Lawrence, (1993) Stability and transparency in bilateral teleoperation, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Volume: 9, Issue: 5, Oct 1993.
- [Torres07] Bogado Torres, Juan Manuel, (2007) Control Bilateral de Robots Teleoperados

por Convergencia de Estados, Tesis Doctoral Robótica e Informática Industrial, Universidad Politécnica de Madrid.

- [Daly09] John M. Daly, David W. L. Wang, (2009) Bilateral Teleoperation Using Unknown Input Observers for Force Estimation, *American Control Conference, ACC '09*.
- [Quigley09] M. Quigley, K. Conley, B. P. Gerkey, J. Faust, T. Foote, J. Leibs, R. Wheeler, and A. Y. Ng., (2009) ROS: an open-source Robot Operating System. In *ICRA Workshop on Open Source Software*, 2009.
- [Qian14] Qian, W., Xia, Z., Xiong, J., Gan, Y., Guo, Y., Weng, S., and Zhang, J. (2014, December). Manipulation task simulation using ros and gazebo. In *Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2014 IEEE International Conference on* (pp. 2594-2598). IEEE.
- [Silva09] Alejandro Jarillo Silva, Omar A. Domínguez Ramirez, Vicente Parra Vega, Jesus P. Ordaz Oliver, (2009) PHANToM OMNI Haptic Device: Kinematic and Manipulability, *Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, CERMA '09*.
- [Acero16] Enrique del Sol Acero, (2016) Force Estimation for Teleoperating Industrial Robots, *Automation and Control Trends*, Capítulo 3.
- [Dalvand14b] Mohsen Moradi Dalvand, Saeid Nahavandi, (2014) Improvements in teleoperation of industrial robots without low-level access, *Systems, Man and Cybernetics (SMC)*.
- [Beeson15] Beeson, P., and Ames, B. (2015, November). TRAC-IK: An open-source library for improved solving of generic inverse kinematics. In *Humanoid Robots (Humanoids), 2015 IEEE-RAS 15th International Conference on* (pp. 928-935). IEEE.
- [Wirz09] Raúl Wirz, Raul Marin, Manuel Ferre, Jorge Barrio, José M. Claver, and Javier Ortega, (2009) Bidirectional Transport Protocol for Teleoperated Robots, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Volume. 56, NO. 9, Sep 2009.
- [Díaz06] Iñaki Díaz, Josune Hernantes, Ignacio Mansa, Alberto Lozano, Diego Borro, Jorge Juan Gil, Emilio Sánchez, (2006) Influence of multisensory feedback on haptic accessibility tasks, *Virtual Reality*, Volume 10, Issue: 1, May 2006.
- [Robkani14] Nizar Rokbani, Alicia Casals, Adel M. Alimi, (2014) IK-FA, a New Heuristic Inverse Kinematics Solver Using Firefly Algorithm, *Computational Intelligence Applications in Modeling and Control*, on (pp 369-395).