



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



**CEA**

**IFAG**  
comité  
español de  
automática

# XXXV alencia

Jornadas de AUTOMATICA  
3- 5 de Septiembre 2014

*- Libro de Actas -*

Actas de las XXXV Jornadas de Automática

3 – 5 de Septiembre de 2014, Valencia

**ISBN-13: 978-84-697-0589-6**

© **Comité Español de Automática (CEA-IFAC)**



## Tabla de Contenidos

<b>PhotoBioLib: una librería de Modelica para el modelado y simulación de fotobiorreactores</b>	1
<i>Agustín Pérez-Castro, José Sánchez, Francisco Gabriel Acién, Ignacio Fernández, José Luis Guzmán</i>	
<b>CONTROL DE UN ASCENSOR COMO CASO PRÁCTICO PARA LA DOCENCIA DE CONTROL AVANZADO</b>	2
<i>Adrián Peidró, Arturo Gil, José María Marín, Luís Payá, Óscar Reinoso</i>	
<b>Planificación de misiones de vehículos aéreos no tripulados con Fast Marching en un entorno 3D</b>	3
<i>Verónica González Pérez, Concepción Alicia Monje Micharet, Carlos Balaguer</i>	
<b>Estudio de la robustez de los metodos de control para exoesqueletos de miembros inferiores</b>	4
<i>Ranko Zotovic Stanisic, Julio Hernando Vargas Riaño</i>	
<b>Helicopter Main Rotor Vibration Analysis with Varying Rotating Speed</b>	5
<i>Salvador Castillo-Rivera, Maria Tomas-Rodriguez, G. Nicolas Marichal Plasencia</i>	
<b>CLASIFICACIÓN DE CAMBIOS DE DIRECCIÓN DURANTE LA MARCHA MEDIANTE EL USO DE SEÑALES ELECTROENCEFALOGRÁFICAS</b>	6
<i>Juan F. Abril, Daniel Planelles, Álvaro Costa, Eduardo Iáñez, José M. Azorín</i>	
<b>MAXIMUM POWER POINT TRACKING CONTROLLER BASED ON SLIDING MODE APPROACH</b>	7
<i>Maïssa Farhat, Oscar Barambones, Jose A Ramos, Jose M. Gonzalez de Durana</i>	
<b>Comparación de estrategias de control multivariable sobre el modelo lineal de un aerogenerador de pequeña potencia</b>	8
<i>Sergio Fragoz, Francisco VÁzquez, Juan Garrido, Fernando Morilla</i>	
<b>Casos de uso y mejoras de un robot humanoide de bajo coste</b>	9
<i>Juan Carlos García Sánchez, Javier Felip León, Carlos Veiga Almagro, Pedro J Sanz</i>	

<b>Obtención de los estados de equilibrio de un sistema desconocido mediante su modelado borroso</b>	10
<i>Antonio Javier Barragán Piña, Francisca Segura Manzano, Miguel Ángel Martínez Bohórquez, José Manuel Andújar Márquez</i>	
<b>SUPERVISIÓN, MONITORIZACIÓN Y CONTROL DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN MULTI-ETAPA</b>	11
<i>Mario L. Ruz, Sergio Fragoso, David Rodríguez, Francisco Vazquez, Miguel Zamora</i>	
<b>DETERMINACIÓN MEDIANTE TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL DE MAPAS DE COBERTURA RASANT EN LA ZONA MARÍTIMA DE CANARIAS</b>	12
<i>J. A. Rodríguez, G. N. Marichal, C. Alonso, I. Padrón, E. Melón</i>	
<b>CONTROL FUZZY DE LA VELOCIDAD DE LA MÁQUINA DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA</b>	13
<i>Jose A. Cortajarena, Oscar Barambones, Patxi Alkorta, Julián De Marcos</i>	
<b>Décodificación de la Marcha Humana Mediante Señales EEG</b>	14
<i>Joaquín Alcázar, Andrés Úbeda, Álvaro Costa, Eduardo Iáñez, Jose M. Azorin, José L. Pons</i>	
<b>Aplicación de ICA para la Eliminación de Artefactos Oculares y Mandibulares en Señales EEG durante la Realización de Tareas Mentales</b>	15
<i>Belén López, Andrés Úbeda, Daniel Planelles, Carlos Perez-Vidal, Eduardo Iáñez, Jose M. Azorin</i>	
<b>Estimación de Altura en Aplicaciones de Navegación Topológicas mediante Apariencia Global de Información Visual</b>	16
<i>Francisco Amorós, Luis Paya, David Valiente, Luis Miguel Jiménez, Oscar Reinoso</i>	
<b>SISTEMA DE CONTROL EN RED (SCR) BASADO EN PREDICTOR-OBSERVADOR. ESTUDIO COMPARATIVO CON OTRAS PROPUESTAS DE SCR</b>	17
<i>Angel Cuenca, Pedro García, Pedro Albertos</i>	
<b>CONTROL DE LA TENSION DEL BUS DE CONTINUA DE UN FILTRO ACTIVO DE TIPO PARALELO</b>	18
<i>José Carlos Alfonso Gil, Carlos Ariño, Carlos Bernad Viciano, Hector Beltrán, Emilio Pérez</i>	

<b>Clasificación de respuestas de pulsos de un ADS por análisis discriminante</b>	19
<i>Fernandez Marron Jose Luis, Blazquez Martinez Juan, Barcala Riveira Jose Miguel</i>	
<b>Estimación del par articular generado por Estimulación Eléctrica Neuromuscular mediante un modelo fisiológico simplificado</b>	20
<i>Elisa Piñuela Martín, Antonio J. Del-Ama Espinosa, Ángel Gil Agudo</i>	
<b>ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE SISTEMAS LINEALES ANTE FALLOS ESPORÁDICOS</b>	21
<i>Manuel Alejandro Hernandez Mejias, Antonio Sala, Andrés Querol, Carlos Ariño</i>	
<b>Control predictivo no lineal del confort térmico y calidad de aire</b>	22
<i>María Del Mar Castilla, José Domingo Álvarez, Julio Elias Normey Rico, Francisco Rodríguez, Manuel Berenguel</i>	
<b>Diseño de circuitos genéticos en Biología Sintética utilizando optimización multi-objetivo</b>	23
<i>Yadira Boada, Alejandra González, Alejandro Vignoni, Gilberto Reynoso-Meza, Jesús Picó</i>	
<b>Estudio de la aplicación de estimulación eléctrica funcional para la mejora del funcionamiento de interfaces cerebro-computadora</b>	24
<i>Inmaculada Ríos, Enrique Hortal, Javier Gimeno, Jose A. Flores, Jose M. Azorin</i>	
<b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR PREDICTIVO PARA MOTORES BLDC</b>	25
<i>Diego Pérez Losada, Joaquín López Fernández, María Santos Fernández</i>	
<b>MODELADO CINEMÁTICO DE UN MANIPULADOR BINARIO HIPER REDUNDANTE PARA APLICACIONES EN CIRUGÍA MINIMAMENTE INVASIVA (MIS)</b>	26
<i>José Luis González, Javier P. Turiel, Juan C. Fraile, David De La Fuente, Rubén Alonso, Fernando Gayubo</i>	
<b>Un método para modelar sistemas no holónomos con rodaduras</b>	27
<i>Francisco Javier Gil-Chica, Manuel Pérez-Polo, Manuel Perez-Molina</i>	

<b>MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN PENDULO MOLAR. APLICACIÓN A LA ESTABILIZACIÓN DE SISTEMAS OSCILATORIOS</b>	28
<i>Manuel Pérez-Molina, Manuel Pérez-Polo, Francisco Javier Gil Chica</i>	
<b>MEJORA DEL RENDIMIENTO DE UN REACTOR CONTINUO EN REGIMEN OSCILANTE GENERADO POR CONTROL PI</b>	29
<i>Manuel Pérez-Polo, Manuel Perez-Molina, Francisco Javier Gil Chica, José Ángel Berná Galiano</i>	
<b>CONTROL PID DE UN SERVOMECANISMO NO LINEAL USANDO LA FUNCION DESCRIPTIVA Y LA BIFURCACION DE BOGDANOV-TAKENS</b>	30
<i>Manuel Pérez-Polo, Manuel Perez-Molina, Francisco Javier Gil Chica, José Ángel Berná Galiano</i>	
<b>Control de temperatura en pilas de combustible tipo PEM de cátodo abierto.</b>	31
<i>Stephan Strahl, Attila Husar, Jordi Riera Colomer, Ramon Costa Castelló</i>	
<b>APLICACIONES EN MATLAB Y SIMULINK PARA EL MODELADO Y CONTROL DEL MOVIMIENTO DE UNA ESTACIÓN ABB IRB-120</b>	32
<i>Miguel Mato, Alberto Herreros, Juan Carlos Fraile, José Luis Sanchez, Enrrique Baeyens, Javier Pérez Turiel, Fernanado Gayubo</i>	
<b>DISEÑO DE UN ASISTENTE CAMARÓGRAFO PARA TÉCNICAS DE CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA DE PUERTO ÚNICO</b>	33
<i>Irene Rivas Blanco, Belén Estebanez, María Cuevas Rodriguez, Isabel García Morales, Víctor Muñoz</i>	
<b>IMPLEMENTACION DE UNA LIBRERIA EN SIMULINK PARA EL DESARROLLO DE INTERFACES CEREBRO-COMPUTADOR</b>	34
<i>Alberto León, Enrique Hortal, Alberto Rodríguez, José M. Climent, José M. Cano, Jose M. Azorin</i>	
<b>ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE MERCANCIAS EN LOGÍSTICA MEDIANTE MÚLTIPLES CÁMARAS DE RANGO</b>	35
<i>Pablo Artaso, Gonzalo López-Nicolás</i>	
<b>VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DEL MODELO DINÁMICO DE UN CUERPO EN MANIOBRAS DE INMERSIÓN</b>	36
<i>Jose A Somolinos, Amable López, Luis Ramón Núñez, Montserrat Espín</i>	

<b>SISTEMA MÓVIL DE INFORMACIÓN BASADO EN UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS APLICADO A LA MOVILIDAD URBANA</b>	37
<i>Miguel Martín-Guzmán, Juan Martín-Ávila, Jesus Fernandez-Lozano, Alfonso García-Cerezo</i>	
<b>FLOTA DE VEHÍCULOS AÉREOS PARA FOTOGRAFIA DE ALTA RESOLUCIÓN EN APLICACIONES DE AGRICULTURA DE PRECISION. PROYECTO RHEA</b>	38
<i>Jaime Del Cerro, João Valente, David Sanz, Leandro Cancar, Claudio Rossi, Antonio Barrientos</i>	
<b>Locality-Sensitive Hashing for large scale image retrieval</b>	39
<i>Adrian Sanchez, Enrique Alegre, Victor Gonzalez, Diego Garcia</i>	
<b>Tool wear monitoring in milling using aZIBO shape descriptor</b>	40
<i>María Teresa Garcia-Ordas, Enrique Alegre, Joaquín Barreiro, Diego Garcia-Ordas, Victor Gonzalez-Castro</i>	
<b>Mejorando los sistemas de predicción basados en error acotado</b>	41
<i>José Manuel Bravo Caro, Diego Marín, Manuel Emilio Gegúndez, Teodoro Álamo Cantarero</i>	
<b>Tool wear classification using texture descriptors based on Local Binary Pattern</b>	42
<i>Oscar Garcia-Olalla, Enrique Alegre, Joaquín Barreiro, Laura Fernandez-Robles, Maria Teresa Garcia-Ordas</i>	
<b>Mejora de la Estabilidad en Sistemas Takagi-Sugeno mediante la aplicacion del Teorema de Polya con multiíndices</b>	43
<i>Andrés Querol, Carlos V. Ariño, Manuel A. Hernández-Mejías, Antonio Sala</i>	
<b>SISTEMA ROBOTICO DE TIPO EXOESQUELETO PARA REHABILITACION DE LA MANO</b>	44
<i>Samara Enriquez, Yalena Narvaez, Oscar Andres Vivas, Jorge Diez, Francisco J. Badesa, Jose Maria Sabater, Nicolas Garcia Aracil</i>	
<b>Estudio de la navegación de un planeador autónomo submarino</b>	45
<i>Edwin Loeff, Juanma Gimenez Martinez, Emilio Garcia Moreno</i>	

<b>SOLAR DESALINATION MANAGEMENT TO FULFILL GREENHOUSE WATER DEMAND USING PREDICTIVE CONTROL</b>	46
<i>Lidia Roca, Jorge A. Sánchez, Francisco Rodríguez, Javier Bonilla</i>	
<b>Control robusto multivariable de un ciclo de refrigeración</b>	47
<i>José A. Alfaya, Guillermo Bejarano, Manuel G. Ortega, Francisco R. Rubio</i>	
<b>SSS-SLAM: An Object Oriented Matlab Framework for Unverwater SLAM using Side Scan Sonar</b>	48
<i>Daniel Moreno, Antoni Burguera, Gabriel Oliver</i>	
<b>INTEGRACIÓN DE SISTEMAS MULTI-AGENTE EN SISTEMAS EMBEBIDOS CON RECURSOS LIMITADOS PARA LA REALIZACIÓN DE TAREAS DE COORDINACIÓN Y COOPERACIÓN</b>	49
<i>Ángel Soriano, Leonardo Marín, Ángel Valera, Marina Vallés</i>	
<b>OPTIMIZACIÓN DINÁMICA MEDIANTE DIFERENCIACIÓN AUTOMÁTICA USANDO ECOSIMPRO Y CASADI</b>	50
<i>Rubén Martí, Tania Rodríguez, José Luis Pitarch, Daniel Sarabia, César de Prada</i>	
<b>INTEGRACIÓN DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA DE ASISTENCIA AL CIRUJANO EN OPERACIONES LAPAROSCÓPICAS DE PUERTO ÚNICO</b>	51
<i>María Cuevas-Rodríguez, Belen Estebanez, Enrique Bauzano, Irene Rivas-Blanco, Isabel García-Morales, Víctor F. Muñoz, Luis D. Lledo, Jose M. Sabater</i>	
<b>Respuesta frecuencial de los sistemas de tiempo discreto usando herramientas interactivas</b>	52
<i>María Langoyo Menasanch, Ramon Costa Castelló</i>	
<b>Diseño de dispositivo auxiliar de rehabilitación de mano</b>	53
<i>Jorge Antonio Díez Pomares, Francisco J. Badesa, Ricardo Morales, Jose Maria Sabater Navarro, Nicolas Garcia Aracil, Luis Daniel Lledó</i>	
<b>Algoritmo de Navegación Autónoma basado en una Arquitectura Distribuida</b>	54
<i>Ángel Soriano, Marina Vallés, Ángel Valera, Pedro Albertos</i>	

<b>MODOS ASUMIDOS Y ELEMENTOS FINITOS: COMPARATIVA DE MODELOS PARA ROBOTS FLEXIBLES</b>	55
<i>Pablo Bengoa, Asier Zubizarreta, Aitziber Mancisidor, Itziar Cabanes, Eva Portillo</i>	
<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA AEREA PARA LA CAPTACIÓN DE INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA</b>	56
<i>Juan Antonio Rodríguez-Haro, Jose Carlos Moreno, Jose Luis Guzman, Fernando Aguilar, Yolanda Cantón</i>	
<b>CONTROL OF OSCILLATING WATER COLUMN (OWC) WAVE ENERGY PLANTS</b>	57
<i>Aitor J. Garrido, Mikel Alberdi, Izaskun Garrido, Modesto Amundarain</i>	
<b>MODELADO MULTIBODY Y VALIDACIÓN DE UN VEHÍCULO</b>	58
<i>Sara Mata, Asier Zubizarreta, Charles Pinto, Javier Corral, Itziar Cabanes</i>	
<b>DISEÑO DE UN DISPOSITIVO NEUMÁTICO PARA REHABILITACION DE MANO MEDIANTE FUNDA TERMORETRACTIL</b>	59
<i>Yalena Narváez, Oscar Andrés Vivas, Samara Catalina Enriquez, Jose Maria Sabater-Navarro, Nicolas Garcia, Alvaro Martínez</i>	
<b>Reconstrucción 3D de racimos de uva basada en estéreo-visión</b>	60
<i>Carlos Alberto Molina Toscano, Antonio José Sánchez Salmerón, Eugenio Ivorra Martínez</i>	
<b>CONVERSIÓN DE UN ROBOT MÓVIL DE CADENAS EN VEHÍCULO HÍBRIDO ELÉCTRICO</b>	61
<i>Javier Valbuena, Jesús Morales, Anthony Mandow, Jorge L. Martínez, Alfonso García-Cerezo</i>	
<b>CRITERIOS PARA RESOLUCIÓN DE REDUNDANCIA EN CONTROL VISUAL DIRECTO DE MANIPULADORES</b>	62
<i>Javier Perez, Jorge Pomares, Gabriel J. Garcia, Carlos A. Jara, Fernando Torres</i>	
<b>EQUIPO PARA PRÁCTICAS DE FUNDAMENTOS DE AUTOMÁTICA</b>	63
<i>Alfonso V. Poncela Méndez, Eduardo J. Moya de La Torre, F. Javier García Ruíz</i>	
<b>Diseño de un regulador Fuzzy para planta de laboratorio</b>	64
<i>José Luis Casteleiro-Roca, José Luis Calvo-Rolle, Matilde Santos</i>	

<b>CONTROL DE RELOJ DE TORRE CON ARDUINO</b>	65
<i>F. Javier García Ruíz, Eduardo J. Moya de La Torre, Alfonso V. Poncela Méndez</i>	
<b>Reconfiguración de sistemas de control basado en multiagentes</b>	66
<i>Rafael Priego, Unai Gangoiti, Darío Orive, Marga Marcos</i>	
<b>Control de balanceo de carga de un grupo de servidores de red</b>	67
<i>Miquel Talavera-Foix, Carolina Albea</i>	
<b>IMPLEMENTACIÓN DE UNA MAQUETA DE CONTROL BILATERAL DE 1 GDL CON ARDUINO PARA TELERROBÓTICA</b>	68
<i>Adrián Peidro Vidal, Juan José Rodríguez Gil, José María Azorín Poveda, Oscar Reinoso García</i>	
<b>ARQUITECTURA ABIERTA DE CONTROL VISUAL DIRECTO SOBRE FPGA</b>	69
<i>Aiman Alabdo, Gabriel J. Garcia, Jorge Pomares, Fernando Torres</i>	
<b>PROTOTIPO DE ROBOT DE SERVICIO PARA GUIADO DE PERSONAS POR VISIÓN.</b>	70
<i>Abel Martínez, Houcine Hassan, Carlos Domínguez, Pedro López</i>	
<b>A segmentation approach for evaluating wear of inserts in milling machines with computer vision techniques</b>	71
<i>Guillermo Martínez-San-Martín, Laura Fernández-Robles, Enrique Alegre, Oscar García-Olalla</i>	
<b>Optimización de la producción de biomasa en fotobiorreactores tubulares</b>	72
<i>Gustavo Andrade, Daniel Pagano, José Luis Guzmán, Manuel Berenguel</i>	
<b>Avances recientes en manipulación subacuática en el subproyecto GRASPER</b>	73
<i>Antonio Peñalver, Jose J. Fernández, Javier Pérez, Jorge Sales, Juan C. García, David Fornas, Raul Marín, Pedro J. Sanz</i>	
<b>Printbots: un gran paso hacia adelante</b>	74
<i>Leopoldo Armesto, Andrés Conejero, Miguel Fernández, Pedro Fuentes, David Perry, Enrique Martínez, Vicente Marhuenda, Carles Igual, Carlos De La Fuente, Oihan Elesgaray</i>	

<b>TRANSFERENCIA DE COMPORTAMIENTOS DE NAVEGACION HUMANA A UN PLANIFICADOR LOCAL DE ROBOTS</b>	75
<i>Rafael Ramón-Vigo, Noé Pérez-Higueras, Luis Merino, Fernando Caballero</i>	
<b>DESARROLLO METODOLÓGICO DE SISTEMAS DE CONTROL APLICANDO INGENIERÍA CONDUCTIDA POR MODELOS</b>	76
<i>María Luz Alvarez, Arantzazu Burgos, María Isabel Sarachaga, Elisabet Estévez, Marga Marcos</i>	
<b>Plataforma para la implementación y validación de algoritmos de control de tiempo real en mini-helicópteros de varios rotores</b>	77
<i>Luis Ródenas, Ricardo Sanz, Pablo Albiol, Alberto Castillo, Daniel Verdú, Pedro García</i>	
<b>PLATAFORMA PARA LA FORMACIÓN PRÁCTICA INDIVIDUALIZADA EN FUNDAMENTOS DE CONTROL AUTOMÁTICO</b>	78
<i>Carlos Sánchez Cazorla, David Muñoz de La Peña, Fabio Gómez-Estern</i>	
<b>Primeros resultados de un control genético predictivo sobre maqueta de helicóptero (twinrotor)</b>	79
<i>Asier Gutierrez, Eloy Irigoyen, Ekaitz Larzabal, Juan José Valera, Mikel Larrea</i>	
<b>MODELADO DE MOTORES USM PARA ROBOTICA DE REHABILITACION</b>	80
<i>Dorin Sabin Copaci, Antonio Flores Caballero, Fernando Martin Monar, Dolores Blanco</i>	
<b>SEMANTIC ENVIRONMENT FORMALIZATION FOR MOBILE ROBOTS NAVIGATION</b>	81
<i>Eduardo Munera Sánchez, Juan-Luis Posadas-Yagüe, Jose-Luis Poza-Luján, Jose E. Simó Ten, J. Francisco Blanes Noguera</i>	
<b>Seguimiento de caminos para formaciones de vehículos marinos de superficie</b>	82
<i>Jesus M. de La Cruz Garcia, José A. López-Orozco, Eva Besada-Portas, David Moreno Salinas, Joaquín Aranda Almansa</i>	
<b>SIMULACION DE LA MANO HUMANA MEDIANTE MATLAB/SIM-MECHANICS</b>	83
<i>Dorin Sabin Copaci, Juan Carlos Garcia Pozo, Antonio Flores Caballero, Dolores Blanco</i>	

<b>Mejora de la localización de un cuadricóptero mediante la fusión de su sistema de metrología y un GPS</b>	84
<i>José Luis Racero Robles, Santiago Sastre, Alejandro Vignoni, Sergio García-Nieto, Jesús Picó</i>	
<b>Optimización en dos etapas para la gestión energética en edificios</b>	85
<i>Jorn K. Gruber, Francisco Huerta, Pablo Matataqui, Milan Prodanovic</i>	
<b>SOFTWARE PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE CREACIÓN DE MAPAS Y LOCALIZACIÓN VISUAL DE UN ROBOT MÓVIL</b>	86
<i>Luis Paya, Francisco Amoros, Arturo Gil, Lorenzo Fernandez, Oscar Reinoso</i>	
<b>CPWalker - Plataforma robótica para la rehabilitación y el entrenamiento de la marcha en pacientes con Parálisis Cerebral</b>	87
<i>Rafael Raya, Óscar Ramírez, María Dolores Del Castillo, José Ignacio Serrano, Angel Iglesias, Ramón Ceres, Eduardo Rocon, Fernando Mollá, Juan Manuel Belda, Rakel Poveda, Amparo López, Ignacio Martínez, Sergio Lerma, Teresa Martín</i>	
<b>Control Supervisor para el Control De Sistemas de Fabricación Reconfigurables</b>	88
<i>Francisco Javier Lastra Santos, Jesús Ángel Trujillo Medina, Elías Revestido Herrero, José Ramón Llata García, Francisco Jesús Velasco González</i>	
<b>Navegación local de un robot móvil con costes sociales aprendidos por demostración</b>	89
<i>Noé Pérez-Higueras, Rafael Ramón-Vigo, Fernando Caballero, Luis Merino</i>	
<b>CONTROLADOR RESETEADO DE DESLIZAMIENTO DE RUEDAS PARA SISTEMAS DE FRENADO</b>	90
<i>Emma Delgado, Antonio Barreiro, Miguel Díaz-Cacho, Pablo Falcón</i>	
<b>GENERACIÓN Y REPRODUCCIÓN DE SOMBRAS EN TIEMPO REAL EN EASY JAVA SIMULATIONS</b>	91
<i>Francisco J. García, Carlos A. Jara, Francisco A. Candelas, Fernando Torres, Francisco Esquembre</i>	

<b>Planificación de rutas para la cobertura de un área en tiempo mínimo mediante un sistema Multi-UAV</b>	92
<i>Ernesto Santana, Romualdo Moreno, Miquel Piera</i>	
<b>Diseño de control no lineal para regulación de tasa de crecimiento en cultivos multi-sustrato</b>	93
<i>Sebastián Nuñez, Fabricio Garelli, Hernán De Battista, Jesús Picó</i>	
<b>Localización de objetos 3D con ambigüedad de vista en tareas de guiado robótico</b>	94
<i>Carlos M. Mateo, Pablo Gil, Fernando Torres</i>	
<b>INTEGRACIÓN DE RECONOCIMIENTO DE ESCENAS Y LOCALIZACIÓN BASADA EN MONTE CARLO</b>	95
<i>Javier Perez, Fernando Caballero, Luis Merino</i>	
<b>DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE CONTROL DISTRIBUIDO EN ROBOTS MÓVILES SOBRE EL MIDDLEWARE DEL NÚCLEO DE CONTROL</b>	96
<i>Josep Tormo, Raúl Simarro Fernández, Eduardo Munera, José E. Simó Ten, Juan-Luis Posadas-Yagüe</i>	
<b>ENFOQUE UNIFICADO DEL DISEÑO DE PID MEDIANTE EL LUGAR DE LAS RAÍCES Y EN FRECUENCIA</b>	97
<i>Roberto Sanchis Llopis, Ignacio Peñarrocha Alós, Julio Ariel Romero Pérez</i>	
<b>HERRAMIENTA DE SIMULACION PARA EL DESARROLLO DE EXOESQUELETOS BASADA EN MATLAB-SIMULINK</b>	98
<i>Dorin Sabin Copaci, Antonio Flores Caballero, Dolores Blanco, Luis Moreno</i>	
<b>Reconstrucción cinemática del brazo humano mediante matrices de transformación</b>	99
<i>José María Catalán Orts, Ricardo Morales Vidal, Luis Daniel Lledó, José María Sabater Navarro, Nicolás García Aracil, Jorge Antonio Díez</i>	
<b>Diseño e implementación de una plataforma experimental para el control de vuelo, gestión y visualización de datos de UAVs</b>	100
<i>Santiago Sastre, José Luis Racero Robles, Alejandro Vignoni, Sergio García-Nieto, Jesús Picó</i>	

<b>Configuración y ejecución de benchmarks de intervención robótica submarina en UWSim mediante herramientas Web</b>	101
<i>Javier Pérez Soler, Jorge Sales, Raul Marín, Enric Cervera, Pedro J. Sanz</i>	
<b>SISTEMA DE CONTROL DE HELICÓPTEROS MEDIANTE FIJACIÓN POR CABLE PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DE LAS VARIACIONES DE LA GUIÑADA EN VUELO ESTACIONARIO</b>	102
<i>Álvaro Caballero, Manuel Béjar, Aníbal Ollero</i>	
<b>AJUSTE DE CONTROLADORES PID BASADOS EN EVENTOS POR CUANTIFICACIÓN Y CRUCE DE NIVELES</b>	103
<i>Julio Ariel Romero, Roberto Sanchis Llopis, Ignacio Peñarrocha</i>	
<b>Diseño e Implementación de un Sistema de Control de Entorno para Usuarios con Parálisis Cerebral</b>	104
<i>Miguel Velasco, Alejandro Clemotte, Rafael Raya, Ramón Ceres</i>	
<b>ESTIMACIÓN DE PARAMETROS DE UN MODELO DE MANIOBRA NO LINEAL DE UN VEHÍCULO SUBACUÁTICO</b>	105
<i>Elías Revestido Herrero, Francisco Javier Lastra Santos, Francisco J. Velasco González, José María Riola Rodríguez, Juan Jesús Díaz Hernández, Luis Manuel Vega Antolín</i>	
<b>Desarrollo de un sensor subacuático ultrasónico y RF para posicionamiento en tareas de manipulación robótica</b>	106
<i>Diego Centelles, Jorge Sales, Raul Marín, Jose Vte. Martí, David Fornas, Pedro J Sanz</i>	
<b>SLAM VISUAL HÍBRIDO TOPOLÓGICO-MÉTRICO MEDIANTE MÉTODOS BASADOS EN LA APARIENCIA GLOBAL</b>	107
<i>Lorenzo Fernandez, Luis Paya, Arturo Gil, Adrian Peidro, Oscar Reinoso</i>	
<b>NORMA IEC-61499 PARA EL CONTROL DISTRIBUIDO. APLICACIÓN AL CNC.</b>	108
<i>Esteban Querol, Julio A. Romero, Antonio M. Estruch, Fernando Romero</i>	
<b>MPC tuning in a hierarchical control structure for a wastewater treatment process</b>	109
<i>Ignacio Santin, Carles Pedret, Ramon Vilanova</i>	

<b>CONTROL JERÁRQUICO DE PLANTA COMPLETA DE UN CASO DE ESTUDIO DE CRISTALIZACIÓN DE AZÚCAR</b> <i>Rogelio Mazaeda, Smaranda Cristea, César de Prada</i>	110
<b>Analysis of controller performance in wastewater treatment</b> <i>Jean Carlos Malca, Ramon Vilanova</i>	111
<b>Entorno de desarrollo integrado para robots mini-humanoides basado en modelado por componentes</b> <i>Félix R. Cañadillas, Marcos Arjonilla Viñaras, Alberto Jardón Huete</i>	112
<b>Métodos bio-inspirados en el control PID de un motor</b> <i>Jacobo Sáenz Valiente, Matilde Santos Peñas</i>	113
<b>Diseño de una plataforma híbrida aéreo-terrestre para aplicaciones de inspección visual</b> <i>Joan Pep Company, Alberto Ortiz</i>	114
<b>Algoritmo para particionado automático de sistemas con criticidad mixta</b> <i>Emilio Salazar, Alejandro Alonso, Salvador Trujillo</i>	115
<b>ENFOQUE ESTRATÉGICO PARA EL PROBLEMA PEG-IN-HOLE UTILIZANDO PRIMITIVAS DE MOVIMIENTOS DINÁMICOS</b> <i>Fares Abu-Dakka, Mohamed Abderrahim</i>	116
<b>Gliif: Beyond QR Codes</b> <i>Oscar Deniz Suarez, Jose M. Gutierrez, Jesus Salido, Gloria Bueno, Alan Bologlu</i>	117
<b>VERIFICACION Y VALIDACION DE SISTEMAS DE CONTROL DE VUELO PARA MAV-VTOL BASADAS EN MATLAB STATEFLOW</b> <i>Pablo Rodriguez Diaz, Jesús G. Villagómez, Manuel Vargas Villanueva, Francisco R. Rubio</i>	118
<b>SENSORY PROCESSING OPTIMIZATION IN A SMART DEVICE</b> <i>Jose-Luis Jimenez-Garcia, Jose-Luis Poza-Luján, Eduardo Munera Sanchez, Juan-Luis Posadas-Yagüe, Raul Simarro</i>	119

<b>CABEZA MECATRÓNICA CON INTELIGENCIA EMOCIONAL Y ARTIFICIAL</b>	120
<i>Sheila Lucero Sánchez López, Eduardo Zalama Casanova, Jaime Gómez García-Bermejo</i>	
<b>CONSTRUCCIÓN DE MODELOS PARA LA DINÁMICA SINÁPTICA DE UN SISTEMA NEURONAL BASADOS EN REDES DE PETRI Y MÁQUINAS DE ESTADOS</b>	121
<i>Martin Bogdan, Karim El-Laithy, Juan Ignacio Latorre, Emilio Jimenez</i>	
<b>ESTIMACIÓN MONOCULAR Y EFICIENTE DE LA POSE USANDO MODELOS 3D COMPLEJOS</b>	122
<i>Antonio Rubio Romano, Michael Villamizar, Luis Ferraz Colomina, Alberto Sanfeliu Cortés, Francesc Moreno Noguer, Adrián Peñate-Sánchez</i>	
<b>Alternativas de biología sintética para el control de rutas metabólicas</b>	123
<i>Pavel Zach, Alejandro Vignoni, Daniel Georgiev, Jesús Picó</i>	
<b>Uso de Simulink y Arduino para Prácticas de Robótica</b>	124
<i>Juan Gil Lozano, Antonio Muñoz Ramírez, Víctor Eugenio Torres López, Jesus Gomez</i>	
<b>CONFIGURATION MODEL FOR CONTROL KERNEL MIDDLEWARE BASED APPLICATIONS</b>	125
<i>Jose L. Beltran, Lorena Calabuig, Eduardo Munera, Jose Simo, Jose-Luis Poza-Luján</i>	
<b>NAVEGACIÓN REACTIVA EN ENTORNOS ESTRECHOS E INTRINCADOS</b>	126
<i>Javier Antich Tobaruela, Alberto Ortiz Rodríguez</i>	
<b>Control de Movimientos mediante Bus EtherCAT y LinuxCNC</b>	127
<i>Ignacio Rosales González, Víctor Eugenio Torres López, Jesus Gomez</i>	
<b>Survey on Progressive Image Compression, Transmission, its application in Underwater Intervention Missions</b>	128
<i>Eduardo Moscoso, Raul Marín, Jorge Sales, Pedro J. Sanz</i>	

<b>MARCO PARA EL ANÁLISIS DE COLECTORES CILINDRO-PARABÓLICOS A PARTIR DE LA INFORMACIÓN 3D OBTENIDA CON ESCÁNERES LÁSER</b>	129
<i>Pilar Merchán, Santiago Salamanca, Antonio Adán, María José Gómez</i>	
<b>Implementación de controladores PID y su Optimalidad en el espacio de objetivos</b>	130
<i>Helem Sanchez, Ramon Vilanova</i>	
<b>MÉTODO DE LOCALIZACIÓN PRECISA DE PUPILAS EN IMÁGENES A COLOR</b>	131
<i>J. Enrique Sierra, Matilde Santos</i>	
<b>Octree-Based Subsampling Criteria for Bathymetric SLAM</b>	132
<i>Albert Palomer, Pere Ridao Rodriguez, David Ribas Romagos, Guillem Vallicrosa</i>	
<b>OPERACIÒN OÌPTIMA DE LA PLANTA DE LOS 4 TANQUES</b>	133
<i>Mauricio Alva Howes, Alejandro García Delgado, Néstor García Hidalgo, Ramon Costa Castelló</i>	
<b>Nonlinear Predictive Control for the Four-Tanks Plant Flow Regulation</b>	134
<i>Juan Acevedo, Julio Luna, Noè Rosanas</i>	
<b>Estudio de escenarios de uso para un robot social asistencial para enfermos de Alzheimer</b>	135
<i>Miguel A. Salichs, Esther Salichs, Irene P. Encinar, Álvaro Castro-González, María Malfaz</i>	
<b>Extrusor Multifilamento para Impresión 3D en Color</b>	136
<i>Víctor Andueza García, Jesús Manuel Gómez de Gabriel</i>	
<b>Concurso en Ingeniería de Control 2014. Operación Óptima de la planta de 4 tanques. Control multivariable.</b>	137
<i>Alberto Pajares Ferrando, Francesc Xavier Blasco Ferragud</i>	
<b>CONTROL PREDICTIVO PARA LA PLANIFICACIÓN DE PROCESOS POR LOTES EN LA INDUSTRIA AZUCARERA</b>	138
<i>Alexander Rodriguez, Luis Felipe Acebes, Cesar De Prada, Rogelio Mazaeda</i>	

<b>DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE OBJETOS MÓVILES UTILIZANDO UN ESCÁNER LÁSER MEDIANTE FILTROS DE KALMAN</b>	139
<i>Marc Bosch Jorge, Angel Soriano, Ángel Valera, Antonio J. Sánchez Salmerón</i>	
<b>Control of a Quadruple Tank Process using a Mixed Economic, Standard MPC</b>	140
<i>Adrià Soldevila, Julen Cayero, Jean Carlo Salazar, Damiano Rotondo, Vicenç Puig</i>	
<b>PROPUESTA DE ONTOLOGÍA PARA EL CONTROL DE ENTORNOS EXTERIORES</b>	141
<i>Miguel Juan-Monter, Jose-Luis Jimenez-Garcia, Jose-Luis Poza-Luján, Eduardo Munera, Raúl Simarro Fernández</i>	

# SOFTWARE PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE CREACIÓN DE MAPAS Y LOCALIZACIÓN VISUAL DE UN ROBOT MÓVIL

L. Payá, F. Amorós, A. Gil, L. Fernández, O. Reinoso

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.  
Universidad Miguel Hernández. Avda. de la Universidad s/n. 03202, Elche (Alicante), Spain  
lpaya@umh.es, famoros@umh.es

## Resumen

*En este trabajo se presenta una herramienta software que ha sido desarrollada para su uso en una asignatura de robótica móvil y visión por computador cuyo principal objetivo consiste en el diseño de algoritmos para el control de un robot autónomo. En las aplicaciones que requieren que el robot se mueva a través de un entorno desconocido, es muy importante construir un modelo o mapa de dicho entorno y estimar la posición del robot en el mismo con precisión suficiente. La construcción de mapas y la localización son dos temas en constante desarrollo y día tras día surgen nuevos métodos que tratan de resolverlos, algunos de los cuales pueden resultar matemáticamente muy complejos. Teniendo este hecho en cuenta, hemos diseñado una plataforma que proporciona a los estudiantes las herramientas necesarias para entender los algoritmos y que les permite configurarlos para optimizar los procesos de creación de mapas y localización. Hemos incluido varias bases de datos, compuestas por varios conjuntos de escenas interiores, capturadas en entornos de trabajo reales y bajo las condiciones de iluminación habituales. De este modo, los estudiantes afrontan los problemas que podrían surgir en una aplicación real. En este artículo presentamos los detalles de implementación de la plataforma y las prestaciones que ofrece.*

**Palabras Clave:** Control de robots, software educativo, robots móviles, visión por computador, laboratorio virtual.

## 1 INTRODUCCIÓN

Cuando un robot móvil debe realizar cierta tarea de forma autónoma en un entorno desconocido, es necesario que lleve a cabo dos pasos fundamentales. El primero consistiría en crear una representación interna del entorno desconocido (mapa) y el segundo

sería la estimación de la posición del robot en este entorno. Para alcanzar este objetivo, el robot debe hacer uso de la información suministrada por los sensores con que está equipado y compararla con la información previamente almacenada en el mapa. A menudo, se hace uso de la información capturada por una cámara montada sobre el mismo robot como información de partida para resolver los problemas de creación de mapas y localización. Asimismo, también es habitual trabajar con sistemas catadióptricos que ofrecen imágenes omnidireccionales del entorno de trabajo [1]. Estas cámaras constituyen una buena solución debido a la variedad de la información que proporcionan y su relativamente bajo coste comparado con otros tipos de sensores. Por estas razones, han sido extensamente estudiados durante los últimos años en tareas de control de robots.

Las investigaciones llevadas a cabo en la temática de creación de mapas y localización usando información visual es muy abundante y se han desarrollado numerosos enfoques y algoritmos hasta la fecha. Tanto la visión por computador como la robótica constituyen dos campos de la ingeniería que se encuentran en constante desarrollo [9].

Estos dos temas se estudian en una asignatura de doctorado en la Universidad Miguel Hernández. En esta asignatura, los estudiantes aprenden las principales estrategias que se pueden utilizar para la construcción de mapas y localización, usando como punto de partida la información capturada por un sistema de visión omnidireccional montado sobre el robot. Entre estas estrategias, nos centramos en los métodos basados en la apariencia global. En este enfoque, no se extraen características locales de las escenas para construir el mapa, sino que la información de las mismas se utiliza de forma global y la localización se lleva a cabo mediante la comparación de las escenas completas. Este enfoque ha atraído el interés de los investigadores debido a su simplicidad, robustez y capacidad de trabajar correctamente en entornos visualmente poco estructurados y dinámicos.

Para resolver el control del robot haciendo uso de este enfoque, se deben implementar dos etapas. Primero, el robot recorre el entorno desconocido y captura algunas imágenes desde ciertas posiciones. Como regla general, se añade una nueva escena cuando la información visual es suficientemente distinta a la escena previamente capturada. Dado que las imágenes son datos de muy alta dimensión, los métodos basados en la apariencia global requieren que se aplique a las escenas algún tipo de compresión que conserve la integridad de las escenas, sin realizar ninguna extracción de características. Con este objetivo, es posible hacer uso de diversas técnicas para crear un descriptor de apariencia global de cada escena. Este conjunto de descriptores compondrá el mapa. En segundo lugar, una vez que el mapa ha sido construido, el robot debe ser capaz de calcular su posición y orientación en el mismo. Para ello, el robot captura una nueva imagen, calcula su descriptor y lo compara con todos los descriptores de la base de datos (mapa). Como resultado, es posible estimar la posición y orientación actuales del robot.

En ocasiones, la complejidad matemática inherente a los algoritmos provoca que los estudiantes se pierdan en el aparato matemático y no lleguen a profundizar en su aplicación. En este sentido, las prácticas son una parte fundamental de la asignatura dado que permiten que los estudiantes adquieran la habilidad de resolver problemas reales haciendo uso de equipamiento real. Sin embargo, el número de equipos disponibles en el laboratorio es limitado y varios estudiantes tienen que compartirlo, lo cual provoca que cada uno no pueda avanzar al ritmo que requiera y además, el laboratorio no está siempre disponible para que puedan practicar lo que están estudiando. Estas son las razones por las que hemos implementado y desarrollado esta herramienta software. Podemos encontrar algunos laboratorios virtuales de robótica en trabajos como [3], [4] y [8].

En la herramienta software que presentamos, hemos incluido varias bases de datos de imágenes capturadas en varios entornos interiores bajo condiciones de iluminación realistas, con las que los estudiantes podrán validar los algoritmos de creación de mapas y localización. Hemos incluido algunas de las técnicas más habituales para la descripción de la apariencia global de imágenes panorámicas: métodos basados en la DFT (Transformada Discreta de Fourier), PCA (Análisis de Componentes Principales), HOG (histogramas de orientación del gradiente) y *gist* (esencia) de la escena. De este modo, el estudiante podrá testarlos y comparar bajo qué situaciones funciona mejor cada uno de los métodos y cómo se deben ajustar los parámetros necesarios para optimizar su comportamiento. Asimismo, hemos incluido algunas escenas intermedias que incluyen ruido, rotaciones y

oclusiones parciales, que permitirán probar el proceso de localización. La herramienta es totalmente interactiva y tanto el proceso de creación del mapa como de localización son totalmente configurables. En todo caso, los resultados se muestran gráficamente para que los estudiantes puedan realizar estudios comparativos. El resto del artículo se estructura como sigue; la sección 2 presenta los métodos de descripción de la apariencia visual de escenas. En la sección 3 describimos la herramienta software, cómo se utiliza y sus principales características y, para concluir, la sección 4 presenta las conclusiones y trabajos futuros.

## 2 MÉTODOS DE DESCRIPCIÓN DE LA APARIENCIA GLOBAL DE ESCENAS. CREACIÓN DE MAPAS Y LOCALIZACIÓN

Para capturar la base de datos que hemos incluido en la herramienta, hemos trabajado con un robot Pioneer P3-AT, equipado con un sistema catadióptrico consistente en una cámara convencional y un espejo parabólico que proporciona imágenes omnidireccionales del entorno. Para trabajar con esta información de una manera eficiente, transformamos las imágenes omnidireccionales a un formato panorámico con un tamaño de 64x256 píxeles. La figura 1 muestra (a) el robot, (b) la cámara y el espejo y (c) un ejemplo de imagen omnidireccional y su conversión a formato panorámico.

Para construir las bases de datos, hemos capturado un conjunto de imágenes omnidireccionales sobre una rejilla predefinida de 40x40 cm en varios entornos de interior. La figura 2 muestra una vista en planta de la rejilla usada para capturar las escenas (puntos azules).

El enfoque de apariencia global implica almacenar la información visual en el mapa sin extraer ningún tipo de característica local, mientras que la localización se lleva a cabo comparando esta información global. Si estos procesos se realizaran directamente, con imágenes de alta resolución, el coste computacional sería demasiado elevado en entornos grandes, de modo que la creación de mapas y localización no se podría llevar a cabo en tiempo real. Por este motivo, estudiamos a continuación varios métodos que permiten extraer la información más relevante de cada escena de forma global.

### 2.1 TÉCNICAS BASADAS EN LA DFT

La técnica que hemos implementado está basada en la firma presentada en [6]. Esta Firma de Fourier presenta dos propiedades interesantes: la información

más relevante se concentra en los componentes de baja frecuencia de cada fila (efecto de compresión) y presenta invariancia rotacional. El método consiste en convertir cada fila de la imagen panorámica usando la DFT. Tras este proceso, cada imagen se representa mediante una matriz de tamaño  $m \times k_l$ , donde  $m$  es el número de filas de la imagen panorámica y  $k_l$  el número de componentes de Fourier que retenemos para construir el descriptor. Se trata de una matriz de números complejos que a su vez dará lugar a una matriz de módulos y una matriz de argumentos.  $k_l$  es un parámetro configurable. Un valor alto de  $k_l$  indica que retenemos más información de las escenas pero esto supone un coste computacional más elevado. Asimismo, los términos de mayor frecuencia se espera que estén más influenciados por el posible ruido presente en la escena.

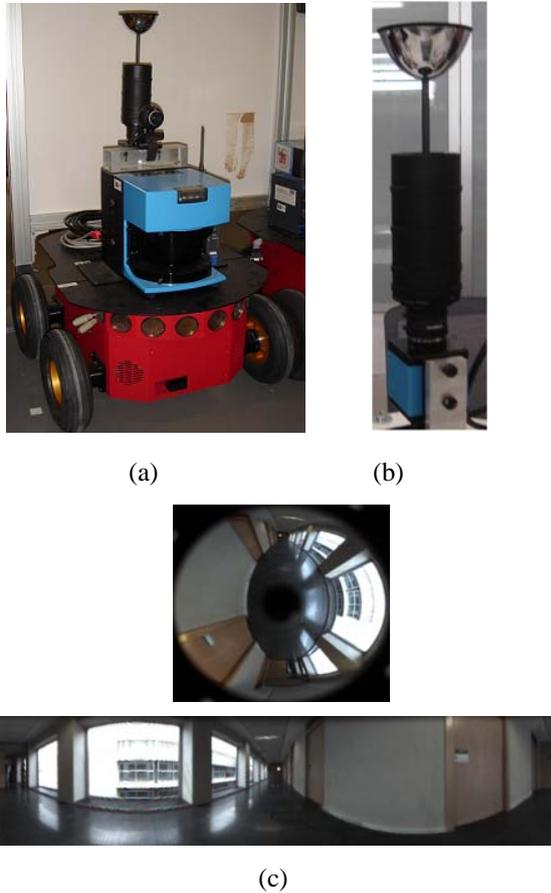


Figura 1: (a) Robot Pioneer P3-AT, (b) sistema catadióptrico y (c) imagen omnidireccional capturada con el sistema y transformación a panorámica.

Para calcular la posición y orientación que tenía el robot en el momento de capturar una imagen de test, calculamos la Firma de Fourier de dicha imagen y entonces obtenemos la distancia Euclídea entre su matriz de módulos y las matrices de módulos de las

escenas almacenadas en el mapa. Tomaremos el vecino más cercano como la posición actual del robot. Por su parte, para calcular la orientación del robot haremos uso de la matriz de argumentos y del teorema del desplazamiento de la transformada de Fourier [6]. El número de componentes por fila utilizado para calcular la orientación,  $k_2$ , también es un parámetro configurable.

## 2.2 TÉCNICAS BASADAS EN PCA

El Análisis de Componentes Principales (PCA) [5] nos permite representar un conjunto de imágenes en un nuevo subespacio donde cada imagen se convierte en un vector de características de dimensión  $k_3$ , donde  $k_3$  es un parámetro configurable que representa los componentes PCA que preservan la mayor parte de la varianza del conjunto original de escenas. PCA presenta un buen ratio de compresión. Sin embargo, los vectores de características resultantes no presentan invariancia rotacional. Para resolver este problema, hemos implementado un algoritmo que aplica PCA sobre la Firma de Fourier de la escena, de modo que se ejerce un doble efecto de compresión y las características resultantes presentan invariancia rotacional. El mapa PCA está compuesto por la matriz  $V \in R^{k_3 \times M}$ , que contiene los  $k_3$  autovectores principales ( $M$  es el número de píxeles de la imagen) y las proyecciones de las imágenes de entrenamiento  $\vec{p}^j \in R^{k_3 \times 1}$ ;  $j=1 \dots N$  ( $N$  es el número de imágenes en el mapa).

Para calcular la localización desde la que el robot ha capturado una imagen de test, debemos proyectar la imagen de test en el nuevo espacio. Una vez que disponemos de la proyección  $\vec{p}^i \in R^{k_3 \times 1}$ , debemos compararla con todos los vectores de características almacenados en el mapa  $\vec{p}^j$ . El criterio utilizado es la distancia Euclídea. La imagen del mapa que presenta un mínimo valor de distancia (ecuación (1)) es la imagen correspondiente.

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{l=0}^{k_3} (p^{il} - p^{jl})^2}; \quad j=1 \dots N \quad (1)$$

## 2.3 TÉCNICAS BASADAS EN HOG

Los descriptores HOG están basados en la orientación del gradiente en regiones de una imagen. La imagen se divide en un número determinado de celdas y se representa cada celda por medio de un histograma de orientación. Al ordenar estos histogramas en un único vector obtendremos el descriptor de la escena [2].

Cuando un robot toma varias imágenes desde una única posición con diferentes orientaciones, las imágenes panorámicas resultantes contienen los mismos píxeles en cada una de sus filas, cambiando únicamente el orden. Teniendo este hecho en cuenta, para conseguir un descriptor de localización (que sea invariante ante cambios de orientación) tomamos celdas horizontales sobre la imagen (con un ancho igual al número de columnas de la imagen). El número de celdas horizontales será un parámetro configurable. Por su parte, para conocer la orientación relativa entre dos imágenes rotadas, construiremos un segundo descriptor tomando celdas verticales sobre la imagen. El número y el ancho de estas celdas será un parámetro configurable, con objeto de conseguir una buena resolución en la estimación del ángulo.

Cuando el robot captura una nueva imagen de test, primero se calcula su histograma de orientación del gradiente usando tanto celdas horizontales como celdas verticales. Para calcular la posición del robot, en primer lugar, se usa la información de las celdas horizontales. A continuación, para encontrar la orientación se hace uso de la información de las celdas verticales. En ambos casos, se usará la distancia Euclídea como criterio de comparación entre los descriptores de la imagen de test y los almacenados en el mapa. El coste computacional del proceso dependerá del número y tamaño de ambos tipos de celdas.

## 2.4 TÉCNICAS BASADAS EN *GIST*

Los descriptores basados en *gist* (esencia en inglés) tratan de extraer la información esencial de la imagen tratando de imitar la habilidad del sistema de percepción humano para reconocer una escena, identificando la forma o color de estructuras que destacan y evitando representar objetos o características locales, [7], [10]. El descriptor que hemos implementado en la plataforma está basado en el filtrado de Gabor y proporciona información acerca de frecuencia y orientación. Cada escena es filtrada usando un banco de filtros de Gabor con diferentes resoluciones y orientaciones. La escena se divide en celdas, usando los mismos principios que el subapartado anterior y se calcula el valor medio de los píxeles de cada celda. Con toda esta información se compone un vector de características de localización y uno de orientación para cada una de las escenas.

La localización se estima calculando la distancia mínima entre el descriptor de posición de la imagen de test y los descriptores de posición contenidos en el mapa.

Para finalizar, la tabla 1 muestra los parámetros que el usuario de la plataforma puede configurar durante el proceso de creación de mapas y localización para cada uno de los métodos implementados.

Tabla 1: Parámetros configurables en cada método de descripción.

Método	Páram	Descripción
1. DFT	$k_1$	Núm. comp. módulo
	$k_2$	Núm. comp. fase
2. PCA	$k_1$	Núm. comp. módulo Fourier
	$k_3$	Núm. comp. PCA
	$k_2$	Num. comp. fase Fourier
3. HOG	$k_4$	Núm. celdas horizontales
	$k_5$	Núm. celdas verticales
	$k_6$	Ancho celdas verticales
4. <i>gist</i>	$k_7$	Núm. máscaras Gabor (escala 1)
	$k_8$	Núm. máscaras Gabor (escala 2)
	$k_9$	Núm. celdas horizontales
	$k_{10}$	Núm. celdas verticales
	$k_{11}$	Ancho celdas verticales

## 3 DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE

La interfaz gráfica de usuario ha sido creada mediante la herramienta GUIDE de Matlab. En esta sección presentamos una descripción detallada de las operaciones que están disponibles a través de la interfaz. Nuestro objetivo fundamental era proporcionar a los estudiantes una herramienta que les permitiera comprender el funcionamiento de los descriptores de apariencia global y su aplicación a la creación de mapas y localización de un robot móvil. Todos los parámetros de las técnicas implementadas son configurables por el usuario. Asimismo, la distribución de imágenes en el mapa, la posición de las imágenes test y la distancia desde la imagen test a las imágenes del mapa son representadas gráficamente. También se incluye información sobre el coste computacional tanto del proceso de construcción del mapa como del de localización. Por último, el estudiante también podrá llevar a cabo comparaciones entre las diferentes técnicas y bajo situaciones cambiantes como ruido y oclusiones parciales.

La figura 2 muestra la primera parte de la interfaz gráfica durante un experimento. Con esta parte de la interfaz, el estudiante puede experimentar con el proceso de construcción del mapa. Es posible seleccionar el método de descripción deseado y ajustar sus parámetros. Por su parte, la figura 3 muestra la segunda parte de la interfaz gráfica, en la que el estudiante puede llevar a cabo experimentos

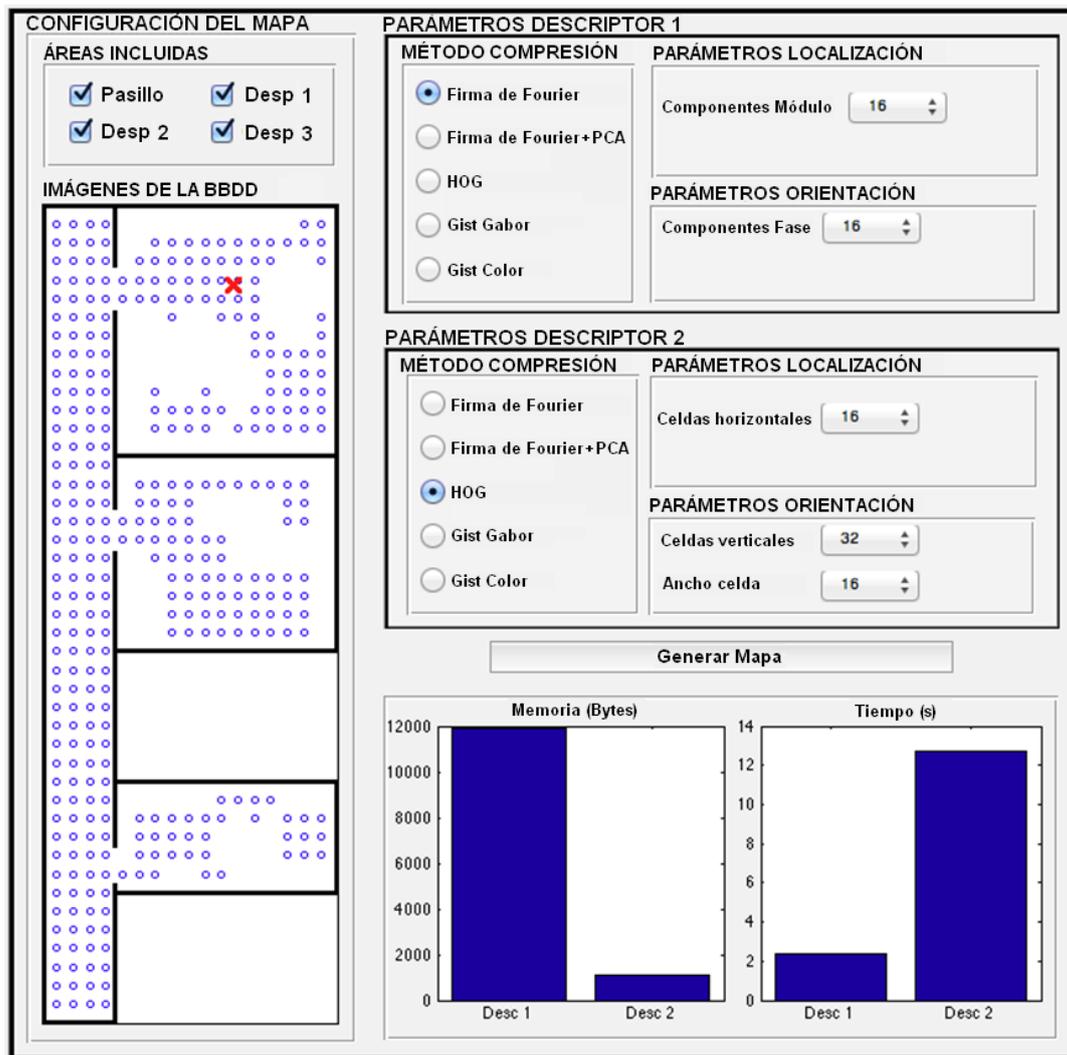


Figura 2: Apariencia de la interfaz gráfica de la aplicación durante un experimento.  
Parte 1: creación del mapa.

de localización con los mapas previamente creados. El manejo de ambas interfaces es muy intuitivo, y se guía al alumno a través del proceso de construcción del mapa y localización. Además, la interfaz proporciona todos los resultados necesarios para que el alumno pueda analizar cuál es el mejor descriptor tanto en términos de coste computacional y necesidades de memoria como en cuanto a la precisión de los resultados de localización.

### 3.1 EXPERIMENTO DE CONSTRUCCIÓN DEL MAPA

En primer lugar, el estudiante debe crear el mapa. La base de datos mostrada en la parte izquierda de la figura 2 está compuesta por 363 imágenes panorámicas en color distribuidas sobre una rejilla de tamaño 40 x 40 cm a lo largo de 4 estancias diferentes. Para construir el mapa, el estudiante debe elegir la técnica de compresión a aplicar y debe

configurar los parámetros de dicha técnica. Existen 5 posibilidades. A modo de ejemplo, la figura 2 muestra los parámetros correspondientes a la Firma de Fourier y al descriptor HOG. Es posible elegir el valor de cada parámetro mediante menús emergentes. Si algún parámetro no se cambia, la aplicación tomará el valor por defecto que aparece en un principio.

Tras seleccionar los parámetros deseados, el estudiante podrá generar el mapa. Una vez concluido este proceso, se mostrará un gráfico que incluye información sobre el tiempo que ha sido necesario para crear el mapa (construir el descriptor de cada imagen de entrenamiento) y la memoria que se requiere para almacenar toda esta información. Con la interfaz gráfica mostrada, el estudiante puede decidir qué estancias quiere incluir en el mapa y además, puede llevar a cabo una comparativa de dos métodos de descripción en cuanto a coste computacional y memoria necesaria.

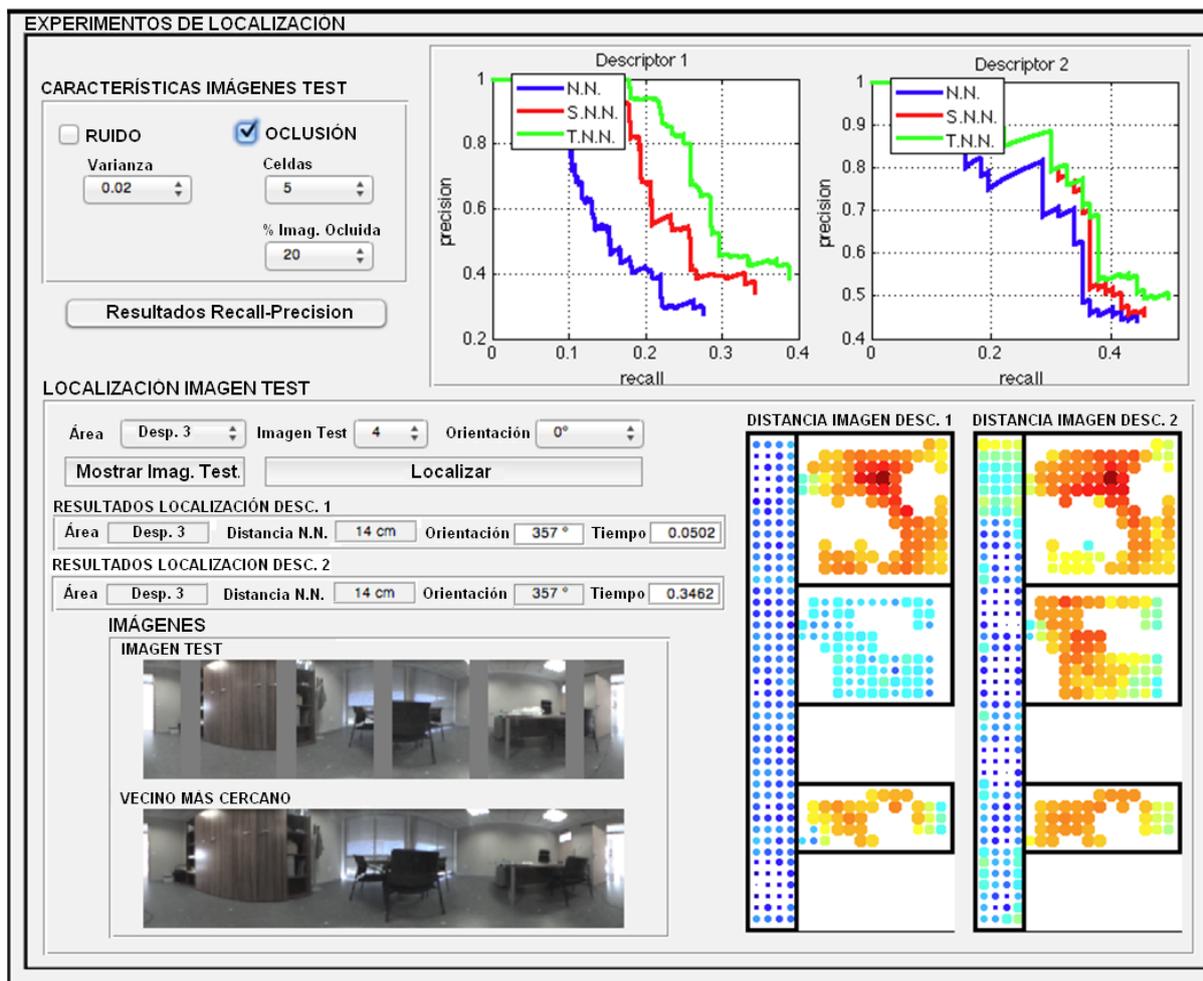


Figura 3: Apariencia de la interfaz gráfica de la aplicación durante un experimento.  
Parte 2: localización del robot.

### 3.2 EXPERIMENTO DE LOCALIZACIÓN DEL ROBOT

Una vez construido el mapa, la segunda etapa en la experimentación consistiría en estudiar su utilidad para que el robot sea capaz de estimar su posición y orientación. Para llevar a cabo este experimento, hemos incluido en la herramienta varios conjuntos de imágenes de test. Estas imágenes han sido capturadas en puntos intermedios entre las imágenes del mapa. El objetivo consiste en estimar la posición que tenía el robot cuando capturó estas imágenes de test haciendo uso únicamente de la información visual, comparando la imagen de test con la información contenida en el mapa. El método de compresión y los parámetros que se utilizan serán los mismos que en la fase de construcción del mapa. El botón 'Localiza' se encuentra deshabilitado hasta que el mapa haya sido creado con éxito. Con la interfaz, el estudiante puede comprobar el coste computacional y la precisión de

cada descriptor de apariencia global, en función del valor de sus parámetros.

El conjunto de imágenes de test está compuesto por 9 posiciones por área, con 16 orientaciones distintas por posición (cada 22.5°), con un total de 546 imágenes de test. En la interfaz, el estudiante puede seleccionar el área, el número de imagen de test con la que trabajar y su orientación. Además, es posible añadir ruido y/u oclusiones a las imágenes de test, fenómenos habituales que se suelen producir en aplicaciones reales de localización de robots móviles. Gracias a estas características, el experimento puede reproducir algunas situaciones típicas que ocurren en una aplicación real de navegación de un robot móvil por un entorno en el que hay personas u otros robots moviéndose (figuras 4 y 5).

Cuando el estudiante pulsa el botón 'Mostrar Imagen Test', la aplicación lee dicha imagen y su posición en el mapa, y esta posición aparece en la vista en planta

del mapa, marcada como una x roja. La imagen de test aparece en la parte inferior izquierda.

Al fin, cuando el estudiante pulsa el botón 'Localiza', la aplicación calcula el descriptor de la imagen de test y calcula la distancia Euclídea entre este descriptor y todos los descriptores del mapa. La imagen más cercana es considerada como la posición correspondiente del robot. A continuación, la aplicación estima la orientación del robot, calculando el desfase relativo entre el descriptor de la imagen de test y el descriptor del vecino más cercano (N.N, *Nearest Neighbor*, en la interfaz). Una vez estimadas la posición y orientación, los paneles 'Resultados de localización' (figura 3), indican el área en la que se encuentra el vecino más cercano, la distancia geométrica entre la imagen de test y dicho vecino y la orientación estimada. Además, la interfaz muestra el tiempo que ha sido necesario para llevar a cabo todo este proceso. Este es un factor especialmente interesante, puesto que permite saber si el descriptor en cuestión podría ser usado en una aplicación de navegación en tiempo real. Bajo la imagen de test, incluimos la imagen panorámica del vecino más cercano, en la parte inferior izquierda de la ventana. De este modo, la interfaz facilita la comparación entre ambas imágenes para apreciar si el proceso de localización y orientación ha sido correcto o no.

En la parte inferior derecha de la figura 3, la aplicación dibuja la distancia imagen entre el descriptor de la imagen de test y cada uno de los descriptores del mapa. En cada una de las posiciones del mapa se muestra un círculo, cuyo color y tamaño representan la similitud entre descriptores. Círculos rojos y grandes indican alta similitud mientras que círculos pequeños y azules corresponden a escenas con menor similitud. El estudiante puede apreciar entonces si hay algún mínimo local en el mapa que podría dar lugar a áreas de confusión (debido al fenómeno de *aliasing visual* que ocurre comúnmente en entornos de interior en que las estructuras visuales tienden a repetirse y zonas alejadas pueden presentar una apariencia visual muy semejante, produciendo confusión en el proceso de localización del robot). Por último, en la parte superior derecha, la aplicación muestra una gráfica *recall-precisión*, que se calcula tomando en consideración todas las imágenes test disponibles en la plataforma. Esta gráfica es una buena forma de resumir el comportamiento del descriptor analizado.

Cuando se selecciona un método de descripción diferente, o cuando se cambia cualquiera de los parámetros, todos los resultados de la fase de localización desaparecen y el botón 'Localizar' vuelve a presentarse deshabilitado hasta que el mapa sea generado de nuevo.

Para finalizar, tal y como se muestra en la figura 3, la interfaz también ofrece al estudiante la posibilidad de comparar el desempeño de dos métodos de descripción. El estudiante puede llevar a cabo una comparación entre dos descriptores distintos o estudiar cómo el comportamiento de un mismo descriptor cambia si varía el valor de alguno de sus parámetros.

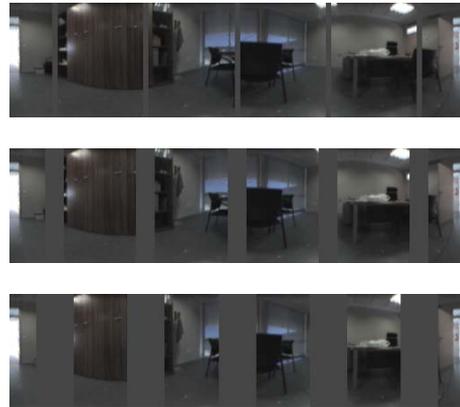


Figura 4: Ejemplos de imágenes de test con diferente porcentaje de oclusión.



Figura 5: Ejemplos de imágenes de test con ruido añadido de diferentes varianzas.

## 4 CONCLUSIONES

En este trabajo hemos presentado una herramienta software educativa para el aprendizaje de algoritmos de creación de mapas y localización de robots móviles. Estos algoritmos constituyen dos pasos cruciales durante el control de un robot móvil autónomo. La herramienta ha sido diseñada para ser usada en una asignatura de doctorado que trata sobre visión por computador aplicada al control de robots móviles.

Gracias a esta herramienta, los estudiantes pueden poner en práctica los algoritmos estudiados en el

aula. Las sesiones prácticas propuestas permiten a los estudiantes tener una visión global de la asignatura y entender sus aplicaciones reales. La plataforma presenta varias ventajas tanto para el estudiante como para el profesor. El estudiante puede probar todos los algoritmos a través de una interfaz gráfica intuitiva y puede llevar a cabo los experimentos en cualquier momento, siguiendo el ritmo de aprendizaje que el/ella crea necesario, sin ninguna restricción horaria. El sistema potencia la autonomía del estudiante y permite un sistema de evaluación justo. Desde el punto de vista de los profesores, el grado de seguimiento de la asignatura ha mejorado y, gracias a la herramienta, los estudiantes son capaces de diseñar algoritmos más sofisticados para controlar los movimientos de un robot móvil y ajustar correctamente el valor de los parámetros necesarios.

En la actualidad estamos trabajando en la mejora de esta herramienta desde varios puntos de vista. En primer lugar, pretendemos incluir nuevos métodos de creación de mapas y localización, para que sea una herramienta más completa. También nos gustaría integrar esta herramienta con un laboratorio remoto, de modo que los estudiantes pudieran teleoperar el robot real a través de Internet, capturar sus propios mapas e imágenes de test e incluso desarrollar un algoritmo de localización probabilística, afrontando los problemas que pueden surgir en una aplicación real.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido apoyado por el gobierno español a través del proyecto DPI2010-15308, 'Exploración integrada de entornos mediante robots cooperativos para la creación de mapas 3D visuales y topológicos que puedan ser usados en navegación con 6 grados de libertad'.

### Referencias

- [1] Amorós, F., Paya, L., Reinoso O., Fernández, L., and Marin, J. M. (2010). "Visual Map Building and Localization with an Appearance-based Approach", *Proc. of 7th Int. Conf. on Informatics, in Control, Automation and Robotics, ICINCO 2010*. 2, pp. 423 – 426
- [2] Dalal, N. and Triggs, B. (2005). "Histograms of oriented gradients for human detection", *Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, San Diego, USA.
- [3] de Queiroz, L.R.; Bergerman, M.; Campos Machado, R.; Bueno, S.S.; Elfes, A. (1998). "A robotics and computer vision virtual laboratory", *Advanced Motion Control, 1998. AMC '98-Coimbra*.
- [4] Jara, C., Candelas, F., Puente, F., Torres, F. (2011). "Hands-on experiences of undergraduate students in Automatics and Robotics using a virtual and remote laboratory", *Computers & Education*, 57(4).
- [5] Krose, B., Bunschoten, R., Hagen, S., Terwijn, B., and Vlassis, N. (2004). "Household robots look and learn: environment modelling and localization from an omnidirectional vision system", *Robotics Automation Magazine, IEEE*, 11(4), pp. 45 – 52.
- [6] Menegatti, E., Maeda, T., and Ishiguro, H. (2004). "Image based memory for robot navigation using properties of omnidirectional images", *Robotics and Autonomous Systems*. 47(4), pp. 251 – 276
- [7] Oliva, A. and Torralba, A. (2001). "Modelling the shape of the scene: a holistic representation of the spatial envelope", *Int. Journal of Computer Vision*, 42(3), pp. 145 – 175
- [8] Ramasundaram, V., Grunwald, S., Mangeot, A., Comerford, N.B., Bliss, C.M. (2005). "Development of an environmental virtual field laboratory", *Computers & Education*, 45(1).
- [9] Siegwart, R., and Nourbakhsh, I.R. (2004). *Introduction to autonomous mobile robots*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [10] Torralba, A. (2003). "Contextual priming for object detection", *Int. Journal of Computer Vision*, 53(2), pp. 169 – 191