



**.XXXVII.**

# JORNADAS DE AUTOMÁTICA

---

FACULTAD DE INFORMÁTICA  
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

## LIBRO DE ACTAS

7, 8 y 9  
SEPTIEMBRE  
2016  
**MADRID**



JA2016



Actas de las XXXVII Jornadas de Automática  
7, 8 y 9 de septiembre de 2016, Madrid  
ISBN: 978-84-617-4298-1  
© Comité Español de Automática (CEA-IFAC)

• XXXVII •

## Table of Contents

|  |    |
|--|----|
| CONTROL DE LA EXPANSIÓN ISOTÉRMICA PARA CONVERSIÓN DE CALOR A TRABAJO .....  | 1  |
| <i>Ramon Ferreiro Garcia, Jose Luis Calvo Rolle and Francisco Javier Perez Castelo</i>   |    |
| EVALUACION DE ARTEFACTOS EN UN SISTEM BMI PARA LA MEDICION DE NIVELES DE ATENCION DURANTE MOVIMIENTO CON EXOESQUELETO DE MIEMBRO INFERIOR.....   | 7  |
| <i>Álvaro Costa, Eduardo Iáñez, Marisol Rodriguez-Ugarte and Jose Maria Azorin</i>   |    |
| Entrenamiento y Rehabilitación de la Marcha en Pacientes Pediátricos a través de la Plataforma Robótica CPWalker .....   | 13 |
| <i>Cristina Bayón Calderón, Sergio Lerma Lara, Óscar Ramírez Velázquez, José Ignacio Serrano, María Dolores Del Castillo, Juan Manuel Belda Lois, Ignacio Martínez Caballero and Eduardo Rocon de Lima</i> |    |
| Optimización global estática de sistemas de refrigeración .....  | 19 |
| <i>Guillermo Bejarano Pellicer, Manuel Gil Ortega Linares and Francisco Rodríguez Rubio</i>  |    |
| IDENTIFICACIÓN PARAMÉTRICA DEL CONDENSADOR DE UNA PLANTA EXPERIMENTAL DE REFRIGERACIÓN .....   | 27 |
| <i>David Rodríguez, José A. Alfaya, Guillermo Bejarano, Manuel G. Ortega and Fernando Castaño</i>  |    |
| Modelado cinemático y dinámico del robot UHP en el modo de rehabilitación Wrist .....  | 35 |
| <i>Aitziber Mancisidor, Asier Zubizarreta, Itziar Cabanes, Pablo Bengoa and Iñigo Sesar</i>  |    |
| Cable Driven Robot to Simulate Low Gravity and its Application in Underwater Humanoid Robots.....  | 43 |
| <i>Alejandro Rodríguez Barroso, Roque Saltarén Pazmiño, Rafael Aracil Santonja, Miguel Ángel Pérez Bayas and Cecilia García Cena</i>   |    |
| GENERACIÓN DE DATA SETS SIMULANDO DIFERENTES TIPOS DE CÁMARAS EN ENTORNOS VIRTUALES .....  | 49 |
| <i>Yerai Berenguer, Luis Payá, Luis Miguel Jiménez, Mónica Ballesta and Oscar Reinoso</i>  |    |
| IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL FUZZY EN EL LAZO DE CONTROL DE VELOCIDAD DE UN HELICÓPTERO COAXIAL NO TRIPULADO .....   | 57 |
| <i>Bartomeu Rubí</i>   |    |
| TÉCNICAS DE SEGMENTACIÓN EN IMÁGENES SLAR PARA LA DETECCIÓN DE VERTIDOS DE HIDROCARBUROS .....   | 65 |
| <i>Damián Mira, Beatriz Alacid, Pablo Gil and Fernando Torres</i>  |    |
| EXPERIMENTAL TECHNIQUES TO MEASURE HYPNOTIC LEVELS DURING SURGERY.....   | 73 |
| <i>Gerardo Alfonso, Juan Albino Méndez Pérez, Rosa María Aguilar China, Jesús Torres Jorge, José Francisco Gómez González, José Antonio Rebozo Morales, María Martín Lorenzo and José Luis Calvo Rolle</i> |    |

|   |     |
|---|-----|
| INTELIGENCIA COMPUTACIONAL EMBEBIDA PARA LA SUPERVISIÓN DE PROCESOS DE MICROFABRICACIÓN .....   | 78  |
| <i>Fernando Castaño Romero, Rodolfo E. Haber and Gerardo Beruvides</i>  |     |
| Control basado en Reset para seguimiento de consigna en el sistema de Control de Crucero Adaptativo .....   | 85  |
| <i>Adriana Costas, Miguel Cerdeira Corujo, Antonio Barreiro Blas, Emma Delgado Romero and Alfonso Baños Torrico</i>   |     |
| MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA REALIZACIÓN DE EXPERIENCIAS DE CONTROL NO LINEAL.....  | 93  |
| <i>Cristina Lampón, Ramón Costa-Castelló and Sebastián Dormido Bencomo</i>  |     |
| EXPLORACION DE ENTORNOS MEDIANTE ROBOTS AUTONOMOS BASADA EN MODELOS DE REACCION DIFUSION .....  | 100 |
| <i>Alejandro Vazquez-Otero, Jan Faigl, Natividad Duro and Raquel Dormido</i>  |     |
| Selection of the Adequate Algorithm to Generate Plant Templates for Robust Control ....   | 107 |
| <i>Jose Manuel Diaz, Sebastian Dormido, Joaquín Aranda and Rocío Muñoz</i>  |     |
| Una estrategia docente basada en el flipped classroom para mejorar la enseñanza de contenidos prácticos en asignaturas STEM .....   | 114 |
| <i>Isiah Zaplana and Jan Rosell</i>   |     |
| LIBRERÍA JAVA PARA ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS LINEALES.....  | 121 |
| <i>Jordi Blanch Costa and Ramón Costa-Castelló</i>  |     |
| CONTROL ADAPTATIVO POR MODELO DE REFERENCIA PARA UN INVERSOR BASADO EN LCL CON SÍNTESIS DE CONTROLADOR MÍNIMA.....  | 129 |
| <i>Ciro Larco Barros, Ramón Costa-Castelló and Josep M. Olm</i>   |     |
| Transcranial direct current stimulatío (tDCS) and transcranial current alternating stimulation (tACS) review .....  | 137 |
| <i>Marisol Rodriguez-Ugarte, Nadia Sciacca, Eduardo Iáñez and Jose M. Azorin</i>  |     |
| HACIA UN ASISTENTE ROBÓTICO QUIRÚRGICO COGNITIVO .....  | 144 |
| <i>Irene Rivas Blanco, Maria Del Carmen López Casado, Enrique Bauzano Nuñez and Victor Muñoz Martinez</i>   |     |
| TRAJECTORY CLUSTERING FOR THE CLASSIFICATION OF EYE-TRACKING USERS WITH MOTOR DISORDERS .....   | 150 |
| <i>Alejandro Clemotte, Harbil Arregui, Miguel Angel Velasco, Luis Unzueta, Jon Goenetxea, Unai Elordi, Eduardo Rocon, Ramón Ceres, Javier Bengoechea, Iosu Arizkuren and Eduardo Jauregui</i> |     |
| Identificacion de las principales tipologias de nubes utilizando HOG .....  | 156 |
| <i>Carmelina Ierardi and Manuel Arahal</i>  |     |
| Improving Local Symmetry Estimations In RGB-D Images by Fitting Superquadrics .....   | 162 |
| <i>David Fornas, Pedro J. Sanz, Josep M Porta and Federico Thomas</i>   |     |
| Control MPC basado en un modelo LTV para un control de seguimiento de trayectoria ...   | 169 |
| <i>Sara Mata, Asier Zubizarreta, Ione Nieva, Itziar Cabanes and Charles Pinto</i>   |     |

|   |     |
|---|-----|
| ANÁLISIS DE LA FATIGA MUSCULAR EN EL BICEPS MEDIANTE UNA ARQUITECTURA DE BAJO COSTE BASADA EN ARDUINO-EHEALTH.....  | 177 |
| <i>Jorge Aracil Gómez, Jose M. Azorin and Eduardo Iáñez Martínez</i>  |     |
| A NEW UPGRADING MODEL FOR DETECTING THE REACTION TO OBSTACLE APPEARANCE DURING WALKING USING EEG .....  | 184 |
| <i>Eduardo Iáñez, Álvaro Costa, Andrés Úbeda, Marisol Rodríguez-Ugarte and Jose M. Azorin</i>   |     |
| EVALUACIÓN DE MANIPULADORES ROBÓTICOS MEDIANTE MÉTRICAS DE CALIDAD DEL AGARRE.....  | 190 |
| <i>Carlos Rubert and Antonio Morales</i>  |     |
| Identificación de parámetros de colectores solares planos mediante algoritmos genéticos ...   | 198 |
| <i>Manuel Garrido Satue, Manuel Gil Ortega Linares and Francisco Rodriguez Rubio</i>  |     |
| Un Nuevo Método Cooperativo Para Encontrar Personas En Un Entorno Urbano Con Robots Móviles .....   | 206 |
| <i>Alex Goldhoorn, Anaís Garrell Zulueta, René Alquézar Mancho and Alberto Sanfeliu Cortés</i>  |     |
| Filtrado en línea de una señal basado en métodos algebraicos y su validación experimental   | 214 |
| <i>Marina Pérez De La Portilla, José Andrés Somolinos Sánchez, Amable López Piñeiro and Rafael Morales</i>  |     |
| Modelado borroso mediante datos de entrada-salida obtenidos con Arduino. Aplicación a una pila de combustible .....   | 222 |
| <i>A. Javier Barragán Piña, Miguel A. Martínez Bohórquez, Francisca Segura Manzano, José Manuel Andújar Márquez and Antonio José Calderón Godoy</i>                       |     |
| GENERACIÓN DE BIOSEÑALES SINTÉTICAS MEDIANTE SERIES DE FOURIER VARIANTES EN EL TIEMPO .....   | 227 |
| <i>Jesús Escrivá Muñoz, Alejandro Galea Cazorra, Carmen González Pijuán, Montserrat Vallverdu Ferrer, Pere Caminal Magrans and Erik Weber Jensen</i>                      |     |
| Integración de Comunicaciones a Nivel de Planta empleando Sistemas Ciber-físicos de Producción de Bajo Coste.....   | 234 |
| <i>Marcelo V Garcia, Edurne Irisarri, Federico Pérez, Dario Orive, Marga Marcos and Elisabet Estevez</i>  |     |
| Phase Magnitude Diagram for Linear Systems with Delay .....   | 242 |
| <i>Santiago Garrido, Fernando Martín and Luis Moreno</i>  |     |
| Diseño, construcción y control de un convertidor de potencia de cinco niveles .....   | 248 |
| <i>Antonio Ventosa-Cutillas, Marta Gómez-Correa, Francisco Gordillo and Federico Cuesta</i>   |     |
| Planificación Estocástica de la Producción para Aceite de Oliva Virgen .....  | 256 |
| <i>Pablo Cano Marchal, Diego Martínez Gila, Javier Gamez and Juan Gómez Ortega</i>  |     |
| Modelado de la incertidumbre en proceso de producción utilizando emborronamiento no unitario y mapas borroso cognitivos: caso de estudio del aceite del oliva virgen..... | 264 |
| <i>Pablo Cano Marchal, Christian Wagner, Javier Gamez García and Juan Gómez Ortega</i>  |     |

|  |     |
|--|-----|
| Desarrollo de una aplicación para la operación local del robot manipulador<br>POWERBALL: Powerbsim .....                 | 272 |
| <i>Jose Angel Martínez Navarro, Jose Carlos Moreno and Jose Luis Guzman</i>  |     |
| Modeling and Identification of ABE fermentation processes .....  | 278 |
| <i>Dominik Hose, César de Prada and Gerardo Gonzalez</i>   |     |
| Diseño y uso de una paleta háptica para prácticas de teleoperación con simulink .....                                    | 286 |
| <i>Juan Manuel Gandarias Palacios, Sepehr Akbari Kalhor and Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel</i>                            |     |
| Towards omnidirectional immersion for ROV teleoperation .....  | 293 |
| <i>Josep Bosch, Pere Ridaó, Rafael Garcia and Nuno Gracias</i>   |     |
| ESQUEMA DE INTEGRACION PARA EXPERIMENTACION REAL CON<br>SISTEMAS ROBOTICOS BI-BRAZO .....                                | 300 |
| <i>Francisco Abiud Rojas de Silva, Carlos Arturo Rodriguez Pacheco and Raúl Suárez Feijóo</i>                            |     |
| PLANTA EXPERIMENTAL PARA SUPERVISIÓN Y CONTROL DEL CICLO DE<br>REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR .....               | 308 |
| <i>Mario L. Ruz, Sergio Fragoso, Francisco Vazquez, Rafael David Rodriguez, Fernando Morilla and Juan Garrido</i>        |     |
| MPC como estrategia de gestión energética para un vehículo híbrido eléctrico .....                                       | 316 |
| <i>Mauro Carignano, Diego Feroldi, Norberto M. Nigro and Ramon Costa Castelló</i>  |     |
| DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA ANTIVUELCO PARA VEHÍCULOS<br>INDUSTRIALES .....  | 324 |
| <i>Jesús Molina, Mario L. Ruz and Francisco Vazquez</i>  |     |
| PROPUESTA BASADA EN MODELOS PARA LA MONITORIZACIÓN REMOTA<br>DE PROCESOS EN LA INDUSTRIA DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO ..... | 331 |
| <i>Eduarne Irisarri, Marcelo V Garcia, Federico Pérez, Darío Orive, Elisabet Estevez and Marga Marcos Muñoz</i>          |     |
| Control Táctil Adaptable para la Manipulación de Objetos Deformables .....   | 338 |
| <i>Angel Delgado, Carlos Alberto Jara and Fernando Torres</i>  |     |
| UWSim, un simulador submarino como herramienta educativa .....   | 346 |
| <i>Javier Perez Soler, David Fornas, Raul Marin and Pedro J Sanz</i>   |     |
| MODELO CINEMÁTICO DE UN ROBOT HEXÁPODO CON "C-LEGS" .....  | 352 |
| <i>Jesús Tordesillas Torres, Jorge De León Rivas, Antonio Barrientos Cruz and Jaime Del Cerro</i>                        |     |
| Evaluación de un sistema de radio UWB para posicionamiento preciso de vehículos .....                                    | 360 |
| <i>Antonio Ramón Jiménez Ruiz, Jorge Godoy and Fernando Seco</i>   |     |
| EXOESQUELETO ACTUADO POR SMA PARA MOVILIZACIÓN DE LA MUÑECA ..   | 368 |
| <i>Dorin Sabin Copaci, Dolores Blanco, Iago Lopez Guerra, Susana Collado Vázquez and Marta Pérez de Heredia</i>          |     |

|  |     |
|--|-----|
| ALINEAMIENTO 3D DESDE POSICIONES NO CERCANAS DE UN ROBOT PARA TRABAJOS EN INTERIORES A PARTIR DE IMÁGENES RGB-D.....         | 374 |
| <i>Sergio Cebollada, Cristobal Parra, Miguel Juliá, Mathew Holloway, Luis Miguel Jiménez and Oscar Reinoso</i>               |     |
| DETECCION AUTOMATICA DE DIFERENCIAS ENTRE IMAGENES PARA ESTIMACION DE LA IRRITACION DE PRODUCTOS MEDIANTE HET-CAM.....       | 382 |
| <i>Ignacio Perez Muñoz and Antonio Jose Sanchez Salmeron</i>   |     |
| PROTOTIPO DE VISIÓN ARTIFICIAL DE BAJO COSTE PARA DESARROLLO DE PRÁCTICAS DOCENTES.....                                      | 388 |
| <i>José Félix González Rojo, Joan Carles Puchalt Rodríguez, Eugenio Ivorra Martínez and Antonio José Sánchez Salmerón</i>    |     |
| Identificación de Parámetros Borrosos para el Control de Suspensión Activa mediante Enjambre de Partículas.....              | 396 |
| <i>Isabel Elena Herrera, Anthony Mandow and Alfonso García-Cerezo</i>  |     |
| Prácticas experimentales de control digital con elementos de bajo coste.....   | 402 |
| <i>Adolf Izquierdo Borràs and Ramon Costa-Castelló</i>   |     |
| Una estrategia de control mediante observadores para la temperatura en edificio de oficinas.....                             | 410 |
| <i>Ruben Mascaró Palliser, Ramon Costa-Castelló and José Domingo Álvarez Hervás</i>  |     |
| Modelo dinámico para el despliegue automático de una barrera de contención de vertidos marinos.....                          | 417 |
| <i>Juan Jiménez, Jose Maria Girón-Sierra and Dictino Chaos</i>   |     |
| LA RESPONSABILIDAD JURÍDICA DE LOS PROGRAMADORES POR LOS DAÑOS CAUSADOS POR AGENTES AUTÓNOMOS.....                           | 425 |
| <i>Alejandro Zornoza</i>   |     |
| Modelar o programar en prácticas de robótica.....  | 432 |
| <i>Antonio José Muñoz-Ramírez and Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel</i>  |     |
| ASPECTOS PRÁCTICOS DEL CONTROL DE ACTITUD DEL SATÉLITE INTA-NANOSAT-1B.....  | 439 |
| <i>Segundo Esteban San Román, José María Girón-Sierra, Lorenzo Cercós Pita, Oscar Rodríguez Polo and Manuel Angulo Jerez</i> |     |
| Optimización con incertidumbre en EcosimPro.....   | 446 |
| <i>Tania Rodríguez Blanco, Daniel Sarabia Ortiz and César de Prada</i>   |     |
| Modelización simulada en tiempo real de la evolución de un incendio mediante el Método Fast Marching.....                    | 453 |
| <i>Adrián Barqueno, Luis Santiago Garrido and Luis Moreno</i>  |     |
| MODELO BASADO EN OPTIMIZACIÓN Y BASES DE DATOS.....  | 459 |
| <i>Vicente Simón Gómez, David Muñoz de La Peña and Teodoro Alamo</i>   |     |

|   |     |
|---|-----|
| GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE CÓDIGO DE APLICACIONES ROBÓTICAS<br>MANIPULADORAS PARA EL MIDDLEWARE DE ROS .....  | 467 |
| <i>Elisabet Estévez, Alejandro Sánchez García, Javier Gámez García and Juan Gómez Ortega</i>  |     |
| CONTROL PREDICTIVO BASADO EN DATOS .....  | 475 |
| <i>Vicente Simón Gómez, David Muñoz de La Peña and Teodoro Alamo</i>  |     |
| INTERFAZ INTELIGENTE Y ADAPTATIVA PARA PERSONAS CON<br>DISCAPACIDAD .....   | 483 |
| <i>María Taboada, Juan Jesús Roldán and Antonio Barrientos Cruz</i>   |     |
| ENTORNO DE SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN PARA VEHÍCULOS TIPO<br>FORMULA STUDENT .....   | 491 |
| <i>Iosu Erauskin, Asier Zubizarreta, Alejandro López and Alberto Parra</i>  |     |
| Control PID basado en eventos periódico para sistemas de control en red .....   | 499 |
| <i>Ernesto Aranda-Escolástico, Carlos Rodríguez, María Guinaldo, José Luis Guzmán and Sebastián Dormido Bencomo</i>   |     |
| Formulación del problema de optimización multiobjetivo del confort en edificación<br>sostenible .....   | 505 |
| <i>María Del Mar Castilla Nieto, Francisco Rodríguez-Díaz, José Domingo Álvarez, Manuel Berenguel and Carlos Bordons</i>  |     |
| MODELADO Y ANÁLISIS DE MISIONES MULTI-ROBOT MEDIANTE MINERÍA<br>DE PROCESOS .....   | 513 |
| <i>Félix Díez, Juan Jesús Roldán and Antonio Barrientos</i>   |     |
| Introducción a la robótica con actividades de construcción, programación y competición<br>de robots .....   | 521 |
| <i>Francisco Andrés Candelas Herías, Fernando Torres Medina and Santiago T. Puente Méndez</i>   |     |
| MONITOREO EN LÍNEA DE LA FRECUENCIA CARDÍACA POR IMAGEN<br>FOTOPLETISMOGRAFÍA MEDIANTE FILTRADO POR KALMAN .....  | 529 |
| <i>Juan-Carlos Cobos-Torres and Mohamed Abderrahim</i>  |     |
| DESARROLLO DE UN MÓDULO DE COMUNICACIONES PARA PROTOCOLO<br>FINS-TCP SOBRE SERVIDOR OPC-UA .....  | 536 |
| <i>Francisco Blanes and Andrés Benlloch Faus</i>  |     |
| Estudio inicial de un vehículo autónomo marino de superficie .....  | 544 |
| <i>Santiago Puente, Francisco Candelas, Fernando Torres and Carlos Cano</i>   |     |
| Predicción automática de la calidad del aceite de oliva virgen empleando visión por<br>computador sobre aceitunas a la entrada del proceso de elaboración ..... | 550 |
| <i>Oscar Cáceres Moreno, Diego Manuel Martínez Gila, Daniel Aguilera Puerto, Javier Gamez García and Juan Gómez</i>   |     |
| SISTEMA DE CONTROL COOPERATIVO APLICADO A UNA RED DE TRÁFICO<br>URBANO .....  | 558 |
| <i>Antonio Artuñedo, Raúl M. Del Toro and Rodolfo Haber</i>   |     |

|  |     |
|--|-----|
| UNA COMPARATIVA DE LA CIBERSEGURIDAD EN SISTEMAS DE CONTROL CRÍTICOS: SMART GRIDS E IACS .....   | 566 |
| <i>Miguel Angel Iñigo Ulloa, Isidro Calvo and Jon Arambarri</i>  |     |
| Perfiles de Conducción mediante Procesamiento Inteligente y Árboles de Decisión.....   | 575 |
| <i>Robert Perelló, Matilde Santos and Rafael Korbas</i>  |     |
| Un nuevo modelo para la conexión remota con hardware usando javascript .....   | 581 |
| <i>Jacobo Sáenz, Francisco Esquembre, Félix J García, Luis De La Torre, José Sanchez and Sebastián Dormido Bencomo</i>                       |     |
| INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES SOBRE COOPERACIÓN DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS EN MEDIO ACUÁTICO .....  | 588 |
| <i>Jose M Giron-Sierra, Segundo Esteban and Juan Jimenez</i>   |     |
| Desarrollo de un entorno colaborativo para aplicaciones de fusión.....   | 596 |
| <i>Jesús Chacón, Ernesto Fabregas, Sebastian Dormido, Jesus Vega and José Sánchez Moreno</i>   |     |
| Caracterización conjunta cromática-textural en la identificación de nubes.....   | 602 |
| <i>Eduardo Fernández-Cantalejo Padial and Manuel Arahal</i>  |     |
| SIMULACION DE KHEPERA IV EN V-REP .....  | 610 |
| <i>Ernesto Fabregas, Emmanuel Peralta, Gonzalo Farias, Héctor Vargas and Sebastián Dormido</i>   |     |
| ENERGÍA OSMÓTICA: MODELADO Y SIMULACIÓN DE ÓSMOSIS POR PRESIÓN RETARDADA .....   | 616 |
| <i>Jacobo Manuel Salamanca Parra and Fernando Tadeo</i>  |     |
| Control predictivo no lineal tolerante a fallos en una planta de tratamiento de aguas residuales.....  | 623 |
| <i>Álvar Sánchez-Fernández, Mario Francisco, Maria Jesus Fuente and Pastora I. Vega</i>  |     |
| DOCENCIA EN INFORMÁTICA INDUSTRIAL: LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN  | 631 |
| <i>Rogelio Mazaeda, Eusebio de La Fuente López, José Luis González and Eduardo J. Moya de La Torre</i>                                       |     |
| Arquitectura basada en ROS para el vehículo iCab (Intelligent Campus Automobile) .....   | 639 |
| <i>Pablo Marín Plaza, Ahmed Hussein, Carlos Guindel Gómez, David Martín Gómez, Fernando García Fernández and Arturo de La Escalera Hueso</i> |     |
| DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ESTABILIZACIÓN DE UN BUQUE DE ALTA VELOCIDAD BASADO EN TÉCNICAS QFT .....                                 | 645 |
| <i>Rocío Muñoz Mansilla, José Manuel Díaz Martínez, Dictino Chaos García, David Moreno Salinas and Joaquín Aranda Almansa</i>                |     |
| MODOS DE INTEGRACIÓN DE LABORATORIOS ONLINE EN SISTEMAS DE GESTIÓN DE APRENDIZAJE.....   | 653 |
| <i>Ildefonso Ruano, Javier Gámez and Juan Gómez</i>  |     |

|  |     |
|--|-----|
| OBTENCIÓN DE BARRIDOS LÁSER 3D NIVELADOS CON EL ROBOT MÓVIL ANDÁBATA EN MOVIMIENTO .....   | 661 |
| <i>Jorge L. Martínez, Jesús Morales and Manuel Zafra</i>   |     |
| Estudio comparativo de efectos tDCS y rehabilitacion combinado con rehabilitacion con dispositivo robotico .....   | 667 |
| <i>Santiago Ezquerro García, Irene Delegido Bernabe, Arturo Bertomeu-Motos, Luis Daniel Lledó Pérez, Rafael Puerto Manchon, Jose María Sabater-Navarro and Nicolas Garcia-Aracil</i> |     |
| Autocalibración de parámetros extrínsecos de sistemas estéreo para aplicaciones de tráfico   | 675 |
| <i>Basam Musleh, Jorge Beltrán, Carlos Borja Jaraquemada, Maria José Gomez-Silva, Noélia Hernández and José María Armingol</i>   |     |
| MICRO-ROBOT PARA INSPECCIÓN DE TUBERÍAS .....  | 683 |
| <i>Tamara Canelo, Ernesto Gambao, Alberto Brunete and Miguel Hernando</i>  |     |
| Evaluación de la arquitectura ARMv7-A para el desarrollo de HROV's eficientes.....   | 689 |
| <i>Diego Centelles Beltran, Rafael Mayo Gual, Eduardo Moscoso Rubino, Raúl Marin Prades and Pedro José Sanz Valero</i>   |     |
| CONTROL DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MEDIANTE LoopWin APLICANDO DIVERSOS MÉTODOS.....  | 696 |
| <i>F. Javier García, Eduardo J. Moya, Alfonso Poncela, Alexander Curiel and Jordán Jiménez</i>   |     |
| ENTORNO AVANZADO DE CO-SIMULACIÓN PARA MANIOBRAS COOPERATIVAS ENTRE VEHÍCULOS .....  | 704 |
| <i>Antonio Artuñedo, Jorge Godoy and Rodolfo Haber</i>   |     |
| Aprendizaje por Refuerzo con Búsqueda de Politicas: Simulacion y Aplicacion a un Sistema Electromecanico .....   | 710 |
| <i>Jose Manuel Pastor, Henry Diaz, Leopoldo Armesto and Antonio Sala</i>   |     |
| Sistema robótico multimodal de miembro superior para interacción con entorno físicos ....  | 718 |
| <i>Jorge Díez, Andrea Blanco, José María Catalán, Luis Daniel Lledó Pérez, Francisco Javier Badesa and Nicolas Garcia-Aracil</i>   |     |
| Aprendizaje de comportamientos de navegación en planificadores RRT* .....  | 724 |
| <i>Noé Pérez-Higueras, Fernando Caballero Benítez and Luis Merino</i>  |     |
| El "Automatizado Box & Blocks Test". Sistema automático de evaluación de destreza manual gruesa .....  | 732 |
| <i>Edwin Daniel Oña Simbaña, Alberto Jardón Huete, Carlos Balaguer Bernaldo de Quirós, Alicia Cuesta Gómez, María Carratalá Tejada and Esther Monge Pereira</i>                      |     |
| ROBOTS NADADORES TIPO FLAGELO BACTERIANO DE PEQUEÑAS DIMENSIONES: DESARROLLO DE PROTOTIPOS Y PLATAFORMAS DE PRUEBA.  | 740 |
| <i>Javier Silva García, Javier Prieto Arranz, Ines Tejado, Emiliano Pérez and Blas M. Vinagre</i>  |     |

|   |     |
|---|-----|
| Control orientado a la herramienta para dispositivo asistencial en tareas que requieren capacidad de pinzado .....                          | 748 |
| <i>Edwin Daniel Oña Simbaña, Alberto Jardón Huete, Gabriel Barroso de María and Carlos Balaguer Bernaldo de Quirós</i>                      |     |
| OBTENCION DEL MODELO DINAMICO SIMBOLICO DE ROBOTS<br>RAMIFICADOS UTILIZANDO GRUPOS DE LIE Y GRAFOS .....                                    | 755 |
| <i>Juan A. Escalera, Fares Abu-Dakka, Pablo J. Alhama Blanco and Mohamed Abderrahim</i>   |     |
| Experiencia docente de la materia Informatica Industrial en estudios de Ingenieria .....  | 762 |
| <i>Francisco Rodríguez, José Carlos Moreno, Maria Del Mar Castilla, Manuel Berenguel, José Luis Guzmán and Jorge Antonio Sánchez-Molina</i> |     |
| LOCALIZACIÓN DE ROBOTS MÓVILES CON 4 GDL MEDIANTE VISIÓN<br>OMNIDIRECCIONAL .....   | 770 |
| <i>Cristobal Parra Soriano, Luis Miguel Jiménez García, Mónica Ballesta Galdeano, Óscar Reinoso García and David Valiente García</i>        |     |
| Uso de un robot social de bajo coste con personas mayores dependientes en un centro residencial .....                                       | 777 |
| <i>Ángeles Hoyo Sánchez, Mari Carmen Pardo, Jose Luis Guzman and Jose Carlos Moreno</i>   |     |
| Planificador de Búsqueda en Tiempo Mínimo en un Sistema de Control de RPAS .....  | 785 |
| <i>Sara Perez Carabaza, Eva Besada Portas, Jose Antonio Lopez Orozco and Jesús Manuel de La Cruz</i>  |     |
| Cálculo de trayectorias para vehículos autónomos marinos (USV) utilizando el método Fast Marching Square sometido a campo vectorial .....   | 793 |
| <i>Melchor Izquierdo, Santiago Garrido and Luis Moreno</i>  |     |
| PLANIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DE CARGAS EN UN SISTEMA DE<br>EVAPORADORES INDUSTRIALES .....   | 801 |
| <i>Carlos Gómez Palacín, José Luis Pitarch and César de Prada</i>   |     |
| MODELADO Y CONTROL DE UN VEHÍCULO SUBACUÁTICO NO TRIPULADO ...  | 807 |
| <i>Francisco J. Velasco González, Elías Revestido Herrero, Francisco Javier Lastra Santos and Luis Manuel Vega Antolín</i>                  |     |
| PLATAFORMA DE INSPECCIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE MAPAS 2D y 3D DE<br>UN CULTIVO .....  | 814 |
| <i>Jose M Bengochea-Guevara, Dionisio Andújar, Jesús Conesa-Muñoz and Angela Ribeiro</i>  |     |
| Robótica móvil para el aprendizaje de conceptos de programación en tiempo real .....  | 821 |
| <i>Carlos Rodríguez, José Luis Guzmán, Manuel Berenguel, José Carlos Moreno, Francisco Rodríguez and Sebastián Dormido</i>                  |     |
| NEURO-FUZZY EN EL MODELADO DEL COMPORTAMIENTO DE<br>USUARIOS-TURÍSTICOS EN EWOM .....   | 827 |
| <i>Rosa M Aguilar, J.M. Torres, J.A. Mendez and E. Parra-Lopez</i>  |     |

|  |     |
|--|-----|
| Algoritmo para la detección automática de sangrados quirúrgicos utilizando visión por computador .....   | 835 |
| <i>Alvaro Garcia Martinez, Jose Maria Vicente Samper, Carlos Gabriel Juan Poveda and Jose Maria Sabater-Navarro</i>  |     |
| Framework para el modelado de Interacciones Humano-Robot basadas en aprendizaje no supervisado .....   | 840 |
| <i>Rafael Ramón-Vigo, Luis Merino and Fernando Caballero Benítez</i>   |     |
| Coordinación UAV-UGV para tareas de Búsqueda y Rescate .....   | 848 |
| <i>Pablo Rodríguez Palafox, Mario Garzón Oviedo and Antonio Barrientos</i>   |     |
| Planificación de Trayectorias para UAVs con Fast Marching Square Adaptadas a Requerimientos de Vuelo .....   | 856 |
| <i>Veronica González Pérez, Concepción Alicia Monje Micharet, Luis Moreno and Carlos Balaguer</i>  |     |
| Control de acceso electrónico de cerraduras de barrera basado en WPA para dispositivos móviles .....   | 863 |
| <i>Miguel Díaz-Cacho Medina, Alfonso Trigo Raposo, Emma Delgado and Matías García Rivera</i>   |     |
| DEEP LEARNING EN LA PREDICCIÓN DE GENERACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO .....   | 869 |
| <i>Jesús Torres, Rosa M Aguilar, Juan A Méndez and K.V. Zúñiga-Meneses</i>   |     |
| RECONOCIMIENTO DE ACTIVIDADES EN EL DESPLAZAMIENTO POR INTERIORES MEDIANTE UN TELÉFONO INTELIGENTE Y SEÑALES DE OPORTUNIDAD .....  | 876 |
| <i>Fernando Seco Granja and Antonio Ramón Jiménez Ruiz</i>   |     |
| MAS-RECON. MIDDLEWARE RECONFIGURABLE BASADO EN MULTIAGENTES ..   | 884 |
| <i>Unai Gangoiti, Aintzane Armentia, Rafael Priego, Elisabet Estévez and Marga Marcos</i>  |     |
| Diseño de un motor de tareas para terapias de neurorehabilitación asistidas por robots ...   | 891 |
| <i>Luis Daniel Lledó Pérez, Santiago Ezquerro García, Arturo Bertomeu Motos, José María Catalán Orts, Ramón Neco García, José María Sabater Navarro and Nicolás García Aracil</i>                            |     |
| Los primeros robots manipuladores aéreos .....   | 899 |
| <i>Anibal Ollero, Antidio Viguria, Ivan Maza, Miguel Angel Trujillo, Guillermo Heredia, Raul Cano, Fernando Caballero, Fernando Lasagni, Jose Angel Acosta, Silvia de Los Santos and Jose Antonio Cobano</i> |     |
| MODELO NEURONAL MULTIVARIABLE DE UN SISTEMA TWIN-ROTOR.....  | 907 |
| <i>Luis Ignacio Ruiz, Eloy Irigoyen, Vicente Gomez and Fernando Artaza</i>   |     |
| Influencia de la visualización en terapias de rehabilitación virtual asistidas por robots.....   | 913 |
| <i>Luis Daniel Lledó Pérez, Santiago Ezquerro García, Francisco Javier Badesa Clemente, Ramón Neco García, José María Sabater Navarro and Nicolas García Aracil</i>  |     |

|   |      |
|---|------|
| GUIADO HÁPTICO MEDIANTE APRENDIZAJE POR DEMOSTRACIÓN EN<br>ROBÓTICA QUIRÚRGICA .....  | 921  |
| <i>Carlos Perez-Del-Pulgar, Isabel García-Morales and Victor Muñoz Martinez</i>   |      |
| CLASIFICADOR DE FIGURAS GEOMETRICAS TRAZADAS A MANO BASADO<br>EN LOGICA BORROSA .....   | 929  |
| <i>David Palomeque Mangut and J. Alvaro Fernández Muñoz</i>   |      |
| ARQUITECTURA DE COMUNICACIONES DE TIEMPO REAL PARA ROBOTS<br>MODULARES BASADOS EN ROS.....  | 935  |
| <i>Eduardo Munera, Jose-Luis Poza-Luján, Juan-Luis Posadas-Yague, Jose Simo and Francisco Blanes</i>  |      |
| Predictores robustos de estructura fija.....  | 943  |
| <i>David Tena Tena, Ignacio Peñarrocha Alós and Roberto Sanchis Llopis</i>  |      |
| Optimización de la Vida de Baterías en Plantas Fotovoltaicas mediante Algoritmos<br>Genéticos .....   | 949  |
| <i>Emilio Pérez, Hector Beltrán, Carlos Ariño and J. Carlos Alfonso-Gil</i>   |      |
| Experiencias de evaluación automatizada en identificación y ajuste de PID .....   | 957  |
| <i>Daniel Dolz Algaba, Ignacio Peñarrocha and Roberto Sanchis Llopis</i>  |      |
| Desarrollo de una herramienta de configuración asistida de Sistemas Automatizados de<br>Prevención de Riesgos Industriales basados en Visión Artificial .....                                 | 963  |
| <i>M Dolores Moreno Rabel and J. Alvaro Fernández Muñoz</i>   |      |
| Diseño basado en prestaciones de observadores PI para el diagnóstico de fallos en<br>sistemas lineales con perturbaciones gaussianas .....  | 971  |
| <i>Ester Sales-Setién, Ignacio Peñarrocha, Daniel Dolz Algaba and Roberto Sanchis Llopis</i>  |      |
| Centro de Control Versátil para Equipos de Vehículos Heterogéneos Estado Actual y<br>Mejoras Futuras.....   | 979  |
| <i>Juan A. Bonache Seco, Jose A. Lopez Orozco, Eva Besada Portas and Jesús Manuel de La Cruz</i>  |      |
| METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE PROCESOS DE<br>AUTOMATIZACIÓN SEGÚN LA NORMA ANSI/ISA-88 .....  | 987  |
| <i>Arantzazu Burgos, María Luz Alvarez, María Isabel Sarachaga and Marga Marcos</i>   |      |
| Un enfoque óptimo para la distribución de energía de una micro-red usando Control<br>Predictivo basado en Modelo (MPC): una simulación de un caso de estudio.....                             | 995  |
| <i>César Hernández, Francisco Rodríguez, José Carlos Moreno, Paulo Renato Da Costa Mendes and Julio Elias Normey-Rico</i>   |      |
| Real time stereoscopic vision system for obstacle detection using low cost embedded<br>systems .....  | 1003 |
| <i>Miguel Gilabert Gisbert, Jaime Masiá Vañó and Pau Micó Tormos</i>  |      |
| Modelado y predicción a corto plazo del consumo y producción de energía eléctrica en<br>una micro-red utilizando métodos basados en series temporales y redes neuronales<br>artificiales..... | 1010 |
| <i>César Hernández, Francisco Rodríguez, José Carlos Moreno, Paulo Renato Da Costa Mendes and Julio Elias Normey-Rico</i>   |      |

|   |      |
|---|------|
| DESARROLLO DE UN GENERADOR DE GASES AUTOMÁTICO CONTROLADO POR PLC .....   | 1018 |
| <i>Javier Díaz-Pajuelo, Jesus Lozano, José Ignacio Suárez, Patricia Arroyo and Antonio José Calderón</i>  |      |
| DETECCIÓN DE CONTAMINANTES MEDIANTE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES Y RECONOCIMIENTO DE PATRONES .....  | 1024 |
| <i>Patricia Arroyo, Jesus Lozano, José Ignacio Suarez, José Luis Herrero Agustin and Pablo Carmona</i>  |      |
| SISTEMA DE MONITORIZACIÓN Y CONTROL DE UN ROBOT CARTESIANO BASADO EN PLC .....  | 1030 |
| <i>Jesus Lozano, Antonio José Calderón, Víctor Miñambres and Alberto Tomás Pérez</i>  |      |
| CONTROL VISUAL DINÁMICO BASADO EN FPGA DE UN ROBOT MANIPULADOR DE 6 GRADOS DE LIBERTAD .....  | 1037 |
| <i>Aiman Alabdo, Javier Pérez, Jorge Pomares, Gabriel J. Garcia and Fernando Torres</i>   |      |
| CONTROL DE FORMACIONES DE VEHÍCULOS MARINOS DE SUPERFICIE CON RESTRICCIONES DE ENTRADA .....  | 1044 |
| <i>Jesús Manuel de La Cruz, José Antonio López Orozco, Eva Besada Portas and Joaquín Aranda Almansa</i>   |      |
| IDENTIFICACIÓN DE DIFERENTES ZUMOS MEDIANTE NARIZ ELECTRÓNICA PORTÁTIL .....  | 1052 |
| <i>Sara González, David Palomeque Mangut, Juan Álvaro Fernández, Jose Pedro Santos and Jesus Lozano</i>   |      |
| CONTROL DE UN ROBOT MÓVIL MEDIANTE ICC: UN ENFOQUE PRÁCTICO. ...  | 1059 |
| <i>Rafael López de Ahumada, Gianluca Amitrano, Fernando Gomez-Bravo, Raúl Jiménez-Naharro and Juan Antonio Gómez Galán</i>                                  |      |
| MODELADO DINÁMICO Y SIMULACIÓN DE UN ROBOT TREPADOR TIPO SERIE CON 4 GRADOS DE LIBERTAD .....   | 1067 |
| <i>Adrián Peidro Vidal, Alba Hortal, Arturo Gil, José María Marín, David Úbeda and Óscar Reinoso</i>  |      |
| ROBOT NADADOR TIPO FLAGELO BACTERIANO PLANO: ESTUDIO Y SIMULACIÓN DEL MECANISMO DE PROPULSIÓN .....   | 1075 |
| <i>José Emilio Traver, Blas M. Vinagre and Ines Tejado</i>  |      |
| Planificación multinúcleo en sistemas particionados .....   | 1083 |
| <i>Vicent Brocal, Alfons Crespo and Patricia Balbastre</i>  |      |
| Arquitectura de control multimodal para robótica asistencial .....  | 1089 |
| <i>José María Catalán Orts, Jorge Díez, Arturo Bertomeu-Motos, Francisco J. Badesa, Rafael Puerto Manchon, José María Sabater and Nicolas Garcia-Aracil</i> |      |
| MEJORAS EN LA ARQUITECTURA DE CONTROL E INTERFAZ DE USUARIO PARA EL CONTROL DE UN HROV .....  | 1095 |
| <i>Juan Carlos García Sánchez, Javier Pérez, J. Javier Fernández, Paulo Menezes and Pedro J Sanz</i>  |      |

|   |      |
|---|------|
| MANIPULACIÓN REMOTA EN INSTALACIONES CON ELEVADO GRADO DE RADIACIÓN .....   | 1101 |
| <i>Sofía Coloma, Jose Breñosa, Luis Rubio, Manuel Ferre and Rafael Aracil</i>   |      |
| DETECCIÓN DE VEHÍCULOS BASADA EN VISIÓN POR COMPUTADOR PARA SISTEMA DE AYUDA A LA CONDUCCIÓN EN TRÁFICO URBANO. GENERACIÓN DE HIPÓTESIS. .... | 1108 |
| <i>Manuel Ibarra, Tardi Tjahjadi, Sandra Robla and Juan Pérez</i>   |      |
| ESTRATEGIA AUTO-ADAPTATIVA BASADA EN TÉCNICAS DE INGENIERÍA DE CONTROL PARA SISTEMAS EMPOTRADOS DISTRIBUIDOS.....                             | 1116 |
| <i>Raúl Mario Del Toro Matamoros, Andrei Pruteanu and Rodolfo Haber Guerra</i>  |      |
| Accuracy analysis of marker-based 3D visual localization .....  | 1124 |
| <i>Alberto López-Cerón and Jose María Cañas</i>   |      |
| Protección Multi-robot de Infraestructuras: Un Enfoque Cooperativo para Entornos con Información Limitada .....                               | 1132 |
| <i>David Alfredo Garzon Ramos, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos</i>  |      |
| Plataforma didáctica de bajo coste para el control de actitud y orientación en UAVs multirotor.....   | 1140 |
| <i>Javier Rico-Azagra, Montserrat Gil-Martinez, Ramon Rico and Paloma Maisterra</i>   |      |
| DOCTUS, UNA HERRAMIENTA DE E-LEARNING INNOVADORA PARA EDUCACIÓN EN AUTOMÁTICA Y ÁREAS AFINES .....  | 1148 |
| <i>Fabio Gómez-Estern, David Muñoz de La Peña Sequeda and Carlos Sánchez Cazorla</i>  |      |
| Predicción del índice de fermentación de cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.) mediante análisis de imagen y redes neuronales.....               | 1156 |
| <i>Mohamed Abderrahim, Luis Condezo-Hoyos, Noemi Leon Roque and Silvia M. Arribas</i>   |      |
| Soluciones alternativas al control predictivo basado en modelo de Volterra .....  | 1161 |
| <i>Jorn Gruber and Ignacio Peñarrocha</i>   |      |
| PRIMERA APROXIMACIÓN DE DISEÑO DE UN ROVER MINIMALISTA BIO-INSPIRADO.....   | 1167 |
| <i>Mauricio Henriquez and Matilde Santos</i>  |      |
| ESTUDIO DE UN GUANTE DE DATOS EN UN SISTEMA ROBOTIZADO COLABORATIVO PARA CIRUGIA LAPAROSCÓPICA ASISTIDA POR LA MANO...                        | 1175 |
| <i>Lidia Santos, José Luis González, Eusebio de La Fuente, Juan C. Fraile and Javier P. Turiel</i>  |      |
| ESTUDIO DINÁMICO DEL COMPORTAMIENTO DE UN ROBOT ÁPODO MODULAR E HIPER-REDUNDANTE.....   | 1182 |
| <i>José Luis González, Javier P. Turiel, Juan C. Fraile, María A. P. Rueda and Ricardo Martín</i>   |      |
| Objects positioning in water surface from a single image.....   | 1190 |
| <i>Juan Romeo, Joaquin Aranda, Gonzalo Pajares and Jesus Manuel de La Cruz</i>  |      |

|  |      |
|--|------|
| SIAR: an autonomous ground robot for sewer inspection .....  | 1198 |
| <i>David Alejo, Carlos Marques, Fernando Caballero Benítez, Paulo Alvito and Luis Merino</i>                           |      |
| ESTUDIO DE CONSUMOS DE GAS EN ENTORNOS RESIDENCIALES BASADO EN REDES NEURONALES .....                                  | 1205 |
| <i>Alain Porto, Eloy Irigoyen and Xabier Basogain</i>  |      |
| A ROS REACTIVE NAVIGATION SYSTEM FOR GROUND VEHICLES BASED ON TP-SPACE TRANSFORMATIONS .....                           | 1213 |
| <i>Enrique Rodriguez, Jose Luis Blanco, Jose Luis Torres, Jose Carlos Moreno, Antonio Gimenez and Jose Luis Guzman</i> |      |
| Detección de Lugares con Cámaras RGB-D. Aplicación a Cierre de Bucles en SLAM.....                                     | 1221 |
| <i>David Zúñiga-Noël, José Raúl Ruiz Sarmiento and Javier Gonzalez-Jimenez</i>   |      |
| Tonatiuh, un trazador de rayos basado en simulación de Monte Carlo y con licencia GPL de GNU .....                     | 1229 |
| <i>Luis G. Palacín</i>   |      |
| INDOOR POSITIONING PREDICTION SYSTEM BASED ON WIRELESS NETWORKS AND DEPTH SENSING CAMERAS .....                        | 1237 |
| <i>Jaime Duque Domingo, Carlos Cerrada and Enrique Valero</i>  |      |
| Nash Solution as a Multi-criteria Decision Making technique for control problems.....                                  | 1243 |
| <i>Helem Sabina Sanchez, Ramon Vilanova, Antonio Visioli and Orlando Arrieta</i>                                       |      |
| Simplified Fuzzy Model based Predictive Control for a nonlinear system .....   | 1250 |
| <i>Juan Manuel Escaño, Carlos Bordons, Samira Roshany-Yamchi, Kritchai Witheephanich and Jean Michel Rubillon</i>      |      |

# LOCALIZACIÓN DE ROBOTS MÓVILES CON 4 GDL MEDIANTE VISIÓN OMNIDIRECCIONAL

C. Parra, L.M. Jiménez, M. Ballesta, O. Reinoso y D. Valiente

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.

Universidad Miguel Hernández de Elche. Avda. de la Universidad s/n. 03202, Elche (Alicante), Spain  
{cristobal.parra01, luis.jimenez, m.ballesta, o.reinoso, dvaliente}@umh.es

## Resumen

*La localización de robots, junto a la creación de mapas y planificación, es una tarea fundamental que permite la navegación autónoma de estos dispositivos en un entorno desconocido. En este trabajo se presenta un método para calcular la transformación entre dos poses del robot que se desplaza en un entorno en el que pueden darse cambios en la altura. Estos robots están provistos de un sistema omnidireccional que les permite obtener puntos característicos del entorno. A partir de estos puntos, aplicamos el método que se describe en este trabajo, para obtener la localización del robot salvo un factor de escala sin tener conocimiento previo de la escena.*

**Palabras clave:** Robótica móvil, visión omnidireccional, localización.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el campo de la navegación autónoma de robots, los sensores visuales adquieren gran relevancia dado su bajo coste y la capacidad de extraer mayor cantidad de información del entorno [5]. Los sensores catadióptricos destacan en este ámbito. Estos sistemas físicos están provistos de una cámara y un espejo superando a otros dispositivos al poder adquirir una visión global del entorno con una única imagen [12].

En este trabajo, los robots están provistos de una cámara omnidireccional con la que se obtienen vistas del entorno [9]. Se denomina vista a una imagen omnidireccional que contiene la escena de 360 grados en torno al robot. A partir de estas vistas, se obtienen puntos característicos o marcas visuales [7]. Las marcas visuales se definen como puntos detectados en cada vista que permiten establecer correspondencias entre dos vistas consecutivas distintas. Estas marcas se corresponden con puntos físicos del entorno del robot, como puede ser la esquina de un objeto [4]. A partir de estas marcas, se pretende que el robot sea capaz de localizarse y construir un mapa del entorno.

El objetivo principal de este trabajo es el desarro-

llo de un método que permita obtener la transformación entre dos poses consecutivas del robot a partir de las marcas obtenidas entre dos vistas capturadas por una cámara omnidireccional. Este trabajo es la continuación de una contribución previa presentada por [2] en la que se obtiene el desplazamiento de un robot a lo largo de un mismo plano. En el presente trabajo, no se restringe el movimiento del robot a un solo plano, sino que el método desarrollado también es válido para cambios en altura. Concretamente, estableciendo correspondencias entre dos vistas, se obtiene la traslación salvo un factor de escala, rotación y el cambio en altura entre dos poses consecutivas.

De las vistas omnidireccionales se obtienen correspondencias que relacionan dos poses consecutivas del robot. A partir de estas marcas o correspondencias, y con el método desarrollado, basado en el cálculo de la matriz esencial y teniendo en cuenta cambios en altura, se obtiene la transformación entre dichas poses del robot salvo un factor de escala. Se trata de un paso necesario para poder calcular la odometría visual del robot y de este modo, poder obtener la localización del robot en un entorno desconocido con posibles cambios en altura a partir, únicamente, de información visual.

El resto del artículo se estructura como se describe a continuación. En la Sección 2 se detalla el sistema de adquisición omnidireccional así como el modelo de movimiento que define el avance del robot en el entorno. En la Sección 3 se describe el método desarrollado para estimar la transformación entre poses a partir de imágenes omnidireccionales. Esta sección incluye el cálculo de la matriz esencial que relaciona ambas vistas así como el sistema de ecuaciones que nos permite calcular la transformación entre las poses del robot. En la Sección 4, se presentan las pruebas realizadas y los resultados que validan el método presentado. Por último, en la Sección 5 se incluyen las principales conclusiones y líneas futuras.

## 2. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES OMNIDIRECCIONALES

Consideramos el caso en el que el robot está equipado con una única cámara omnidireccional, según se muestra en la Figura 1. Cuando el robot se mueve por el entorno captura imágenes omnidireccionales de las que se pueden extraer un conjunto de puntos de interés. A continuación, se buscan correspondencias con la imagen omnidireccional correspondiente a la posición anterior en el mapa. Si se encuentra un número suficiente de correspondencias entre las imágenes, entonces se puede calcular la rotación y traslación (salvo un factor de escala) entre ambas capturas. A partir de estas medidas, es posible deducir la localización del robot con respecto a las poses anteriores en el mapa. El cálculo de la rotación y traslación está detallado en la Sección 3.

Los ángulos relativos que relacionan el movimiento entre dos imágenes omnidireccionales son  $\alpha$ ,  $\phi$  y  $\beta$ , que pueden verse en las Figuras 1 y 2. Estos ángulos representan la posición relativa del robot y permiten su localización. Para su obtención deben detectarse puntos característicos en ambas imágenes y encontrar sus correspondencias.

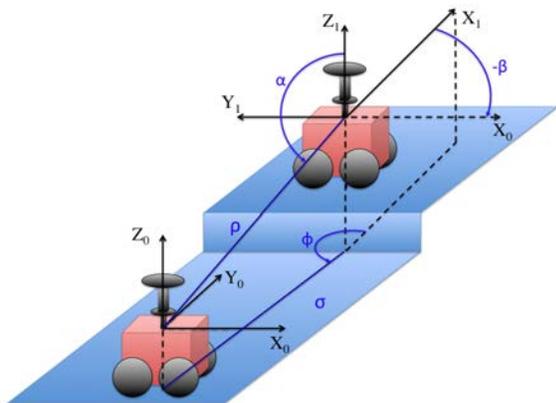


Figura 1: Representación tridimensional de los sistemas de coordenadas entre dos poses del robot.

### 2.1. DETECCIÓN DE PUNTOS CARACTERÍSTICOS Y CORRESPONDENCIAS

La técnica que se plantea a continuación, utiliza información de la dirección y magnitud del desplazamiento del robot mediante únicamente información visual. Con el propósito de calibrar el sistema visual y obtener las distintas proyecciones de las escenas, se utiliza la librería de Matlab OCamCalib [11], que de entre sus diferentes opciones, dado

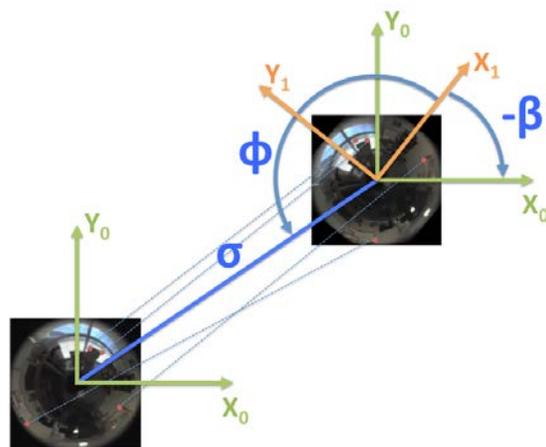


Figura 2: Dos imágenes omnidireccionales con correspondencias entre ellas, junto con la proyección sobre el plano de los dos sistemas de coordenadas.

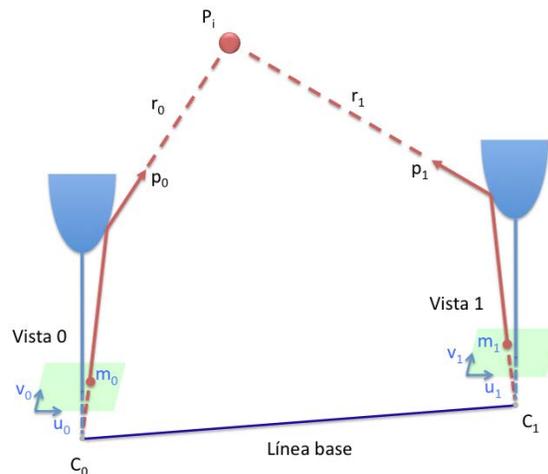


Figura 3: Esquema de generación de un punto característico en dos vistas omnidireccionales distintas.

un punto  $m_i = [u_i, v_i, 1]^T$  de la vista  $i$  capturada en la posición  $K_i$ , se puede obtener un vector  $p_i = [w_{x,i}, w_{y,i}, w_{z,i}]^T$  apuntando en la dirección del punto 3D  $P_i = [X_i, Y_i, Z_i]^T$  como se muestra en la Figura 3, de modo que

$$p_i = \begin{bmatrix} w_{x,i} \\ w_{y,i} \\ w_{z,i} \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ f(u_i, v_i) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

donde  $f(u_i, v_i)$  es una función polinomial cuyos coeficientes se obtienen con la calibración.

Se emplea el algoritmo SURF (Speeded Up Robust Features) [1] con el fin de obtener puntos de interés entre imágenes. Según [4], SURF mejora los resultados de otros detectores y descriptores

en términos de robustez de los puntos detectados y de invarianza del descriptor. En la Figura 2 se presentan dos imágenes omnidireccionales donde se han indicado un conjunto de correspondencias.

## 2.2. MODELO DE MOVIMIENTO

Se asumirá que el robot se encuentra en una posición  $K_i$  de la que ha capturado una imagen y se requiere conocer la posición actual respecto a la pose anterior  $K_{i-1}$ . Los ángulos  $(\phi, \alpha, \beta)$  que relacionan la nueva pose con respecto a la anterior se representan en la Figura 1. El ángulo  $\phi$  es la orientación con la que la vista  $i$  es observada desde el sistema de referencia móvil asociado al robot,  $\beta$  es la orientación relativa entre ambas imágenes y  $\alpha$  es el desplazamiento en altura de la nueva pose del robot con respecto a la anterior.

El cálculo de estos tres ángulos nos permite conocer la transformación entre dos poses consecutivas del robot.

## 3. ESTIMACIÓN DE LA POSICIÓN DEL ROBOT A PARTIR DE IMÁGENES OMNIDIRECCIONALES

En este trabajo, se extraen características visuales de la imagen omnidireccional. Estas marcas visuales se hacen corresponder entre dos vistas consecutivas del robot.

### 3.1. MATRIZ ESENCIAL

Una vez detectados los puntos SURF y determinadas sus correspondencias entre imágenes, ha de establecerse un proceso para recuperar los ángulos que definen el movimiento del robot.

La condición de epipolaridad establece la relación entre dos puntos 3D observados desde diferentes vistas

$$p_1^T E p_0 = 0. \quad (2)$$

La matriz  $E$  representa la matriz esencial y puede ser calculada a partir de una serie de puntos correspondientes entre imágenes. Un punto  $p_i = [w_{x,i}, w_{y,i}, w_{z,i}]^T$  define las coordenadas normalizadas de un punto respecto a la cámara  $i$ . En nuestro caso, debido al uso de una única cámara, las imágenes se adquieren desde dos posiciones indeterminadas, sin información de la distancia entre ellas. Este hecho implica el desconocimiento de la profundidad y por tanto la solución se obtiene salvo un factor de escala  $\rho$ .

Si  $I_0$  es la imagen capturada en la pose anterior, y la imagen  $I_1$  corresponde a la pose actual, los centros ópticos para las imágenes adquiridas se definen como  $C_0$  y  $C_1$ .

Se puede definir la línea base  $\mathbf{b}_1 = [b_1^x, b_1^y, b_1^z]^T$  como la dirección de la traslación de la pose  $K_1$  del robot con respecto a la pose  $K_0$  y  $\mathbf{R}_1$  la orientación entre las coordenadas de referencia. Se define la línea base actual como  $t_1 = b_1 \mathbf{b}_1$ , siendo  $b_1$  la norma de la línea base.

De este modo, se pueden relacionar las coordenadas de los puntos característicos vistos desde cada pose del robot según

$$P_0 = t_1 + \mathbf{R}_1 P_1. \quad (3)$$

Así, si se define  $P_i = r_i p_i$  donde  $r_i$  es un escalar que codifica la información de profundidad de la escena, la ecuación anterior queda expresada como

$$r_0 p_0 = b_1 \mathbf{b}_1 + r_1 \mathbf{R}_1 p_1, \quad (4)$$

donde  $r_0$  y  $r_1$  son las profundidades y  $b_1$  es la longitud de la línea base, todos ellos parámetros desconocidos y  $p_i$  la dirección conocida del punto característico visto desde la cámara  $i$  (obtenido a través de la calibración de la cámara a partir de la vista  $i$  como se explica en la Sección 2.1). Por tanto, al no disponer de información acerca de estos parámetros, la reconstrucción de la escena puede ser llevada a cabo salvo un factor de escala.

Para estimar el movimiento del robot, es necesario obtener un mínimo de correspondencias entre puntos característicos de cada imagen según se explica en la sección anterior. Los puntos característicos de la imagen capturada en la primera posición, pueden ser relacionados con los de la segunda a partir de la geometría epipolar. La geometría epipolar expresa el hecho de que para un rayo  $r_0$  originado en  $C_0$ , la primera cámara, y un rayo  $r_1$  originado en  $C_1$ , la segunda, estos rayos coinciden en un único punto del espacio tridimensional y se cumple que

$$p_0 \cdot (\mathbf{b}_1 \times (\mathbf{R}_1 p_1)) = p_0^T S R p_1 = p_0^T E p_1 = 0, \quad (5)$$

donde  $E$  es la matriz esencial definida previamente y  $S$  es la matriz antisimétrica del producto vectorial.

La matriz esencial puede ser estimada si se conocen las correspondencias de al menos 8 puntos característicos de cada imagen, de modo que cada correspondencia produce una restricción. Esta matriz no es única, sino que existen infinitas soluciones para la matriz esencial que cumplen con las condiciones necesarias. Existen diferentes métodos como el propuesto en [6] para el cálculo de la matriz esencial y poder obtener el movimiento del

robot, de manera que se obtienen un conjunto de posibles soluciones de las cuales, tan solo una de ellas es posible. En la Sección 3.5, se describe el método a partir del cual obtener la solución correcta de entre las diferentes soluciones. En este trabajo, se aporta un nuevo enfoque en el que debido a que se estudia un movimiento con 4 GDL, se pueden incluir nuevas restricciones (definidas en la Sección 3.3) que permiten obtener una matriz más robusta, donde los coeficientes de la matriz se conservan independientemente de los puntos con los que ha sido obtenida, y siendo el mínimo número de puntos necesarios  $n = 4$  (con la particularidad de disponer de una buena semilla inicial como se explica en la Sección 3.3).

### 3.2. RESTRICCIONES EN EL MOVIMIENTO

Según el nuevo enfoque de este trabajo, el movimiento de la cámara está restringido a un único giro alrededor del eje  $Z$  y al movimiento a lo largo de los ejes  $X, Y, Z$ .

De este modo, la línea base que une la posición del robot entre dos posiciones distintas, puede definirse de la siguiente manera

$$\mathbf{b}_1 = [\cos(\phi)\sin(\alpha), \sin(\phi)\sin(\alpha), \cos(\alpha)] \quad (6)$$

y la rotación de un ángulo  $\beta$  en torno al eje  $Z$ , de modo que la matriz esencial queda definida de la siguiente forma

$$E = SR, \quad (7)$$

donde

$$S = \begin{bmatrix} 0 & -\cos(\alpha) & \sin(\phi)\sin(\alpha) \\ \cos(\alpha) & 0 & -\cos(\phi)\sin(\alpha) \\ -\sin(\phi)\sin(\alpha) & \cos(\phi)\sin(\alpha) & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

y dado que únicamente se considera una rotación alrededor del eje  $Z$

$$R = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & -\sin(\beta) & 0 \\ \sin(\beta) & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

obteniendo como resultado la Ecuación (13).

### 3.3. ESTIMACIÓN DE LA MATRIZ ESENCIAL

Gracias a que la matriz esencial  $E$  representa una rotación  $R$  y una traslación  $T$  (salvo un factor de escala) entre los sistemas de referencia de dos

imágenes, a partir de la Ecuación (7) los ángulos que relacionan el movimiento del robot pueden ser obtenidos de la descomposición de  $E$ . Si reescribimos la matriz esencial como una matriz esencial generalista, obtendremos

$$E = \begin{bmatrix} e_1 & e_2 & e_3 \\ e_4 & e_5 & e_6 \\ e_7 & e_8 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

La matriz esencial puede ser estimada a partir de un conjunto de  $n$  correspondencias de dos vistas  $\{(p_{0,1}, p_{1,1}), \dots, (p_{0,n}, p_{1,n})\}$ , de modo que se cumplan las condiciones de la Ecuación (5). Escribiendo los valores distintos de cero de la matriz esencial generalista como un vector con la forma  $e = [e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8]^T$ , las  $n$  restricciones obtenidas a partir de las  $n$  correspondencias, pueden ser expresadas linealmente como  $De = 0$ , donde  $D$  tiene dimensión  $(n \times 8)$ . Cada fila  $D_j$  de  $D$  con  $j = (1, 2, \dots, n)$  tendrá la forma:

$$D_j = [x_0x_1, x_0y_1, x_0z_1, y_0x_1, y_0y_1, y_0z_1, z_0x_1, z_0y_1] \quad (11)$$

A estas restricciones, es necesario añadir también

$$\begin{aligned} \det(E) &= 0 \\ \|E\| &= 1 & e_1 &= e_5 \\ \frac{e_3e_2 + e_5e_6}{e_6e_2 - e_3e_5} &= \frac{e_7}{e_8} & -e_2 &= e_4 \end{aligned} \quad (12)$$

Una vez planteadas todas las restricciones necesarias, se resuelve el sistema mediante el método de Levenberg-Marquardt [8] para ecuaciones no lineales. Cabe destacar que para conseguir que la solución del sistema converja es importante partir de una buena semilla. Por ello, el punto inicial debe ser próximo a la solución final. En este caso se plantea la expresión  $De = 0$  y se busca el punto inicial utilizando una descomposición de valores singulares (SVD) [10] basada en el algoritmo de 8 puntos.

### 3.4. RECUPERACIÓN DEL MOVIMIENTO DEL ROBOT

Debido a las restricciones impuestas en el cálculo de  $E$ , esta matriz se encuentra normalizada y podremos recuperar los valores de los ángulos que definen el movimiento del robot salvo un factor de escala.

$$E = SR = \begin{bmatrix} -\cos(\alpha)\sin(\beta) & -\cos(\alpha)\cos(\beta) & \sin(\phi)\sin(\alpha) \\ \cos(\alpha)\cos(\beta) & -\cos(\alpha)\sin(\beta) & -\cos(\phi)\sin(\alpha) \\ \sin(\beta - \phi)\sin(\alpha) & \cos(\beta - \phi)\sin(\alpha) & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

A continuación, obtendremos las posibles soluciones de  $\mathbf{R}_1$  y  $\mathbf{b}_1$ .

La línea base depende de  $\phi$  y  $\alpha$ , por lo que necesitamos obtener estos valores en primer lugar. El valor del ángulo  $\phi$  se calcula

$$\phi = \arctan\left(\frac{e_3}{-e_6}\right). \quad (14)$$

Sin embargo, nótese que debido a las singularidades de la función  $\arctan$ , el cálculo del ángulo  $\alpha$  supone evaluar cada uno de los valores de  $E$  para no caer en una indeterminación. De este modo, el valor de  $\alpha$  es  $\frac{\pi}{2}$  cuando  $e_1 = e_4 = 0$  y es 0 cuando  $e_3 = e_6 = e_7 = e_8 = 0$ , en otro caso debe emplearse la ecuación siguiente

$$\alpha = \arctan\frac{e_x}{e_y}, \quad (15)$$

donde  $\{e_x, e_y\}$  son los valores de las 8 posibles combinaciones restantes en cada caso.

Las cuatro posibles soluciones para la línea base por tanto se obtienen de la Ecuación (6) donde  $\phi$  toma el valor de la Ecuación (14) o  $\phi + \pi$  y  $\alpha$  toma el valor de (15) o  $\alpha + \frac{\pi}{2}$ .

El ángulo de rotación  $\beta$  puede obtenerse como

$$\beta = \arctan\left(\frac{e_7}{e_8}\right) + \arctan\left(\frac{e_3}{-e_6}\right), \quad (16)$$

y la rotación asociada a la línea base se obtiene de la Ecuación (9) con  $\beta$  el valor obtenido en la Ecuación (16) o la matriz correspondiente a un valor con ángulo  $\beta + \pi$ .

### 3.5. SELECCIÓN DE ROTACIÓN Y TRASLACIÓN

Para llevar a cabo la selección de la solución correcta, se puede utilizar la representación tridimensional de cada punto en el espacio y analizar la intersección de los rayos correspondientes al igual que en [2]. Evaluando todas las posibles combinaciones de  $R$  y  $b$ , se obtendrá un valor de  $r_1$  y  $r_0$  (la proyección de los rayos generados por cada marca visual), del que tomaremos como puntos válidos aquellos que devuelvan  $r_1 > 0$  y  $r_0 > 0$ . En cualquier otro caso, tomaremos el resultado como negativo y la solución no será tenida en cuenta.

Finalmente, la solución correcta será aquella que obtenga un mayor número de puntos válidos. Cabe destacar, que en ocasiones pueden producirse singularidades que produzcan que un punto sea negativo cuando debería ser positivo. Esto puede ocurrir en ciertos puntos, como los que se sitúan sobre la línea base.

## 4. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

En esta sección, se muestran los resultados obtenidos en simulación que permiten validar el método presentado anteriormente.

El experimento trata de obtener una estimación de la transformación entre cada pose. La simulación se ha realizado para diferentes posiciones del robot y con características visuales diferentes. El sistema de coordenadas global es el mostrado en la Figura 4. El eje de coordenadas del robot en  $K_0$  coincide con el sistema de coordenadas global. Una vez comenzada la trayectoria, el eje  $X$  coincide con la dirección del movimiento y al capturar una vista, el eje  $Z$  siempre permanece perpendicular al plano del suelo, es decir, el eje  $Z$  en el sistema de coordenadas del robot en todas y cada una de las poses coincide con el eje  $Z$  del sistema de coordenadas global, dado que la rotación se compone únicamente de una rotación en torno al eje  $Z$ .

El eje óptico de la cámara se supone instalado de manera perpendicular al plano del suelo como se aprecia en la Figura 2. Como consecuencia, una rotación del robot se corresponde con una rotación de la imagen respecto a su punto central.

Un conjunto de marcas han sido tomadas aleatoriamente a lo largo de la trayectoria seguida por el robot. Para cada transformación se han generado de manera aleatoria puntos del entorno con la intención de simular los de un caso real.

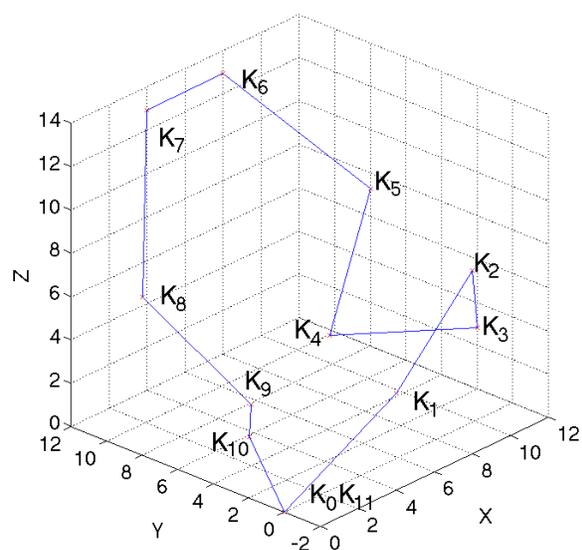


Figura 4: Trayectoria simulada llevada a cabo por el robot.

#### 4.1. Validación del algoritmo

Como caso previo se ha desarrollado una simulación con datos exactos para validar el algoritmo de localización.

La Figura 4 muestra la trayectoria seguida por el robot que se encuentra situado inicialmente en la pose  $K_0$  y tras capturar una imagen omnidireccional se desplaza a la pose siguiente  $K_1$ , donde captura una nueva imagen. En ese momento, se extraen puntos característicos de ambas vistas y se buscan sus correspondencias, para poder aplicar así el algoritmo propuesto en la Sección 3 y obtener la posición del robot en la pose  $K_1$  respecto a la pose anterior, en este caso  $K_0$ . Este proceso se desarrolla hasta llegar a  $K_{11}$ , última posición de la trayectoria, de manera que se cierra el bucle.

En la tabla 1 se puede apreciar como se obtienen resultados satisfactorios en la simulación coincidiendo con los ángulos esperados.

Tabla 1: Resultados de la validación del método de localización con la trayectoria simulada.

| Poses            | Ángulo $\beta$ | Ángulo $\phi$ | Ángulo $\alpha$ |
|------------------|----------------|---------------|-----------------|
| $K_0, K_1$       | 26.5651        | 180.0000      | -225.0000       |
| $K_1, K_2$       | -26.5651       | 0.0000        | -135.0000       |
| $K_2, K_3$       | -45.0000       | -180.0000     | 45.0000         |
| $K_3, K_4$       | -153.4351      | 180.0000      | 90.0000         |
| $K_4, K_5$       | 108.4349       | 180.0000      | -225.0000       |
| $K_5, K_6$       | 251.5651       | 360.0000      | -135.0000       |
| $K_6, K_7$       | -45.0000       | -180.0000     | 90.0000         |
| $K_7, K_8$       | -45.0000       | 180.0000      | 45.0000         |
| $K_8, K_9$       | -71.5651       | 180.0000      | 45.0000         |
| $K_9, K_{10}$    | 116.5651       | 180.0000      | 90.0000         |
| $K_{10}, K_{11}$ | -90.0000       | 180.0000      | 54.6097         |

#### 4.2. Resultados en simulación con ruido añadido

Tras la validación anterior, se ha llevado a cabo un experimento en el que también se ha empleado la trayectoria mostrada en la Figura 4, pero en esta ocasión se ha añadido ruido gaussiano a las marcas visuales detectadas en la vista correspondiente a la pose  $K_i$  de manera que las correspondencias no fueran exactas.

De este modo, se puede comprobar la robustez del método ante posibles errores en la correspondencia entre los puntos detectados y la correspondencia llevada a cabo entre ellos. Se ha empleado un valor de  $\sigma = 5$  píxeles que afecta a la imagen tal y como se representa en la Figura 5, por lo que el error se añade directamente a los puntos detectados en la imagen. Esto es, dado que las marcas visuales

son simuladas y por tanto su correspondencia es exacta, una vez detectada la marca en la imagen omnidireccional de la pose  $K_i$  se le añade ruido de manera que se introduce cierta incertidumbre, pudiendo comprobar así el impacto de este tipo de errores en el algoritmo.

Tabla 2: Resultados del experimento de localización del robot incluyendo ruido en las marcas visuales.

| Poses            | Ángulo $\beta$ | Ángulo $\phi$ | Ángulo $\alpha$ |
|------------------|----------------|---------------|-----------------|
| $K_0, K_1$       | -333.1995      | -179.6382     | 135.6526        |
| $K_1, K_2$       | -27.3546       | 179.1573      | 137.0036        |
| $K_2, K_3$       | 314.8888       | 359.2895      | -45.5798        |
| $K_3, K_4$       | -153.8592      | 180.1030      | 90.0000         |
| $K_4, K_5$       | 107.8133       | 180.9404      | 134.2157        |
| $K_5, K_6$       | -109.4857      | 177.9132      | 136.6385        |
| $K_6, K_7$       | -44.6447       | 180.0743      | 90.0000         |
| $K_7, K_8$       | -44.2662       | 180.0539      | 44.0250         |
| $K_8, K_9$       | -72.5303       | -2.0207       | -44.0250        |
| $K_9, K_{10}$    | -244.5054      | -178.8387     | 90.0000         |
| $K_{10}, K_{11}$ | -90.9422       | -1.0555       | -55.5448        |

Los resultados de este experimento pueden verse en la tabla 2. Estos resultados ofrecen la mayor variación entre las poses  $K_5$  y  $K_6$ , donde el ángulo  $\phi$  difiere del valor real en 2,1 grados. Sin embargo, la media del valor real frente al obtenido en simulación se encuentra por debajo de 1 grado de diferencia, por lo que se puede concluir que se representa con un alto grado de acierto la trayectoria original seguida por el robot.

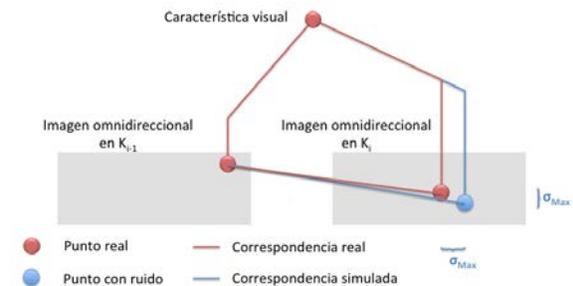


Figura 5: Ruido introducido en la simulación de la imagen en la pose actual ( $K_i$ ) del robot a lo largo de la trayectoria para cada marca o característica visual.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo, se ha presentado un modelo para resolver la localización de un robot en un entorno

con 4 GDL salvo un factor de escala empleando imágenes omnidireccionales

Se ha reducido el problema a la estimación de la posición y orientación de un conjunto finito de imágenes omnidireccionales. Cada imagen omnidireccional, renombrada como vista, tiene asociado un conjunto de puntos de interés y sus correspondientes descriptores visuales que describen el entorno de una forma compacta. La aportación fundamental se basa en la posibilidad de extraer una transformación entre dos imágenes omnidireccionales en las que existe un conjunto suficiente de correspondencias puntuales, cuando el movimiento ha producido no sólo un cambio en la posición del robot en el plano del suelo, sino que también ha sufrido una variación de altura. La obtención de esta transformación, compuesta por una rotación y una traslación (salvo un factor de escala), permite conocer la pose relativa del robot respecto a una pose anterior, hecho que permite su localización. Se han presentado resultados obtenidos en entornos simulados que validan el trabajo realizado.

Como futuras líneas de investigación se propone resolver el cálculo del factor de escala aplicando únicamente la información obtenida de la imagen omnidireccional. Se plantea así mismo, el estudio de diversos detectores que puedan mejorar los tiempos de computo en la detección de características sin afectar a la robustez de las correspondencias entre imágenes. Y por último, llevar a cabo experimentos con datos reales que confirmen los buenos resultados obtenidos en simulación e integrarlo en un algoritmo de SLAM [3, 7].

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Generalitat Valenciana bajo las ayudas del programa AICO de la Consellería de Educación, Investigación, Cultura y Deporte con Ref: AICO/2015/021.

### Referencias

- [1] Herbert Bay, Tinne Tuytelaars, and Luc Van Gool. Surf: Speeded up robust features. In *Proceedings of the ninth European Conference on Computer Vision*, May 2006.
- [2] R. Bunschoten and B. Krose. Visual odometry from an omnidirectional vision system. In *Robotics and Automation, 2003. Proceedings. ICRA '03. IEEE International Conference on*, volume 1, pages 577–583 vol.1, Sept 2003.
- [3] A. J. Davison and D. W. Murray. Simultaneous localization and map-building using active vision. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(7):865–880, Jul 2002.
- [4] Arturo Gil, Oscar Martinez Mozos, Monica Ballesta, and Oscar Reinoso. A comparative evaluation

of interest point detectors and local descriptors for visual slam. *Machine Vision and Applications*, 21(6):905–920, 2010.

- [5] Arturo Gil, Óscar Reinoso, Mónica Ballesta, Miguel Juliá, and Luis Payá. Estimation of visual maps with a robot network equipped with vision sensors. *Sensors*, 10(5):5209, 2010.
- [6] R. I. Hartley and A. Zisserman. *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press, ISBN: 0521540518, second edition, 2004.
- [7] M. Montemerlo, S. Thrun, D. Koller, and B. Wegbreit. FastSLAM: A factored solution to the simultaneous localization and mapping problem. In *Proceedings of the AAAI National Conference on Artificial Intelligence*, Edmonton, Canada, 2002. AAAI.
- [8] Jorge J. Moré. *The Levenberg-Marquardt algorithm: Implementation and theory*, pages 105–116. Springer, Berlin, Heidelberg, 1978.
- [9] H. Nagara, Y. Yagi, and M. Yachida. Wide field of view head mounted display for tele-presence with an omnidirectional image sensor. In *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop*, Toronto, Canada, 2003.
- [10] William H. Press, Brian P. Flannery, Saul A. Teukolsky, and William T. Vetterling. *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press, New York, NY, USA, 1988.
- [11] D. Scaramuzza, A. Martinelli, and R. Siegwart. A flexible technique for accurate omnidirectional camera calibration and structure from motion. In *Fourth IEEE International Conference on Computer Vision Systems (ICVS'06)*, pages 45–45, Jan 2006.
- [12] N. Winters, J. Gaspar, G. Lacey, and J. Santos-Victor. Omni-directional vision for robot navigation. In *Omnidirectional Vision, 2000. Proceedings. IEEE Workshop on*, pages 21–28, 2000.