

ACTAS

DE LAS

XXXVIII Jornadas de Automática

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



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo



CEA
Comité Español
de Automática

Colabora

Gijón

Convention Bureau

Actas de

XXXVIII

Jornadas de Automática

© 2017 Universidad de Oviedo
© Los autores

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

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

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

Prefacio

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

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

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

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

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

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López
Presidente del Comité Organizador

Program Committee

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

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

Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

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

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

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

Hernandez Ruiz, Alejandro
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

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

Núñez, Luis Ramón

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

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

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor

Table of Contents

Ingeniería de Control	
<hr/>	
TÚNEL DE AGUA PARA PRUEBAS Y CARACTERIZACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES DE TURBINAS HIDROCINÉTICAS	1
<i>Eduardo Alvarez, Manuel Rico-Secades, Antonio Javier Calleja Rodríguez, Joaquín Fernández Francos, Aitor Fernández Jiménez, Mario Alvarez Fernández and Samuel Camba Fernández</i>	
Reduction of population variability in protein expression: A control engineering approach.	8
<i>Yadira Boada, Alejandro Vignoni and Jesús Picó</i>	
CONTROL ROBUSTO DEL PH EN FOTOBIORREACTORES MEDIANTE RECHAZO ACTIVO DE PERTURBACIONES	16
<i>José Carreño, Jose Luis Guzman, José Carlos Moreno and Rodolfo Villamizar</i>	
Control reset para maniobra de cambio de carril y validación con CarSim	23
<i>Miguel Cerdeira, Pablo Falcón, Antonio Barreiro, Emma Delgado and Miguel Díaz-Cacho</i>	
Maniobra de aterrizaje automática de una Cessna 172P modelada en FlightGear y controlada desde un programa en C	31
<i>Mario de La Rosa, Antonio Javier Gallego and Eduardo Fernández</i>	
Alternativas para el control de la red eléctrica aislada en parques eólicos marinos	38
<i>Carlos Díaz-Sanahuja, Ignacio Peñarrocha, Ricardo Vidal-Albalade and Ester Sales-Setién</i>	
CONTROL PREDICTIVO DISTRIBUIDO UTILIZANDO MODELOS DIFUSOS PARA LA NEGOCIACIÓN ENTRE AGENTES	46
<i>Lucía Fargallo, Silvana Roxani Revollar Chavez, Mario Francisco, Pastora Vega and Antonio Cembellín</i>	
Control Predictivo en el espacio de estados de un captador solar tipo Fresnel	54
<i>Antonio Javier Gallego, Mario de La Rosa and Eduardo Fernández</i>	
Control predictivo para la operación eficiente de una planta formada por un sistema de desalación solar y un invernadero	62
<i>Juan Diego Gil Vergel, Lidia Roca, Manuel Berenguel, Alba Ruiz Aguirre, Guillermo Zaragoza and Antonio Giménez</i>	
Depuración de Aguas Residuales en la Industria 4.0	70
<i>Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel, Ana María Jiménez Arévalo, Laura Eiroa Mateo and Fco. Javier Fernández-De-Cañete-Rodríguez</i>	
Control robusto con QFT del pH en un fotobioreactor raceway	77
<i>Ángeles Hoyo Sánchez, Jose Luis Guzman, Jose Carlos Moreno and Manuel Berenguel</i>	
Revisión sistemática de la literatura en ingeniería de sistemas. Caso práctico: técnicas de estimación distribuida de sistemas ciberfísicos	84
<i>Carmelina Ierardi, Luis Orihuela Espina, Isabel Jurado Flores, Álvaro Rodríguez Del Nozal and Alejandro Tapia Córdoba</i>	
Desarrollo de un Controlador Predictivo para Autómatas programables basado en la normativa IEC 61131-3	92
<i>Pablo Krupa, Daniel Limon and Teodoro Alamo</i>	
Diseño de un emulador de aerogenerador de velocidad variable DFIG y control de pitch ...	100
<i>Manuel Lara Ortiz, Juan Garrido Jurado and Francisco Vázquez Serrano</i>	

Observación de la fracción de agua líquida en pilas de combustible tipo PEM de cátodo abierto.....	108
<i>Julio Luna and Ramon Costa-Castelló</i>	
Control Predictivo Basado en Datos.....	115
<i>José María Manzano, Daniel Limón, Teodoro Álamo and Jan Peter Calliess</i>	
Control MPC basado en un modelo LTV para seguimiento de trayectoria con estabilidad garantizada.....	122
<i>Sara Mata, Asier Zubizarreta, Ione Nieva, Itziar Cabanes and Charles Pinto</i>	
Implementación y evaluación de controladores basados en eventos en la norma IEC-61499.	130
<i>Oscar Miguel-Escrig, Julio-Ariel Romero-Pérez and Esteban Querol-Dolz</i>	
AUTOMATIZACIÓN Y MONITORIZACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE ENSAYO DE MOTORES.....	138
<i>Alfonso Poncela Méndez, Miguel Ochoa Vega, Eduardo J. Moya de La Torre and F. Javier García Ruíz</i>	
OPTIMIZACIÓN Y CONTROL EN CASCADA DE TEMPERATURA DE RECINTO MEDIANTE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	146
<i>David Rodríguez, José Enrique Alonso Alfaya, Guillermo Bejarano Pellicer and Manuel G. Ortega</i>	
Diseño LQ e implementación distribuida para la estimación de estado.....	154
<i>Álvaro Rodríguez Del Nozal, Luis Orihuela, Pablo Millán Gata, Carmelina Ierardi and Alejandro Tapia Córdoba</i>	
Estimación de fugas en un sistema industrial real mediante modelado por señales aditivas.	160
<i>Ester Sales-Setién, Ignacio Peñarrocha and David Tena</i>	
Advanced control based on MPC ideas for offshore hydrogen production.....	167
<i>Alvaro Serna, Fernando Tadeo and Julio. E Normey-Rico</i>	
Transfer function parameters estimation by symmetric send-on-delta sampling.....	174
<i>José Sánchez, María Guinaldo, Sebastián Dormido and Antonio Visioli</i>	
An Estimation Approach for Process Control based on Asymmetric Oscillations.....	181
<i>José Sánchez, María Guinaldo Losada, Sebastian Dormido, José Luis Fernández Marrón and Antonio Visioli</i>	
Robust PI controller for disturbance attenuation and its application for voltage regulation in islanded microgrid.....	189
<i>Ramon Vilanova, Carles Pedret and Orlando Arrieta</i>	
Infraestructura para explotación de datos de un simulador azucarero.....	197
<i>Jesús M. Zamarreño, Cristian Pablos, Alejandro Merino, L. Felipe Acebes and De Prada César</i>	
<hr/> Automar <hr/>	
INFRAESTRUCTURA PARA ESTUDIAR ADAPTABILIDAD Y TRANSPARENCIA EN EL CENTRO DE CONTROL VERSÁTIL.....	203
<i>Juan Antonio Bonache Seco, José Antonio Lopez Orozco, Eva Besada Portas and Jesús Manuel de La Cruz</i>	
ARQUITECTURA DE CONTROL HÍBRIDA PARA LA NAVEGACIÓN DE VEHÍCULOS SUBMARINOS NO TRIPULADOS.....	211
<i>Francisco J. Lastra, Jesús A. Trujillo, Francisco J. Velasco and Elías Revestido</i>	

Exploración y Reconstrucción 3D de Fondos Marinos Mediante AUVs y Sensores Acústicos	218
<i>Oscar L. Manrique Garcia, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos</i>	
AUTOMATIZACIÓN DE MANIOBRAS PARA UN TEC DE 2GdL	226
<i>Marina Pérez de La Portilla, José Andrés Somolinos Sánchez, Amable López Piñeiro, Rafael Morales Herrera and Eva Segura</i>	
MERBOTS PROJECT: OVERALL DESCRIPTION, MULTISENSORY AUTONOMOUS PERCEPTION AND GRASPING FOR UNDERWATER ROBOTICS INTERVENTIONS	232
<i>Pedro J. Sanz, Raul Marin, Antonio Peñalver, David Fornas and Diego Centelles</i>	
<hr/> Bioingeniería <hr/>	
MARCADORES CUADRADOS Y DEFORMACIÓN DE OBJETOS EN NAVEGACIÓN QUIRÚRGICA CON REALIDAD AUMENTADA	238
<i>Eliana Aguilar, Oscar Andres Vivas and Jose Maria Sabater-Navarro</i>	
Entrenamiento robótico de la marcha en pacientes con Parálisis Cerebral: definición de objetivos, propuesta de tratamiento e implementación clínica preliminar	244
<i>Cristina Bayón, Teresa Martín-Lorenzo, Beatriz Moral-Saiz, Óscar Ramírez, Álvaro Pérez-Somarriba, Sergio Lerma-Lara, Ignacio Martínez and Eduardo Rocon</i>	
PREDICCIÓN DE ACTIVIDADES DE LA VIDA DIARIA EN ENTORNOS INTELIGENTES PARA PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA	251
<i>Arturo Bertomeu-Motos, Santiago Ezquerro, Juan Antonio Barios, Luis Daniel Lledó, Francisco Javier Badesa and Nicolas Garcia-Aracil</i>	
Sistema de Visión Estereoscópico para el guiado de un Robot Quirúrgico en Operaciones de Cirugía Laparoscópica HALS.....	256
<i>Carlos Castedo Hernández, Rafael Estop Remacha, Eusebio de La Fuente López and Lidia Santos Del Blanco</i>	
Head movement assessment of cerebral palsy users with severe motor disorders when they control a computer thought eye movements.....	264
<i>Alejandro Clemotte, Miguel A. Velasco and Eduardo Rocon</i>	
Diseño de un sensor óptico de fuerza para exoesqueletos de mano.....	270
<i>Jorge Diez Pomares, Andrea Blanco Ivorra, José María Catalan Orts, Francisco Javier Badesa Clemente, José María Sabater and Nicolas Garcia Aracil</i>	
POSIBILIDADES DEL USO DE TRAMAS ARTIFICIALES DE IMAGEN MOTORA PARA UN BCI BASADO EN EEG	276
<i>Josep Dinarès-Ferran, Christoph Guger and Jordi Solé-Casals</i>	
EFFECTOS SOBRE LA ERD EN TAREAS DE CONTROL DE EXOESQUELETO DE MANO EMPLEANDO BCI.....	282
<i>Santiago Ezquerro, Juan Antonio Barios, Arturo Bertomeu-Motos, Luisa Lorente, Nuria Requena, Irene Delegido, Francisco Javier Badesa and Nicolas Garcia-Aracil</i>	
Formulación Topológica Adaptada para la Simulación y Control de Exoesqueletos Accionados con Transmisiones Harmonic Drive.....	288
<i>Andres Hidalgo Romero and Eduardo Rocon</i>	

Identificación de contracciones isométricas de la extremidad superior en pacientes con lesión medular incompleta mediante características espectrales de la electromiografía de alta densidad (HD-EMG)	296
<i>Mislav Jordanic, Mónica Rojas-Martínez, Joan Francesc Alonso, Carolina Migliorelli and Miguel Ángel Mañanas</i>	
Diseño de una plataforma para analizar el efecto de la estimulación mecánica aferente en el temblor de pacientes con temblor esencial	302
<i>Julio S. Lora, Roberto López, Jesús González de La Aleja and Eduardo Rocon</i>	
DEFINICIÓN DE UN PROTOCOLO PARA LA MEDIDA PRECISA DEL RANGO CERVICAL EMPLEANDO TECNOLOGÍA INERCIAL	308
<i>Álvaro Martín, Rafael Raya, Cristina Sánchez, Rodrigo Garcia-Carmona, Oscar Ramirez and Abraham Otero</i>	
SISTEMA BRAIN-COMPUTER INTEFACE DE NAVEGACIÓN WEB ORIENTADO A PERSONAS CON GRAVE DISCAPACIDAD.....	313
<i>Víctor Martínez-Cagigal, Javier Gómez-Pilar, Daniel Álvarez, Eduardo Santamaría-Vázquez and Roberto Hornero</i>	
ESTRATEGIAS DE NEUROESTIMULACIÓN TRANSCRANEAL POR CORRIENTE DIRECTA PARA MEJORA COGNITIVA	320
<i>Silvia Moreno Serrano, Mario Ortiz and José María Azorín Poveda</i>	
COMPARATIVA DE ALGORITMOS PARA LA DETECCIÓN ONLINE DE IMAGINACIÓN MOTORA DE LA MARCHA BASADO EN SEÑALES DE EEG	328
<i>Marisol Rodriguez-Ugarte, Irma Nayeli Angulo Sherman, Eduardo Iáñez and Jose M. Azorin</i>	
DETECCIÓN, MEDIANTE UN GUANTE SENSORIZADO, DE MOVIMIENTOS SELECCIONADOS EN UN SISTEMA ROBOTIZADO COLABORATIVO PARA HALS	334
<i>Lidia Santos, José Luis González, Eusebio de La Fuente, Juan Carlos Fraile and Javier Pérez Turiel</i>	
BIOSENSORES PARA CONTROL Y SEGUIMIENTO PATOLOGÍAS REUMATOIDES	340
<i>Amparo Tirado, Raúl Marín, José V Martí, Miguel Belmonte and Pedro Sanz</i>	
Assessment of tremor severity in patients with essential tremor using smartwatches	347
<i>Miguel A. Velasco, Roberto López-Blanco, Juan P. Romero, M. Dolores Del Castillo, J. Ignacio Serrano, Julián Benito-León and Eduardo Rocon</i>	
INTERFAZ CEREBRO-ORDENADOR PARA EL CONTROL DE UNA SILLA DE RUEDAS A TRAVÉS DE DOS PARADIGMAS DE NAVEGACIÓN	353
<i>Fernández-Rodríguez Álvaro, Velasco-Álvarez Francisco and Ricardo Ron-Angevin</i>	
<hr/>	
Control Inteligente	
Aprendizaje por Refuerzo para sistemas lineales discretos con dinámica desconocida: Simulación y Aplicación a un Sistema Electromecánico	360
<i>Henry Diaz, Antonio Sala and Leopoldo Armesto</i>	
Diseño de sistemas de control en cascada clásico y borroso para el seguimiento de trayectorias	368
<i>Javier G. Gonzalez, Rodolfo Haber, Fernando Matia and Marcelino Novo</i>	

ANÁLISIS FORMAL DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS NO LINEALES MEDIANTE REDES NEURONALES.....	376
<i>Eloy Irigoyen, Mikel Larrea, A. Javier Barragán, Miguel Ángel Martínez and José Manuel Andújar</i>	
Predicción de la energía renovable proveniente del oleaje en las islas de Fuerteventura y Lanzarote.	384
<i>G.Nicolás Marichal, Deivis Avila, Ángela Hernández, Isidro Padrón and José Ángel Rodríguez</i>	
Aplicación de Redes Neuronales para la Estimación de la Resistencia al Avance en Buques	393
<i>Daniel Marón Blanco and Matilde Santos</i>	
Novel Fuzzy Torque Vectoring Controller for Electric Vehicles with per-wheel Motors	401
<i>Alberto Parra, Martín Dendaluze, Asier Zubizarreta and Joshué Pérez</i>	
REPOSTAJE EN TIERRA DE UN AVIÓN MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS .	408
<i>Elías Plaza and Matilde Santos</i>	
VISUALIZACIÓN WEB INTERACTIVA PARA EL ANÁLISIS DEL CHATTER EN LAMINACIÓN EN FRÍO.....	416
<i>Daniel Pérez López, Abel Alberto Cuadrado Vega and Ignacio Díaz Blanco</i>	
BANCADA PARA ANÁLISIS INTELIGENTE DE DATOS EN MONITORIZACIÓN DE SALUD ESTRUCTURAL.....	424
<i>Daniel Pérez López, Diego García Pérez, Ignacio Díaz Blanco and Abel Alberto Cuadrado Vega</i>	
CONTROL DE UN VEHÍCULO CUATRIRROTOR BASADO EN REDES NEURONALES.....	431
<i>Jesus Enrique Sierra and Matilde Santos</i>	
CONTROL PREDICTIVO FUZZY CON APLICACIÓN A LA DEPURACIÓN BIOLÓGICA DE FANGOS ACTIVADOS.....	437
<i>Pedro M. Vallejo Llamas and Pastora Vega Cruz</i>	
<hr/> Educación en Automática <hr/>	
REFLEXIONES SOBRE EL VALOR DOCENTE DE UNA COMPETICION DE DRONES EN LA EDUCACIÓN PARA EL CONTROL.....	445
<i>Ignacio Díaz Blanco, Alvaro Escanciano Urigüen, Antonio Robles Alvarez and Hilario López García</i>	
Uso del Haptic Paddle con aprendizaje basado en proyectos	451
<i>Juan M. Gandarias, Antonio José Muñoz-Ramírez and Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel</i>	
REPRESENTACION INTEGRADA DE ACCIONAMIENTOS MECANICOS Y CONTROL DE EJES ORIENTADA A LA COMUNICACIÓN Y DOCENCIA EN MECATRONICA	457
<i>Julio Garrido Campos, David Santos Esterán, Juan Sáez López and José Ignacio Armesto Quiroga</i>	
Construcción y modelado de un prototipo fan & plate para prácticas de control automático	465
<i>Cristina Lampon, Javier Martin, Ramon Costa-Castelló and Muppaneni Lokesh Chowdary</i>	

EDUCACION EN AUTOMATICA E INDUSTRIA 4.0 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS 3D	471
<i>Jose Ramon Llata, Esther Gonzalez-Sarabia, Carlos Torre-Ferrero and Ramon Sancibrian</i>	
Desarrollo e implementación de un sistema de control en una planta piloto hibrida.....	479
<i>Maria P. Marcos, Cesar de Prada and Jose Luis Pitarch</i>	
LA INFORMÁTICA INDUSTRIAL EN LAS INGENIERÍAS INDUSTRIALES	486
<i>Rogelio Mazaeda, Eusebio de La Fuente López, José Luis González, Eduardo J. Moya de La Torre, Miguel Angel García Blanco, Javier García Ruiz, María Jesús de La Fuente Aparicio, Gregorio Sainz Palmero and Smaranda Cristea</i>	
Ventajas docentes de un flotador magnético para la experimentación de técnicas control ..	495
<i>Eduardo Montijano, Carlos Bernal, Carlos Sagües, Antonio Bono and Jesús Sergio Artal</i>	
PROGRAMACIÓN ATRACTIVA DE PLC	502
<i>Eduardo J. Moya de La Torre, F. Javier García Ruíz, Alfonso Poncela Méndez and Victor Barrio Lángara</i>	
MODERNIZACIÓN DE EQUIPO FEEDBACK MS-150 PARA EL APRENDIZAJE ACTIVO EN INGENIERÍA DE CONTROL	510
<i>Perfecto Reguera Acevedo, Miguel Ángel Prada Medrano, Antonio Morán Álvarez, Juan José Fuertes Martínez, Manuel Domínguez González and Serafín Alonso Castro</i>	
INNOVACIÓN PEDAGÓGICA EN LA FORMACIÓN DEL PERFIL PROFESIONAL PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL A TRAVÉS DE UNA APROXIMACIÓN HOLÍSTICA.	517
<i>Juan Carlos Ríos, Zaneta Babel, Daniel Martínez, José María Paredes, Luis Alonso, Pablo Hernández, Alejandro García, David Álvarez, Jorge Miranda, Constantino Manuel Valdés and Jesús Alonso</i>	
Aprendiendo Simulación de Eventos Discretos con JaamSim	522
<i>Enrique Teruel and Rosario Aragüés</i>	
RED NEURONAL AUTORREGRESIVA NO LINEAL CON ENTRADAS EXÓGENAS PARA LA PREDICCIÓN DEL ELECTROENCEFALOGRAMA FETAL...	528
<i>Rosa M Aguilar, Jesús Torres and Carlos Martín</i>	
ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MATERIA EN REACTORES RACEWAYS.....	534
<i>Marta Barceló, Jose Luis Guzman, Francisco Gabriel Acién, Ismael Martín and Jorge Antonio Sánchez</i>	
MODELADO DINÁMICO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE FRÍO VINCULADO A UN CICLO DE REFRIGERACIÓN	539
<i>Guillermo Bejarano Pellicer, José Joaquín Suffo, Manuel Vargas and Manuel G. Ortega</i>	
Predictor Intervalar basado en hiperplano soporte	547
<i>José Manuel Bravo Caro, Manuel Vasallo Vázquez, Emilian Cojocarú and Teodoro Alamo Cantarero</i>	
Dynamic simulation applied to refinery hydrogen networks	555
<i>Anibal Galan Prado, Cesar De Prada, Gloria Gutierrez, Rafael Gonzalez and Daniel Sarabia</i>	

APROXIMACIÓN DE MODELOS ALGEBRAICOS MEDIANTE ALAMO Y ECOSIMPRO	563
<i>Carlos Gómez Palacín, José Luis Pitarch, Gloria Gutiérrez and Cesar De Prada</i>	
A Causal Model to Analyze Aircraft Collision Avoidance Deadlock Scenarios	569
<i>Miquel Àngel Piera Eroles, Julia de Homdedeu, Maria Del Mar Tous, Thimjo Koca and Marko Radanovic</i>	
ONLINE DECISION SUPPORT FOR AN EVAPORATION NETWORK	575
<i>José Luis Pitarch, Marc Kalliski, Carlos Gómez Palacín, Christian Jasch and Cesar De Prada</i>	
Predicción de la irradiancia a partir de datos de satélite mediante deep learning	582
<i>Javier Pérez, Jorge Segarra-Tamarit, Hector Beltran, Carlos Ariño, José Carlos Alfonso Gil, Aleks Attanasio and Emilio Pérez</i>	
MODELO DINÁMICO ORIENTADO AL TRATAMIENTO Y SEGUIMIENTO DE LA LEUCEMIA MIELOIDE CRÓNICA	589
<i>Gabriel Pérez Rodríguez and Fernando Morilla</i>	
Modelado y optimización de la operación de un sistema de bombeo de múltiples depósitos	596
<i>Roberto Sanchis Llopis and Ignacio Peñarrocha</i>	
DEVELOPMENT OF A GREY MODEL FOR A MEDIUM DENSITY FIBREBOARD DRYER IN ECOSIMPRO	604
<i>Pedro Santos, Jose Luis Pitarch and César de Prada</i>	
DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE FALLOS MEDIANTE MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LAS FECHAS DE LIMPIEZA PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS	611
<i>Jorge Segarra-Tamarit, Emilio Pérez, Hector Beltran, Enrique Belenguer and José Luis Gandía</i>	
Modelado de micro-central hidráulica para el diseño de controladores con aplicación en regiones aisladas de Honduras	618
<i>Alejandro Tapia Córdoba, Pablo Millán Gata, Fabio Gómez-Estern Aguilar, Carmelina Ierardi and Álvaro Rodríguez Del Nozal</i>	
FRAMEWORK PARA EL MODELADO DE UN LAGO DE DATOS	626
<i>J.M Torres, R.M. Aguilar, C.A. Martin and S. Diaz</i>	
SIMULADOR CARDIOVASCULAR PARA ENSAYO DE ROBOTS DE NAVEGACION AUTONOMA	633
<i>José Emilio Traver, Juan Francisco Ortega Morán, Ines Tejado, J. Blas Pagador, Fei Sun, Raquel Pérez-Aloe, Blas M. Vinagre and F. Miguel Sánchez Margallo</i>	
PLANIFICACION DE LA PRODUCCION BASADA EN CONTROL PREDICTIVO PARA PLANTAS TERMOSOLARES	641
<i>Manuel Jesús Vasallo Vázquez, José Manuel Bravo Caro, Emilian Cojocarú and Manuel Emilio Gegundez Arias</i>	
Evaluación multicriterio para la optimización de redes de energía	649
<i>Ascensión Zafra Cabeza, Rafael Espinosa, Miguel Àngel Ridao Carlini and Carlos Bordóns Alba</i>	
Percibiendo el entorno en los robots sociales del RoboticsLab	657
<i>Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo Montoya, Àlvaro Castro-Gonzalez, Juan José Gamboa, Marcos Maroto Gómez, Sara Marqués Villaroya, Antonio J. Pérez Vidal and Miguel Àngel Salichs</i>	

DISEÑO DE UNA PRÓTESIS DE MANO ADAPTABLE AL CRECIMIENTO	664
<i>Marta Ayats and Raul Suarez</i>	
COOPERATIVISMO BIOINSPIRADO BASADO EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS HORMIGAS	672
<i>Brayan Bermudez, Kristel Novoa and Miguel Valbuena</i>	
PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN EXOESQUELETO DE MIEMBRO SUPERIOR PARA SOPORTE DE CARGAS	680
<i>Andrea Blanco Ivorra, Jorge Diez Pomares, David Lopez Perez, Francisco Javier Badesa Clemente, Miguel Ignacio Sanchez and Nicolas Garcia Aracil</i>	
Estructura de control en ROS y modos de marcha basados en máquinas de estados de un robot hexápodo	686
<i>Raúl Cebolla Arroyo, Jorge De Leon Rivas and Antonio Barrientos</i>	
USING AN UAV TO GUIDE THE TELEOPERATION OF A MOBILE MANIPULATOR	694
<i>Josep Arnau Claret and Luis Basañez</i>	
Estudio de los patrones de marcha para un robot hexápodo en tareas de búsqueda y rescate	701
<i>Jorge De León Rivas and Antonio Barrientos</i>	
SISTEMA DE INTERACCIÓN VISUAL PARA UN ROBOT SOCIAL	709
<i>Mario Domínguez López, Eduardo Zalama Casanova, Jaime Gómez García-Bermejo and Samuel Marcos Pablos</i>	
Mejora del Comportamiento Proxémico de un Robot Autónomo mediante Motores de Inteligencia Artificial Desarrollados para Plataformas de Videojuegos	717
<i>David Fernández Chaves, Javier Monroy and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	
Micrófonos de contacto: una alternativa para sensado táctil en robots sociales	724
<i>Juan José Gamboa, Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo, Marcos Maroto Gómez and Miguel A. Salichs</i>	
Clasificación de información táctil para la detección de personas	732
<i>Juan M. Gandarias, Jesús M. Gómez-De-Gabriel and Alfonso García-Cerezo</i>	
Planificación para interceptación de objetivos: Integración del Método Fast Marching y Risk-RRT	738
<i>David Alfredo Garzon Ramos, Mario Andrei Garzon Oviedo and Antonio Barrientos</i>	
ESTABILIZACIÓN DE UNA BOLA SOBRE UN PLANO UTILIZANDO UN ROBOT PARALELO 6-RSS	746
<i>Daniel González, Lluís Ros and Federico Thomas</i>	
TELEOPERACIÓN DE INSTRUMENTOS QUIRÚRGICOS ARTICULADOS	754
<i>Ana Gómez Delgado, Carlos Perez-Del-Pulgar, Antonio Reina Terol and Victor Muñoz Martinez</i>	
CONTROL OF A ROBOTIC ARM FOR TRANSPORTING OBJECTS BASED ON NEURO-FUZZY LEARNING VISUAL INFORMATION	760
<i>Juan Hernández Vicén, Santiago Martínez de La Casa Díaz and Carlos Balaguer</i>	
PLATAFORMA BASADA EN LA INTEGRACIÓN DE MATLAB Y ROS PARA LA DOCENCIA DE ROBÓTICA DE SERVICIO	766
<i>Carlos G. Juan, Jose Maria Vicente, Alvaro Garcia and Jose Maria Sabater-Navarro</i>	

Estimadores de fuerza y movimiento para el control de un robot de rehabilitación de extremidad superior.....	772
<i>Aitziber Mancisidor, Asier Zubizarreta, Itziar Cabanes, Pablo Bengoa and Asier Brull</i>	
Definiendo los elementos que constituyen un robot social portable de bajo coste	780
<i>Marcos Maroto Gómez, José Carlos Castillo, Fernando Alonso-Martín, Juan José Gamboa, Sara Marqués Villarroya and Miguel Ángel Salichs</i>	
Interfaces táctiles para Interacción Humano-Robot	787
<i>Sara Marqués Villarroya, Jose Carlos Castillo Montoya, Fernando Alonso Martín, Marcos Maroto Gómez, Juan José Gamboa and Miguel A. Salichs</i>	
HERRAMIENTAS DE ENTRENAMIENTO Y MONITORIZACIÓN PARA EL DESMINADO HUMANITARIO	793
<i>Hector Montes, Roemi Fernandez, Pablo Gonzalez de Santos and Manuel Armada</i>	
Control a Baja Velocidad de una Rueda con Motor de Accionamiento Directo mediante Ingeniería Basada en Modelos	799
<i>Antonio José Muñoz-Ramírez, Jesús Manuel Luque-Bedmar, Jesus Manuel Gomez-De-Gabriel, Anthony Mandow, Javier Serón and Alfonso Garcia-Cerezo</i>	
SIMULACIÓN DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS USANDO V-REP BAJO ROS	806
<i>Cándido Otero Moreira, Enrique Paz Domonte, Rafael Sanz Dominguez, Joaquín López Fernández, Rafael Barea, Eduardo Romera, Eduardo Molinos, Roberto Arroyo, Luís Miguel Bergasa and Elena López</i>	
Cinemática y prototipado de un manipulador paralelo con centro de rotación remoto para robótica quirúrgica.....	814
<i>Francisco Pastor, Juan M. Gandarias and Jesús M. Gómez-De-Gabriel</i>	
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE SINGULARIDADES AISLADAS EN ROBOTS PARALELOS MEDIANTE DESARROLLOS DE TAYLOR DE SEGUNDO ORDEN.....	821
<i>Adrián Peidro Vidal, Óscar Reinoso, Arturo Gil, José María Marín and Luis Payá</i>	
INTERFAZ DE CONTROL PARA UN ROBOT MANIPULADOR MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL	829
<i>Elena Peña-Tapia, Juan Jesús Roldán, Mario Garzón, Andrés Martín-Barrio and Antonio Barrientos</i>	
Evolución de la robótica social y nuevas tendencias.....	836
<i>Antonio J. Pérez Vidal, Alvaro Castro-Gonzalez, Fernando Alonso Martín, Jose Carlos Castillo Montoya and Miguel A. Salichs</i>	
DISEÑO MECÁNICO DE UN ASISTENTE ROBÓTICO CAMARÓGRAFO CON APRENDIZAJE COGNITIVO	844
<i>Irene Rivas-Blanco, M Carmen López-Casado, Carlos Pérez-Del-Pulgar, Francisco García-Vacas, Víctor Fernando Muñoz, Enrique Bauzano and Juan Carlos Fraile</i>	
CÁLCULO DE FUERZAS DE CONTACTO PARA PRENSIONES BIMANUALES.....	852
<i>Francisco Abiud Rojas-De-Silva and Raul Suarez</i>	
Modelado del Contexto Geométrico para el Reconocimiento de Objetos.....	860
<i>José Raúl Ruiz Sarmiento, Cipriano Galindo and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	
Estimación Probabilística de Áreas de Emisión de Gases con un Robot Móvil Mediante la Integración Temporal de Observaciones de Gas y Viento	868
<i>Carlos Sanchez-Garrido, Javier Monroy and Javier Gonzalez-Jimenez</i>	

MANIPULADOR AÉREO CON BRAZOS ANTROPOMÓRFICOS DE ARTICULACIONES FLEXIBLES	876
<i>Alejandro Suarez, Guillermo Heredia and Anibal Ollero</i>	
EVALUACIÓN DE UN ENTORNO DE TELEOPERACIÓN CON ROS	864
<i>David Vargas Frutos, Juan Carlos Ramos Martínez, José Luis Samper Escudero, Miguel Ángel Sánchez-Urán González and Manuel Ferre Pérez</i>	

Sistemas de Tiempo Real

GENERACIÓN DE CÓDIGO IEC 61131-3 A PARTIR DE DISEÑOS EN GRAFCET....	892
<i>María Luz Alvarez Gutierrez, Isabel Sarachaga Gonzalez, Arantzazu Burgos Fernandez, Nagore Iriondo Urbistazu and Marga Marcos Muñoz</i>	
CONTROL EN TIEMPO REAL Y SUPERVISIÓN DE PROCESOS MEDIANTE SERVIDORES OPC-UA	900
<i>Francisco Blanes Noguera and Andrés Benlloch Faus</i>	
Control de la Ejecución en Sistemas de Criticidad Mixta	906
<i>Alfons Crespo, Patricia Balbastre, Jose Simo and Javier Coronel</i>	
GENERACIÓN AUTOMÁTICA DEL PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN TIA PORTAL PARA MÁQUINAS MODULARES	913
<i>Darío Orive, Aintzane Armentia, Eneko Fernandez and Marga Marcos</i>	
DDS en el desarrollo de sistemas distribuidos heterogéneos con soporte para criticidad mixta	921
<i>Hector Perez and J. Javier Gutiérrez</i>	
ARQUITECTURA DISTRIBUIDA PARA EL CONTROL AUTÓNOMO DE DRONES EN INTERIOR	929
<i>Jose-Luis Poza-Luján, Juan-Luis Posadas-Yaguë, Giovanni-Javier Tipantuña-Topanta, Francisco Abad and Ramón Mollá</i>	
Ingeniería Conducida por Modelos en Sistemas de Automatización Flexibles	935
<i>Rafael Priego, Elisabet Estévez, Dario Orive, Isabel Sarachaga and Marga Marcos</i>	
Estudio e implementación de Middleware para aplicaciones de control distribuido	942
<i>Jose Simo, Jose-Luis Poza-Lujan, Juan-Luis Posadas-Yaguë and Francisco Blanes</i>	

Visión por Computador

Real-Time Image Mosaicking for Mapping and Exploration Purposes	948
<i>Abdulla Al-Kaff, Juan Camilo Soto Triviño, Raúl Sosa San Frutos, Arturo de La Escalera and José María Armingol Moreno</i>	
ALGORITMO DE SLAM UTILIZANDO APARIENCIA GLOBAL DE IMÁGENES OMNIDIRECCIONALES	956
<i>Yerai Berenguer, Luis Payá, Mónica Ballesta, Luis Miguel Jiménez, Sergio Cebollada and Oscar Reinoso</i>	
Medición de Oximetría de Pulso mediante Imagen fotopletismográfica.....	964
<i>Juan-Carlos Cobos-Torres, Jordan Ortega Rodríguez, Pablo J. Alhama Blanco and Mohamed Abderrahim</i>	
Algoritmo de captura de movimiento basado en visión por computador para la teleoperación de robots humanoides	970
<i>Juan Miguel Garcia Haro and Santiago Martinez de La Casa</i>	

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DETECCIÓN DE ROSTROS EN IMÁGENES DIGITALES	976
<i>Natalia García Del Prado, Victor Gonzalez Castro, Enrique Alegre and Eduardo Fidalgo Fernández</i>	
LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE FUGA PARA SISTEMA DE DETECCIÓN DE LÍNEAS DE CARRIL	983
<i>Manuel Ibarra-Arenado, Tardi Tjahjadi, Sandra Robla-Gómez and Juan Pérez-Oria</i>	
Oculus-Crawl, a Software Tool for Building Datasets for Computer Vision Tasks	991
<i>Iván De Paz Centeno, Eduardo Fidalgo Fernández, Enrique Alegre Gutiérrez and Wesam Al Nabki</i>	
Clasificación automática de obstáculos empleando escáner láser y visión por computador ..	999
<i>Aurelio Ponz, Fernando Garcia, David Martin, Arturo de La Escalera and Jose Maria Armingol</i>	
T-SCAN: OBTENCIÓN DE NUBES DE PUNTOS CON COLOR Y TEMPERATURA EN INTERIOR DE EDIFICIOS	1007
<i>Tomás Prado, Blanca Quintana, Samuel A. Prieto and Antonio Adan</i>	
EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA REALIZAR RESÚMENES AUTOMÁTICOS DE VÍDEOS	1015
<i>Pablo Rubio, Eduardo Fidalgo, Enrique Alegre and Víctor González</i>	
SIMULADOR PARA LA CREACIÓN DE MUNDOS VIRTUALES PARA LA ASISTENCIA A PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA EN SILLA DE RUEDAS ..	1023
<i>Carlos Sánchez Sánchez, María Cidoncha Jiménez, Emiliano Pérez, Ines Tejado and Blas M. Vinagre</i>	
Calibración Extrínseca de un Conjunto de Cámaras RGB-D sobre un Robot Móvil	1031
<i>David Zúñiga-Nöel, Rubén Gómez Ojeda, Francisco-Ángel Moreno and Javier González Jiménez</i>	

Sistema de Visión Estereoscópico para el guiado de un Robot Quirúrgico en Operaciones de Cirugía Laparoscópica HALS

Carlos Castedo Hernández*, Rafael Estop Remacha*, Eusebio de la Fuente**, Lidia Santos**

*Escuela Ingenierías Industriales Univ. Valladolid. Paseo Cauce 59. 47005 Valladolid,
email: {carlos.castedo, rafael.estop}@alumnos.uva.es

**ITAP Univ. Valladolid. Paseo Cauce 59. 47005 Valladolid,
email: efuente@eii.uva.es, lidia.santos@uva.es

Resumen

En este artículo se presenta un sistema de visión estereoscópico destinado al guiado de un robot colaborativo en operaciones de cirugía. El objetivo del sistema de visión es que el robot quirúrgico tenga en todo momento localizada la mano del cirujano para no colisionar con ella y para cooperar en la operación si es necesario. El sistema de visión va ubicado en el interior del abdomen del paciente, ya que se ha enfocado a operaciones de cirugía laparoscópica asistida con la mano.

Palabras Clave: Cirugía Mínimamente Invasiva, estereovisión, robótica quirúrgica.

1 INTRODUCCIÓN

A partir de los años noventa, con el enorme desarrollo en la tecnología del video y la transmisión de imágenes, se comienza a desarrollar la cirugía laparoscópica o mínimamente invasiva entre las diferentes especialidades quirúrgicas que comparten el tratamiento del abdomen.

La cirugía laparoscópica es una técnica que usa varias incisiones, llamadas puertos, de 0.5 a 1 cm. En cada puerto se inserta un instrumento tubular conocido como trocar. Durante el procedimiento, a través de los trocates, se pasan instrumentos especializados y una cámara especial llamada laparoscopio. Al iniciar el procedimiento, el abdomen se infla con gas, dióxido de carbono, para proporcionar al cirujano un espacio de trabajo y visibilidad. El laparoscopio transmite imágenes de la cavidad abdominal a los monitores de video de alta resolución del quirófano.

En ciertos casos, el cirujano puede elegir usar un tipo de puerto especial que es lo suficientemente amplio como para insertar una mano. Cuando se usa un puerto para la mano, la técnica quirúrgica se llama laparoscopia asistida con la mano (*HALS Hand Assisted Laparoscopic Surgery*) [5] [11].

Las ventajas de la cirugía laparoscópica son: una mejor visión y abordaje de la cavidad abdominal, disminución del dolor postoperatorio, reducción de la posibilidad de complicaciones infecciosas, acortamiento del tiempo de estancia hospitalaria, mayor rapidez en la reincorporación a la vida social y laboral y mejor resultado estético [7].

A partir del año 2000 aparecen las primeras aplicaciones de la robótica a la cirugía laparoscópica, destinadas a soslayar algunas limitaciones de esta: pérdida de la sensación táctil, limitaciones en la maniobrabilidad, campo visual bidimensional, particularidades del instrumental, complejidad de los procedimientos y necesidad de neumoperitoneo [12].

La calidad de la imagen tridimensional intraoperatoria con sensación de profundidad, la perfecta sincronización manos-ojos, la precisión de los instrumentos, la exactitud de sus suturas y la exéresis que se realiza con mayor destreza y confort, hará probablemente que pronto la cirugía robótica sea ampliamente difundida a pesar de su elevado coste [1].

En la actualidad aparecen nuevos intentos de acceder a la zona quirúrgica con la mínima invasión y han aparecido nuevos conceptos, como la cirugía endoscópica transluminal por orificios naturales (*NOTES, Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery*), la cirugía laparoscópica a través de incisión única (*SILS, Single Incision Laparoscopic Surgery*) y la cirugía transanal a través de puerto único (*TAMIS, Transanal Minimally Invasive Surgery*) [4].

Existe una tendencia clara a avanzar cada vez más hacia técnicas menos invasivas, intentando lograr una cirugía más segura para el paciente y más cómoda para el cirujano.

1.1 CIRUGÍA HALS

Las técnicas laparoscópicas presentan ciertas limitaciones como:

- Capacidad restringida de manipulación del espécimen enfermo.
- La reducida retroalimentación táctil asociada con un abordaje totalmente laparoscópico.

- La imposibilidad de una visualización completa del campo quirúrgico.
- La larga duración de las operaciones de cirugía laparoscópica.

La cirugía laparoscópica asistida manualmente (HALS), es una técnica algo diferente de la tradicional cirugía laparoscópica. Con HALS, se utiliza un aparato para mantener el neumoperitoneo mientras se inserta la mano del cirujano a través de una pequeña incisión en el abdomen. Como en la cirugía laparoscópica estándar, el cirujano visualiza la zona mediante un monitor, pero además tiene la ventaja que implica el uso de su mano. La mano posee 27 grados de libertad que proporcionan una gran versatilidad para llevar a cabo todo tipo de operaciones. Debido a que la HALS permite el mantenimiento de la sensación táctil y promueve un grado de coordinación mano-ojo, esta variación en la cirugía laparoscópica ha sido más fácil de dominar para los cirujanos entrenados exclusivamente en la cirugía abierta.

Siguiendo el enfoque de la cirugía laparoscópica, el lugar de la mano debe ser considerado como un puerto de la operación y triangulado con el otro puerto de la operación laparoscópica de manera que ambos puertos formen ángulos de azimut iguales con el puerto de visualización laparoscópica. El posicionamiento de los puertos de la operación en ángulos iguales permite al cirujano dirigirse ergonómicamente al órgano objetivo.

Debido a que la tecnología HALS está en sus comienzos, existe la necesidad urgente de desarrollar estudios adecuados para explorar su potencia. Por último, se necesitan nuevos métodos para promover la educación quirúrgica y difundir el conocimiento de las capacidades de la cirugía HALS [2] [8].

2 SISTEMA DE VISION PARA EL GUIADO DEL ROBOT QUIRÚRGICO

Con objeto de robotizar el proceso de cirugía HALS, presentaremos el sistema de visión estereoscópico que tiene por objeto identificar la mano del cirujano en el interior del abdomen. La información obtenida por este sistema se empleará para el guiado de un robot colaborativo que cooperará con el cirujano en aquellas maniobras que este lo requiera.

La obtención de la posición de la mano se llevará a cabo por dos cámaras de pequeño tamaño introducidas en el abdomen del paciente que, a partir de las parejas de imágenes estereoscópicas, permitirán la reconstrucción tridimensional de la mano del cirujano,

evitando así que el robot colisione con esta en su avance.

La identificación de la mano del cirujano dentro de la cavidad abdominal del paciente resulta compleja, debido a la gran cantidad de grados de libertad que esta tiene y a que en muchas situaciones esta aparece parcialmente oculta. Para plantear una solución inicial se ha empleado una identificación empleando el color.

2.1 CORRESPONDENCIA ESTEREOSCOPICA

La correspondencia estereoscópica consiste en la asociación de las proyecciones de un punto de la escena en las imágenes del par estereoscópico.

El proceso de correspondencia es el paso más complejo en la visión estereoscópica. El hecho de tener dos imágenes tomadas desde dos cámaras y desde posiciones o ángulos diferentes hace que la iluminación pueda ser diferente en las imágenes, incluso con la aparición de distintos reflejos. Además, existe la posibilidad de que se produzcan oclusiones quedando ocultas partes de la escena en una imagen y visibles en la otra. Por otro lado, aunque las imágenes sean realizadas con cámaras con las mismas características, el comportamiento de los componentes electrónicos y ópticos puede ser distinto.

Existen varias técnicas de correspondencia estereoscópica que difieren en los elementos identificativos utilizados para llevar a cabo la correspondencia:

- Las **técnicas basadas en área** que utilizan patrones de intensidad en los que engloban a la vecindad de un píxel de una de las imágenes del par estereoscópico y los comparan con los patrones de intensidad correspondientes con un píxel de la otra imagen del par estereoscópico. La principal ventaja de este tipo de técnicas es la creación de mapas de profundidad muy densos, esto se debe a que la correspondencia se realiza píxel a píxel, obteniendo un valor de disparidad para cada uno. También presentan una serie de desventajas como: el uso de la intensidad en cada píxel hace que sean más sensibles a modificaciones en la iluminación, y la posibilidad de obtener falsas correspondencias.
- Las **técnicas basadas en las características** que emplean representaciones simbólicas obtenidas a partir de la imagen de intensidad. Algunas de estas representaciones simbólicas son: los puntos de borde aislados, cadenas de puntos de bordes, regiones delimitadas por bordes. Algunas de las principales ventajas que presentan estas técnicas

son: estabilidad ante cambios en la iluminación, permiten realizar comparaciones entre atributos, mayor rapidez debida al procesamiento de menos puntos. La principal pega es su falta de densidad en los mapas de profundidad.

2.2 CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD

Para la determinación de las distancias a la que se encuentra la mano del cirujano en nuestra escena se ha de realizar la correspondencia entre las imágenes izquierda y derecha. La forma de obtener las distancias está ligada con la geometría del sistema estereoscópico. Debido a la restricción epipolar [6], el cálculo de las distancias es una simple triangulación. Estando las proyecciones de un objeto en la misma posición en el eje vertical.

Las imágenes del par estereoscópico presentan un desplazamiento horizontal que hace que las proyecciones de los objetos de la escena tengan posiciones en el eje horizontal ligeramente distintas. Esta diferencia en el posicionamiento en el eje horizontal es lo que se conoce como disparidad.

Aplicando la semejanza de triángulos para ambas proyecciones, se obtiene los valores de x_I , ecuación 1 y de x_D , ecuación 2. Sabiendo que la diferencia de estos valores se corresponde con la disparidad se obtiene la coordenada z del punto de la escena.

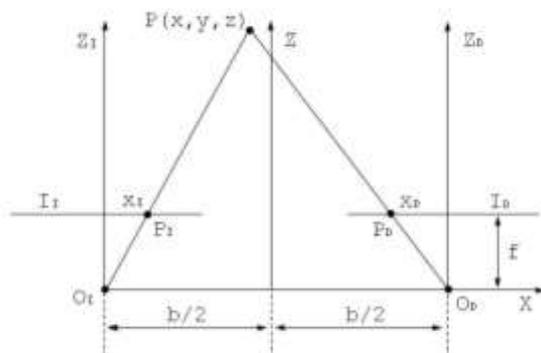


Figura 1 Geometría del estereoscopio

$$x_I = \frac{f}{z} \left(x + \frac{b}{2} \right) \quad (1)$$

$$x_D = \frac{f}{z} \left(x - \frac{b}{2} \right) \quad (2)$$

$$d = x_I - x_D \rightarrow z = \frac{f}{d} b \quad (3)$$

Como se puede observar en la ecuación 3, la distancia es inversamente proporcional a la disparidad, es decir, cuanto más cerca se encuentre un objeto en la escena con mayor disparidad aparecerá en las imágenes.

Como ya se comentó anteriormente dependiendo de la aplicación del sistema estereoscópico se necesitan mapas de profundidad más o menos densos. Dependiendo de la técnica utilizada para la creación del mapa de disparidad será necesario llevar a cabo la interpolación de este.

Tras el cálculo de disparidades cabe la posibilidad de encontrarnos con errores en los mapas de profundidad. Estos se pueden deber a errores en el cálculo de los valores de disparidad. Para solucionar estos problemas se aplican una serie de filtros sobre el mapa de disparidades.

El tratamiento de los mapas de disparidad se realiza basándose en la idea de que un pixel propio de un objeto de la escena tendrá un valor de disparidad parecido al resto de pixeles pertenecientes al objeto. Los filtros más utilizados son el filtro de la mediana y el filtro de la media.

3 IMPLANTACIÓN

Para la programación se ha empleado la biblioteca de procesamiento de imágenes OpenCV [9], que tiene una serie de funciones que permiten la obtención de correspondencias mediante emparejamiento por áreas (*Block Matching* en OpenCV).

3.1 PUESTA EN CORRESPONDENCIA E INTERPOLACIÓN

La implementación de algoritmos basados en áreas en OpenCV se realiza mediante los siguientes pasos:

- Un prefiltrado de la imagen para normalizar o intensificar la intensidad de las imágenes.
- Búsqueda de correspondencias entre ambas imágenes.
- Filtrado de los resultados para eliminar posibles ruidos presentes en el mapa de disparidades.

Todos los algoritmos basados en áreas para obtener las correspondencias estereoscópicas comparan el valor tanto de los píxeles evaluados como el de sus vecindades, el conjunto formado por el pixel y su vecindad es conocido como ventana.

En el **prefiltrado** de las imágenes de entrada se puede llevar a cabo una normalización de las imágenes o la intensificación de los bordes. El normalizado de la imagen se realiza mediante la resta del valor medio de intensidad de los píxeles de su ventana, estableciendo un máximo y un mínimo. Con el normalizado se consigue reducir el ruido presente en las imágenes. La intensificación de los bordes se realiza asignando pesos a los píxeles de una ventana, siendo mayor el peso de los píxeles centrales que el de los extremos, consiguiendo resaltar los bordes de los objetos.

La **búsqueda de correspondencias** en las funciones de OpenCV utilizan la restricción epipolar y buscan la proyección de un píxel en una imagen solo a lo largo de la línea epipolar en la otra. El algoritmo selecciona una ventana en una de las imágenes y realiza el sumatorio de las intensidades de los píxeles en dicha ventana. A continuación, recorre los píxeles de la línea epipolar de la otra imagen, estableciendo ventanas del mismo tamaño y calculando el sumatorio de las intensidades. La correspondencia se establece entre el píxel de la primera imagen y el píxel de la segunda cuyas ventanas tengan la menor diferencia entre los sumatorios de intensidad. El valor almacenado para esa posición se corresponde con el desplazamiento entre ambos píxeles.

En el **postprocesado** se realiza un filtrado de los resultados obtenidos mediante la búsqueda de correspondencias. Este filtrado es necesario para la eliminación de falsos positivos. Estos son debidos a que el algoritmo selecciona el mejor de los resultados, pero se puede dar el caso que todos los resultados obtenidos son malos, y el algoritmo selecciona el menos malo. Otro aspecto que trata el postprocesado son las zonas correspondientes a bordes de objetos y el nivel de textura en las ventanas.

Los diferentes tipos de algoritmos para la obtención de las correspondencias estereoscópicas implementados en una función presente en la biblioteca de OpenCV son:

- *Graph-Cuts*, correspondencia densa global. Los algoritmos de correspondencia globales intentan encontrar similitudes entre intensidades de píxeles a nivel de imagen completa, creando áreas de píxeles con el mismo nivel de similitud. Afectando la correspondencia de un píxel a sus vecinos (Mujika, 2010). Este algoritmo agrupa los píxeles en función de la profundidad y la similitud, tratando de minimizar la función de energía. Permitiendo identificar formas y bordes, y reduciendo los problemas causados por las oclusiones, iluminación y textura. El problema es que esto supone un coste de procesamiento muy alto, inhabilitando el uso de este algoritmo en sistemas en tiempo real.
- *Block Matching*, correspondencia densa local. Este algoritmo busca las correspondencias para cada píxel, estableciendo las disparidades mediante la comparación de las intensidades de los píxeles en las ventanas. La principal ventaja de este algoritmo es su bajo coste computacional, soportando la carga de trabajo de sistemas de visión en tiempo real. Las principales desventajas son dos. La primera de ellas es el resultado obtenido en los bordes de las imágenes. El hecho de que las imágenes estén tomadas desde diferentes posiciones hace que los bordes de los objetos en las imágenes no coincidan. Cuando se

implementan algoritmos de Block Matching se obtienen resultados muy malos debido a las grandes diferencias de intensidad entre las ventanas situadas en estos bordes. Una segunda desventaja es la posibilidad de encontrarse con texturas muy similares, esto impide que el algoritmo encuentre correspondencias para esas zonas.

- *Semi-Global Block Matching*, correspondencia densa híbrida. Este tipo de algoritmos se encuentran situados entre los algoritmos locales y globales. Es decir, intentan obtener unos resultados cercanos a los de los algoritmos globales, pero a un coste computacional tan bajo como en los locales. Este tipo de algoritmo lleva a cabo la correspondencia estereoscópica mediante la minimización de una función de energía de en las ventanas en las que previamente divide la imagen. Respecto a la correspondencia densa local, aumenta el coste computacional del algoritmo, pero mejora significativamente la calidad de los resultados

Comentadas las características principales de cada uno de los algoritmos se ha de elegir uno para implementarse en el sistema de visión estereoscópica en desarrollo. El sistema va a trabajar en tiempo real, esto obliga a desechar la utilización del algoritmo *Graph-Cuts*.

El algoritmo de correspondencia densa local, *Block Matching*, esta implementado en OpenCV por la función *stereoBM*. Esta función presenta una serie de parámetros de entrada que permiten modificar el proceso de obtención de correspondencias estereoscópicas, alterando el mapa de disparidad que muestra la función como resultado de su ejecución.



Figura 2. Imagen original. Corresponde a la imagen capturada por una de las cámaras del sistema de visión estereoscópico. La mano aparece cubierta por un guante sensorizado que proporcionará datos sobre la flexión y movimiento de los dedos.



Figura 3. Mapa de disparidad obtenido para el par correspondiente a la imagen de la figura 1. Las zonas más claras indican una mayor proximidad a la cámara.



Figura 4. Imagen en la que mediante un filtro de color, se han eliminado todos aquellos elementos que no correspondan a los dedos. Esto permite disminuir significativamente el número de elementos en la nube de puntos y trabajar con componentes conexas que aproximaremos a cilindros.

3.2 PROCESAMIENTO DE LA NUBE DE PUNTOS

Con el mapa de profundidades obtenido ya se puede establecer de forma muy aproximada dónde se ubica la mano del cirujano dentro del abdomen. Esta información es suficiente para evitar la colisión del robot quirúrgico con la mano. No obstante, para lograr que el robot asista al cirujano en su quehacer es preciso procesar el mapa de profundidades para extraer las componentes conexas que corresponden a cada dedo. Más concretamente, será preciso identificar las puntas de estos ya que será ahí donde se llevará a cabo la cooperación.

Para ello, partiendo de la matriz de datos que contiene las coordenadas XYZ de los puntos pertenecientes a los dedos del cirujano convertiremos esta información a un formato en el cual podamos trabajar

eficientemente en espacio tridimensional. Para conseguir esto se van a utilizar las librerías *Point Cloud Library (PCL)* [10], un software libre destinado a la obtención y tratamiento de nubes de puntos en el espacio.

Antes de continuar, es importante analizar qué tipo de nube de puntos vamos a utilizar para almacenar la información. PCL dispone de varios tipos haciendo distinción principalmente en el tipo de punto que la nube va a almacenar. Se puede hacer uso de puntos XY los cuales solo tienen 2 coordenadas en el espacio, de puntos XYZ que tienen 3, los XYZI tienen, a parte de las tres dimensiones, un parámetro más que hace referencia a la intensidad pudiendo así crear una nube de puntos en escala de grises. También están los puntos XYZRGB que al igual que los anteriores ubican puntos en el espacio tridimensional pero además con información cromática.

Dado que en el proceso para conseguir el estéreo se ha convertido la imagen a escala de grises y que más tarde la función que nos proporcionaba las coordenadas de los puntos de la imagen no nos da la información del color, lo más oportuno es utilizar un tipo de punto XYZ. Esto, además, resulta lógico ya que como veremos más adelante el uso del color en la nube de puntos no va a ser necesario para el proceso planteado. Añadirlo solo provocaría un aumento del uso de memoria y tiempo de ejecución.

Una vez completado el volcado de la información a una nube de puntos en PCL las librerías de OpenCV ya no serán necesarias y podremos trabajar libremente con la librería PCL. El resultado de la conversión se puede ver en la Figura 5.

3.3 SEGMENTACIÓN POR CILINDROS

Ahora que se tiene una nube de puntos en el formato deseado podemos proceder a la búsqueda de cilindros en ésta con objeto de obtener cada dedo por separado.

La búsqueda se realiza mediante la función de PCL *sac_segmentation* la cual se basa en la segmentación de una nube de puntos a partir de un modelo dado.

Para un correcto funcionamiento de esta función debemos indicarle diferentes parámetros, comenzando con la nube de puntos de entrada y de salida, éstas pueden ser la misma o no. Además, la función necesita que se le indiquen los valores de las normales a cada punto, es decir, debemos obtener previamente la dirección normal de cada punto de la nube. Este proceso se realiza mediante la función *ExtractIndices*.

Otro dato que debemos introducir es el algoritmo de búsqueda que debe utilizar la función. De entre todas las opciones destaca el método de RANSAC [3].

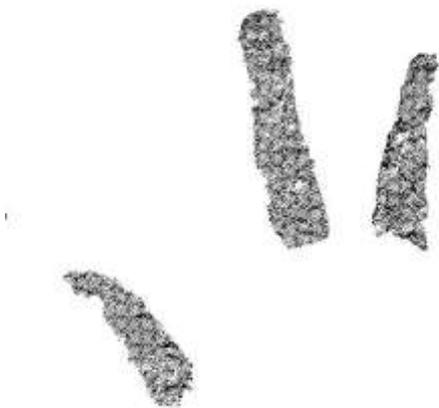


Figura 5. Nube de puntos correspondientes a los tres dedos

Continuamos indicando el modelo que deseamos buscar en nuestra nube de puntos. Estos modelos están predefinidos en PCL y tenemos diversas opciones. Entre ellas hay planos, círculos, esferas o cilindros. Dependiendo del tipo de modelo que se escoja, después se deberá indicar unos parámetros u otros para definir las características del mismo. Si por ejemplo escogemos un plano no tendremos que definir más parámetros. En el caso de un cilindro tendremos que indicar un rango en el cual puede estar el diámetro del mismo.

Por último, se debe indicar a la función valores como el número máximo de iteraciones en la búsqueda, la tolerancia para considerar que un punto forma parte o no del modelo o el peso que tendrá el valor de las normales.

Una vez se han definido correctamente todos estos valores la función puede ejecutarse dándole 2 matrices de datos. En la primera se indicarán los puntos de la nube que conforman el modelo encontrado en caso de que lo hubiera. En la segunda se guardarán los parámetros del modelo encontrado, es decir que en función del tipo de modelo que haya buscado, nos devolverá los parámetros que definen a ese modelo. Para el caso del plano devuelve 4 valores que corresponden a los cuatro parámetros de la ecuación 4:

$$ax + by + cz + d = 0 \quad (4)$$

Para el caso del cilindro se necesitan 7 parámetros: los 3 primeros dan las coordenadas XYZ de un punto en el espacio, los 3 siguientes aportan la dirección de la recta que pasa por dicho punto y que será el eje del

cilindro, por último, el séptimo valor nos proporciona el radio del cilindro.

En el caso particular de nuestra aplicación, disponemos de una nube de puntos que representa tres dedos de una mano, por lo tanto, si queremos separar dichos dedos para estudiarlos uno por uno tendremos que hacer la búsqueda de cilindros tres veces consecutivas para encontrar cada uno de los dedos. Es importante que tras cada búsqueda se eliminen de la nube original aquellos puntos que ya han sido considerados como pertenecientes a un dedo. Si no se eliminan, todas las búsquedas encontrarán siempre el mismo dedo, aquel que mejor se aproxime a un cilindro o, empleando la nomenclatura de RANSAC, el dedo que más consenso presente.

Por lo tanto, el proceso consiste en realizar la búsqueda, extraer aquellos puntos que pertenezcan al cilindro encontrado y volcarlos en una nueva nube de puntos. Además de almacenar los 7 parámetros que definen a cada cilindro para poder después encontrar fácilmente cada dedo. El resultado obtenido tras este proceso se puede visualizar en la Figura 6.

3.4 DETECCIÓN DE LOS EXTREMOS DE LOS DEDOS

Para identificar la posición de las puntas de los dedos existen diversas opciones, pero todas ellas han de enfrentarse al mismo problema, determinar en la nube de puntos segmentadas por cilindros qué extremo corresponde a la falange distal del dedo y cuál a la proximal.

Este problema existe debido a que se han cogido únicamente los puntos pertenecientes a los dedos, eliminando así los del resto de la mano. De este modo, perdemos la información de dónde está la mano y por lo tanto su orientación.

Para solucionar este problema, se ha recurrido a asumir que la orientación de la mano solo puede estar entre unos determinados valores. Esta suposición puede parecer muy restrictiva pero dado que en nuestra aplicación real el cirujano deberá introducir su mano por un puerto en el abdomen del paciente, la movilidad que tendrá esta será limitada y por tanto esta suposición resulta perfectamente válida.

Asumida esta premisa, el determinar la punta de los dedos se reduce a encontrar el punto más alejado dentro de la nube de puntos correspondiente a cada dedo. Para ello se analiza la coordenada Y de cada punto para después almacenar la memoria el de mayor valor. Este sistema de detección resulta realmente rápido y eficaz. Se puede ver el resultado de la operación en la Figura 7.

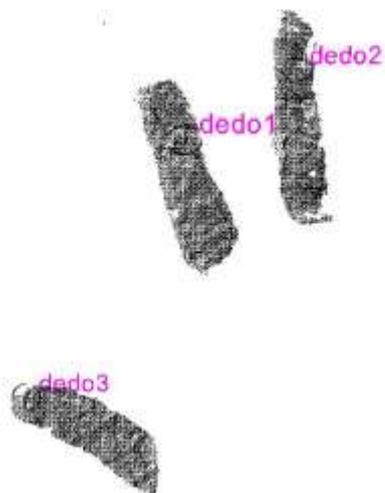


Figura 6. Cada componente conexas correspondiente a un dedo se ha aproximado por un cilindro.

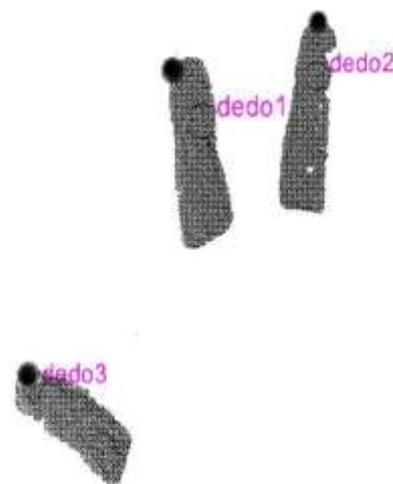


Figura 7. El círculo representado en cada dedo indica cuál es el extremo del dedo.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos sobre esta primera versión de la aplicación tanto en el emparejamiento, Figura 3, como la obtención de primitivas 3D/cilindros Figura 7 son satisfactorios.

El algoritmo ha sido probado en un ordenador con unas prestaciones medias. Se ha podido realizar el procesamiento estéreo de imágenes con resolución 640x480 estéreo a 5 y 6 frames por segundo. Este procesamiento permite obtener el mapa de profundidades válido para la evitación de colisiones por parte del robot quirúrgico. Sin embargo, el procesamiento de la nube de puntos para establecer la posición y orientación de cada dedo, necesario para la cooperación del robot con el cirujano, tarda alrededor de 1 s. Este tiempo es muy elevado para un funcionamiento en una aplicación real. En la actualidad se está trabajando en la reducción de este tiempo de ejecución disminuyendo la resolución de la nube de puntos y paralelizando el procesamiento estéreo con el de la nube.

En cuanto a la precisión lograda en el mapa de profundidad, los errores relativos obtenidos en el cálculo de las distancias nunca han sido superiores a un 2% y son por tanto perfectamente admisibles para el guiado del robot quirúrgico.

5 CONCLUSIONES

El sistema de visión que se presenta en este artículo se encuentra enmarcado dentro de un proyecto de creación de una plataforma robotizada capaz de reconocer y predecir los pasos quirúrgicos y la anatomía específica del paciente para colaborar de forma automática con el cirujano.

En este artículo se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo del sistema de visión para el guiado de este robot quirúrgico. Los resultados muestran la viabilidad del sistema diseñado para el guiado automático del robot, siendo posible su implantación en tiempo real. La identificación de los dedos del cirujano, objetivo necesario para la cooperación del robot con este, requiere de un procesamiento computacionalmente más costoso y en el que debe avanzarse más para que sus tiempos de ejecución sean acordes a los que requiere la plataforma robotizada.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, a través del proyecto: "Sensorized HALS. Entorno sensorizado para cirugía laparoscópica asistida por la mano". Subproyecto dentro del proyecto coordinado "Sistema robotizado colaborativo para cirugía laparoscópica asistida por la mano". DPI2013-47196-C3-3-R.

Referencias

- [1] Amodeo, A. y Linares, A., 2009. Robotic laparoscopic surgery: cost and training. *Minerva Urol Nefrol.*, 61(2), pp. 121.
- [2] Ding J., Xia Y., Liao G., Z. Zhang, S. Liu, Y. Zhang, and Z. Yan, "Hand-assisted laparoscopic surgery versus open surgery for colorectal disease: a systematic review and meta-analysis," *The American Journal of Surgery*, vol. 207, no. 1, pp. 109–119, 2014.
- [3] Fisher, M. A. y Bolles, R. C. "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," *Communications of the ACM*, vol. 24, nº6, pp. 381-395, 1981.

- [4] Flora, E., Wilson, T.G. y Martin, I.J., 2008. A review of natural orifice transluminal endoscopic surgery (NOTES) for intraabdominal surgery: experimental models, techniques and applicability to the clinical setting. *Annals of surgery*, 247, pp. 583-602.
- [5] Gorey, T.F., Tierney, S., Buckley, D., O'Riordain, M., Fitzpatrick, J.M., "Video-assisted Nissen's fundoplication using a hand-access port", *Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies*, 5 (4), pp. 364-366, 1996.
- [6] Hartley, R. and Zisserman, A. Multiple View Geometry in Computer Vision. Second Edition. Cambridge University Press, March 2004.
- [7] Iturralde, A.R., González, T. y Castillo, M., 2010. Capítulo II. Principales acontecimientos históricos de la cirugía urológica. En: M. Frank y W. Castro López, eds. *Cirugía Urológica de mínimo acceso*. pp. 54.
- [8] Leraas H., Ong C.T., Sun Z., Adam M.A, Kim J., Gilmore B.F, Ezekian B., Nag U.S., Mantyh C.R., Migaly J. "Hand-Assisted Laparoscopic Colectomy Improves Perioperative Outcomes Without Increasing Operative Time Compared to the Open Approach: a National Analysis of 8791 Patients", *J Gastrointest Surg*;21(4):684-69, April 2017
- [9] "OpenCV" Available: <http://opencv.org/> .
- [10] "Point Cloud Library" Available: <http://pointclouds.org/> .
- [11] Targarona, E.M., Gracia, E., Garriga, J., Martínez-Bru, C., Cortés, M., Boluda, R., Lerma, L., Trías, M., "Prospective randomized trial comparing conventional laparoscopic colectomy with hand-assisted laparoscopic colectomy: Applicability, immediate clinical outcome, inflammatory response, and cost", *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 16:2, 2002, pp. 234-239, 2002.
- [12] Yoshino, I., Hashizume, M. y Shimada, M., 2001. Thoracoscopic thymectomy with the Da Vinci computer-enhanced surgical system. *Journal of Thoracic & Cardiovascular Surgery*, 122(4), pp. 783-785.