

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

Nuñez, Luis Ramón

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

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

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor

Table of Contents

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Sistemas de Tiempo Real

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

Visión por Computador

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

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

LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE FUGA PARA SISTEMA DE DETECCIÓN DE LÍNEAS DE CARRIL.

M. Ibarra-Arenado^{1,2}, T. Tjahjadi³, S. Robla-Gómez², J.M. Pérez-Oria²

¹Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria, Santander, Cantabria, Avda. los Castros s/n, 39005, SPAIN

²Departamento de Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Cantabria, Santander, Cantabria, Avda. los Castros s/n, 39005, SPAIN

³School of Engineering, University of Warwick, Coventry CV4 7AL, UNITED KINGDOM
E-mail: [ibarra,srobla,oria]@teisa.unican.es, t.tjahjadi@warwick.ac.uk

Resumen

Una tarea fundamental dentro de los sistemas de detección de cambio de carril involuntario es la detección de las marcas viales longitudinales pintadas en el asfalto, ya sean continuas o discontinuas, así como de los límites de la vía. Los métodos de detección de estas características de la carretera basados en visión por computador, se dividen generalmente en dos etapas: extracción de las potenciales marcas viales longitudinales y ajuste de éstas a un modelo matemático. El presente artículo se centra en la primera, presentando un método para la detección del punto (vía recta) o puntos (vía curva) de fuga de la imagen. Los bordes de imagen cuya proyección pase por el punto de fuga, pertenecen a potenciales líneas de carril o límites de la carretera, siendo por lo tanto dicho punto una característica importante para la comprensión de la escena y detección del carril. Tras un filtrado basado en la orientación de los bordes de la imagen, los puntos de fuga se obtienen a partir de un proceso iterativo por votación. Ensayos realizados en tráfico urbano real muestran un comportamiento eficiente del método.

Palabras Clave: Visión por computador, detección de carril, sistemas de ayuda a la conducción.

1 INTRODUCCIÓN

Con el fin de evitar accidentes debidos a cambios de carril involuntarios, incluyendo salidas de la vía e invasiones tanto del carril contrario como del contiguo, los sistemas de detección de cambio de carril (Lane Departure Warning, LDW) ayudan a mantener la trayectoria del vehículo dentro de la vía. Ante un posible cambio involuntario de carril, los sistemas LDW alertan al conductor mediante una señal sonora y/o acústica, o incluso haciendo vibrar el volante o el asiento del conductor. Una versión más avanzada son los sistemas de asistencia al mantenimiento de carril (Lane Keep Assistance, LKA), los cuales actúan sobre la dirección del vehículo, corrigiendo la trayectoria cuando el conductor no responde a las alertas

que le envía el sistema.

Una tarea fundamental dentro de los sistemas LDW y LKA es la detección de las marcas viales longitudinales pintadas en el asfalto, ya sean continuas o discontinuas, las cuales proporcionan la posición y orientación del vehículo dentro de la vía. Actualmente, los sistemas basados en visión por computador están jugando un papel muy importante dentro de los sistemas de ayuda a la conducción (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS). Las cámaras de bajo coste en comparación con otros dispositivos como el LIDAR, las unidades de procesado cada vez más potentes, los avances en los campos tanto del procesado de imagen como de la visión por computador, junto con el hecho de que los sensores ópticos son pasivos quedando exentos de los problemas de interferencia propios de los sensores activos, hace que los sistemas basados en visión sean un segmento creciente dentro de los sistemas ADAS.

Sin embargo, la detección de las líneas del carril mediante visión por computador supone un gran desafío. Aunque muchos métodos han sido propuestos, todavía es un campo de investigación activo, donde los esfuerzos se dirigen a lograr sistemas más fiables y rápidos. Son diversos los factores que dificultan la detección de las líneas de carril en una imagen. Por un lado, el ego-vehículo (vehículo en el que el sistema está instalado) está en movimiento, por lo que el escenario además de ser desconocido, está constantemente cambiando. Esto junto con la complejidad propia de la estructura de la carretera (rectas, curvas, cruces, rotondas, etc.) dificulta considerablemente la interpretación de la escena. Por otro lado, las marcas viales no son siempre visibles, lo cual puede deberse al desgaste de la vía, a parches en el asfalto o a la presencia de vehículos que las ocultan. Finalmente, los sistemas LDW y LKA operan en exteriores, estando muy condicionados por la iluminación, la cual es desconocida (día soleado, nublado, etc) e incontrolable. Ésta puede originar sombras y brillos en la carretera y en los objetos de la escena (líneas de carril, vehículos, etc.), lo que en la imagen puede ocasionar la unión aparente entre los mismos,

así como alterar sus características de intensidad, cromaticidad e incluso forma.

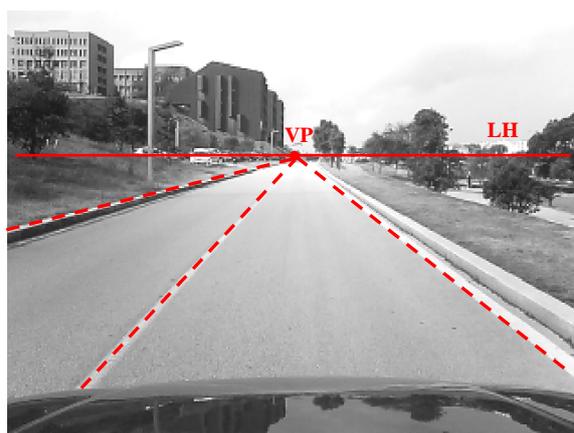
Los métodos de detección de carril basados en visión por computador se dividen generalmente en dos etapas [9]: extracción de las características de la carretera (líneas de carril y límites de la vía) y ajuste de éstas a un modelo. La primera consiste en identificar en la imagen las potenciales líneas de carril y/o bordes de la carretera, lo cual se lleva a cabo generalmente mediante técnicas de detección de bordes [2,4,6,7,12] o métodos basados en el gradiente [1,10]. La segunda etapa, consiste en ajustar las líneas detectadas a un modelo matemático, es decir, determinar la ecuación matemática de las líneas de carril [5,8,13,14]. De este modo, por una lado se verifican los bordes extraídos de la imagen que pertenecen a las líneas de carril o a los límites de la vía, y por el otro, permite conocer la trayectoria de la carretera, haciendo posible el guiado del ego-vehículo.

El presente artículo se centra en la primera etapa, presentando un método para extraer los bordes de la imagen que son potenciales marcas de carril o límites de la vía. Para ello se propone un método para la detección del punto (vía recta) o puntos (vía curva) de fuga de la imagen de carretera. El punto de fuga de una escena de carretera es aquel punto del plano de la imagen donde se cortan todas las líneas situadas sobre el plano de la carretera que en la realidad son paralelas a una dirección dada en el espacio la cual no es paralela al plano de proyección. De este modo, conociendo el punto de fuga de la imagen, es posible determinar todos los bordes de la misma que potencialmente pertenecen a las líneas del carril o a los límites de la vía. La extracción de dichos bordes es una de las fases críticas del proceso de detección del carril y de ella depende el correcto funcionamiento del sistema.

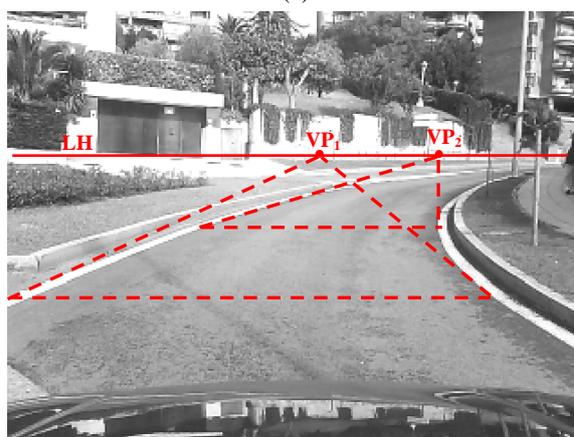
El resto del trabajo está organizado como sigue. En la Sección 2, se describe el método propuesto de detección del punto o de los puntos de fuga de la escena. En la sección 3 se presentan los resultados y finalmente, las conclusiones se muestran en la Sección 4.

2 DETECCIÓN DE LOS PUNTOS DE FUGA DE LA ESCENA.

La perspectiva cónica es el sistema de representación que más se aproxima a la perspectiva de una imagen de carretera típica de los sistemas ADAS. Las líneas que delimitan el carril de una vía son en la realidad líneas paralelas entre sí. Sin embargo, en el plano de la imagen, dichas líneas convergen en un punto en el infinito denominado punto de fuga, VP (ver Figura 1(a)). De la misma manera, el resto de líneas (reales o imaginarias) sobre el plano de la carretera que son



(a)



(b)

Figura 1. Línea de horizonte y punto/s de fuga. (a) Vía recta, y (b) vía curva.

en la realidad paralelas a las líneas del carril, se cortan en el mencionado punto de fuga.

Sin embargo, este hecho solo se produce cuando las líneas del carril son rectas. Para una línea curva no existe un único punto de fuga, sino infinitos, los cuales se sitúan a lo largo de una línea horizontal localizada en el infinito, denominada línea del horizonte, LH (ver Figura 1(a) y 1(b)). La línea del horizonte es el lugar geométrico del espacio en el cual se encuentran todos los puntos de fuga correspondientes a las diferentes direcciones de las rectas situadas sobre el plano de la carretera. Es una recta horizontal sobre el plano de proyección, resultado de la intersección de dicho plano con el plano horizontal que pasa por el punto de vista del sistema proyectivo.

De este modo, cada punto de una línea curva tiene su propio punto de fuga, el cual es resultado de la intersección de la recta tangente a la curva en dicho punto y la línea del horizonte (ver Figura 1(b)). Ahora bien, para una imagen de carretera en la que el carril describe una curva, es muy complejo determinar todos los puntos de fuga de la escena. Sin embargo, si se

consideran pequeños arcos de la curva, éstos se pueden aproximar como rectas, de tal modo que en la imagen se establecen tantos puntos de fuga como tramos de arco hayan sido considerados (ver Figura 2(a) y 2(b)).

El conocimiento de los puntos de fuga es por lo tanto, una información muy valiosa de la escena para la detección del carril. Todos los bordes de la imagen, cuyas proyecciones pasen por el punto de fuga (correspondiente a su tramo) son candidatos a pertenecer a una línea de carril o a una línea límite de la vía, mientras que todos aquellos cuyas proyecciones no pasen por el punto quedan descartadas como tal.

En el presente trabajo, se establecen tres tramos en la carretera, por lo que si la escena es una curva, se tendrán tres puntos de fuga situados sobre la línea de horizonte. En cambio si la carretera es una recta, los tres puntos de fuga coinciden en el infinito. El proceso de detección del punto de fuga correspondiente a cada tramo es idéntico.

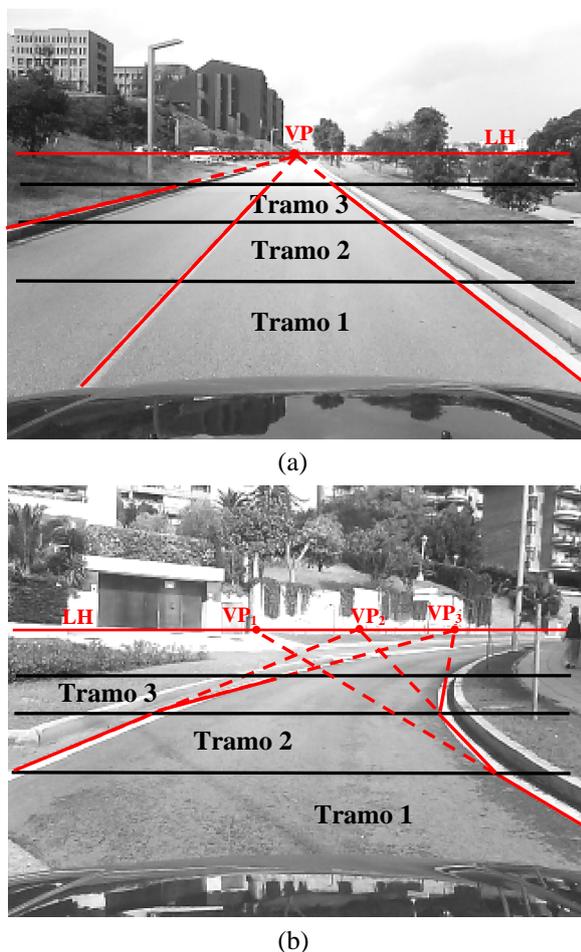


Figura 2. División de la imagen en tres tramos. (a) Vía recta donde el punto de fuga de cada tramo coincide, VP , y (b) vía curva, donde a cada tramo 1, 2 y 3 le corresponde un un punto de fuga, VP_1 , VP_2 y VP_3 , respectivamente.

2.1 REGIÓN DE INTERÉS

Con el fin de simplificar la escena, el sistema se centra en una región de interés (ROI) de la imagen adquirida en escala de grises. La ROI corresponde al área de la carretera frente al ego-vehículo que se encuentra situada por debajo de la línea del horizonte aproximada (ver Figura 3(a) y 3(b)), la cual se establece asumiendo condición de tierra plana. De este modo, se excluyen de la imagen todos aquellos elementos que por su situación en la imagen, se tiene la certeza de que no son líneas de carril o límites de la vía (ver Figura 3(a) y 3(b)). Por otro lado, se establece una región en la imagen entorno a la línea del horizonte aproximada, donde la probabilidad de localizar los puntos de fuga de la escena es muy elevada [11] (salvo en situaciones en las que el ego-vehículo se aproxima a un tramo de la vía con una pendiente hacia arriba muy pronunciada o en un cambio de rasante). Los cambios de rasante son situaciones muy

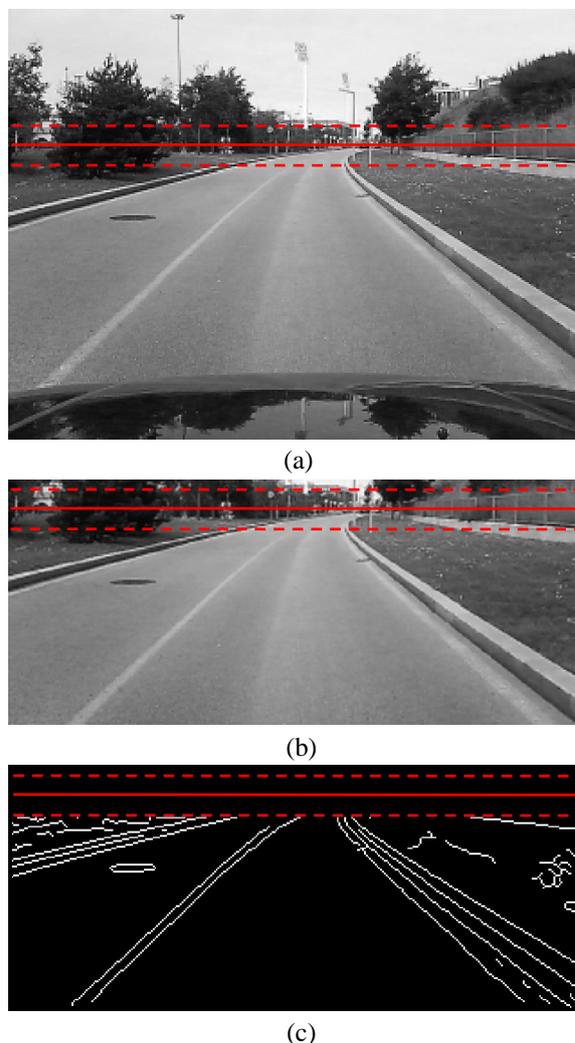


Figura 3. Línea del horizonte aproximada y región de máxima probabilidad de localización de los puntos de fuga, (a) en la imagen adquirida, (b) en la región de interés, y (c) en la máscara de bordes M .

complejas para los sistemas de detección de líneas de carril, independientemente de la metodología propuesta para su detección. Esto se debe a que el tramo de la carretera más alejado del ego-vehículo no aparece en la imagen. Por lo que el único modo de la estimación de las líneas es mediante métodos predictivos.

2.2 FLTRADO POR ORIENTACIÓN

Antes de comenzar el proceso de detección de los puntos de fuga, con el fin de reducir ruido de la ROI, se aplica un filtro paso bajo con una máscara 3x3. Posteriormente, el mapa de bordes M es extraído aplicando el operador Canny [3] (ver Figura 3(c)). En la máscara M aparecen todos los bordes de la imagen independientemente de si pertenecen a las marcas viales, a los bordillos o a cualquier otro elemento de la escena. Sin embargo, para la detección de aquellos que corresponden a las líneas de carril o límites de la vía se dispone de cierto conocimiento previo de la escena.

Debido a la perspectiva, la orientación de las líneas de carril y límites de la vía no es, a priori, completamente desconocida. Aún con el ego-vehículo incorrectamente alineado en la carretera o circulando por una curva, los puntos de fuga de la imagen, por lo general, se localizan horizontalmente en la región central de la línea del horizonte. Esto hace que la orientación, θ de dichas líneas se mantenga dentro de un rango de ángulos en función de la posición que ocupe en la imagen (ver Figura 4). Así, si suponemos el punto de fuga en el centro exacto de la línea del horizonte, la orientación, θ de la línea izquierda del carril podrá variar únicamente entre los valores de 0 y 90°, mientras que la orientación de la línea derecha estará comprendida entre 90 y 180° (ver Figura 4). Sin embargo, el punto de fuga no tienen por que estar en el centro exacto de la línea del horizonte sino que puede estar desplazados. Este es el caso en el que el ego-vehículo está o bien levemente desalineado de la vía, o bien circulando en una curva.

No obstante, esta información es muy útil para descartar elementos de la escena que por su orientación,

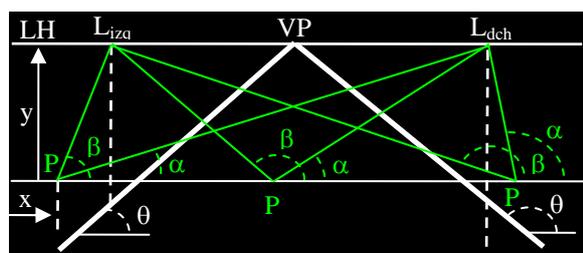


Figura 4. Orientación, θ de cada punto perteneciente a una línea de carril o límite de vía en función de su localización en la imagen.

claramente no corresponden con las líneas del carril o con los límites de la vía. De este modo, se propone un filtrado por orientación de cada punto perteneciente a cada elemento presente en la máscara de bordes.

En primer lugar, se establecen dos límites, izquierdo, L_{izq} y derecho, L_{dch} (ver Figura 4) sobre la línea del horizonte aproximada, entre los cuales la probabilidad de encontrar situados los puntos de fuga de la escena es muy elevada, incluso si el ego-vehículo transita por una curva cerrada. De este modo, cualquier punto perteneciente a un borde de la imagen cuya orientación presente un valor fuera del intervalo $[\alpha, \beta]$, será descartado como punto del borde perteneciente a una línea de carril o límite de vía. Para cada punto de borde (x, y) de la máscara, M tenemos que,

$$M(x, y) = \begin{cases} 1, & \alpha(x, y) \leq \theta(x, y) \leq \beta(x, y) \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

donde,

- si $x < L_{izq}$,

$$\alpha = \frac{360}{2 \cdot \pi} \cdot \text{atan} \frac{y}{L_{izq} - x} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{360}{2 \cdot \pi} \cdot \text{atan} \frac{y}{L_{dch} - x} \quad (3)$$

- si $L_{izq} \leq x \leq L_{dch}$,

$$\alpha = \frac{360}{2 \cdot \pi} \cdot \text{atan} \frac{y}{x - L_{izq}} \quad (4)$$

$$\beta = 180 - \frac{360}{2 \cdot \pi} \cdot \text{atan} \frac{y}{x - L_{dch}} \quad (5)$$

- si $L_{dch} < x$

$$\alpha = 180 - \frac{360}{2 \cdot \pi} \cdot \text{atan} \frac{y}{x - L_{izq}} \quad (6)$$

$$\beta = 180 - \frac{360}{2 \cdot \pi} \cdot \text{atan} \frac{y}{x - L_{dch}} \quad (7)$$

y donde el ángulo de orientación, θ de cada punto de borde se obtiene a partir de sus gradientes horizontal y vertical de intensidad,

$$\theta = \frac{360}{2 \cdot \pi} \cdot \text{atan} \frac{dx}{dy} \quad (8)$$

donde,

$$dx = I(i+1, j-1) + I(i+1, j) + I(i+1, j+1) - (I(i-1, j-1) + I(i-1, j) + I(i-1, j+1)) \quad (9)$$

$$dy = I(i-1, j-1) + I(i, j-1) + I(i+1, j-1) - (I(i-1, j+1) + I(i, j+1) + I(i+1, j+1)) \quad (10)$$

y donde I es la región de interés en escala de grises. Así, en la máscara de bordes permanecen aquellos puntos cuya orientación satisface la condición de

orientación (ver Figura 5(a)). Posteriormente, se lleva a cabo un agrupamiento de píxeles por cercanía, con el fin de unir aquellos bordes correspondientes a líneas de carril o límites de vía que inevitablemente hayan perdido algún punto en el filtrado (ver Figura 5(b)), tras lo cual se realiza un filtrado por tamaño de los elementos de M (ver Figura 5(c)).

2.3 DETECCIÓN DE LOS PUNTOS DE FUGA

Una vez descartados aquellos bordes de la máscara, M que por su orientación es improbable que pertenezcan a líneas de carril o límites de la vía, el siguiente paso del proceso es el cálculo de los puntos de fuga de la escena a partir de los segmentos remanentes en M .

En primer lugar se establecen tres regiones en la ROI (ver Figura 5(c) y Figura 6(a), 6(b) y 6(c)), a cada cual le corresponde un punto de fuga. Los tramos establecidos son de distintas dimensiones. El *Tramo 1*, el cual es el más cercano al ego-vehículo, es considerado de mayor tamaño porque aún circulando en una curva, las líneas del carril son prácticamente

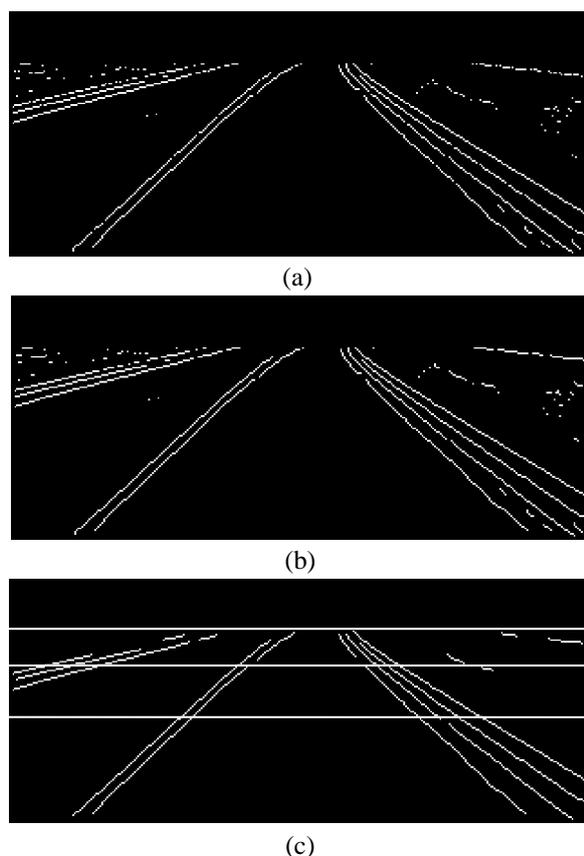


Figura 5. Máscara de bordes M de la Figura 3(c), (a) tras el filtrado por orientación, (b) tras el agrupamiento de píxeles, y (c) tras el filtrado por tamaño y establecimiento de los tramos.

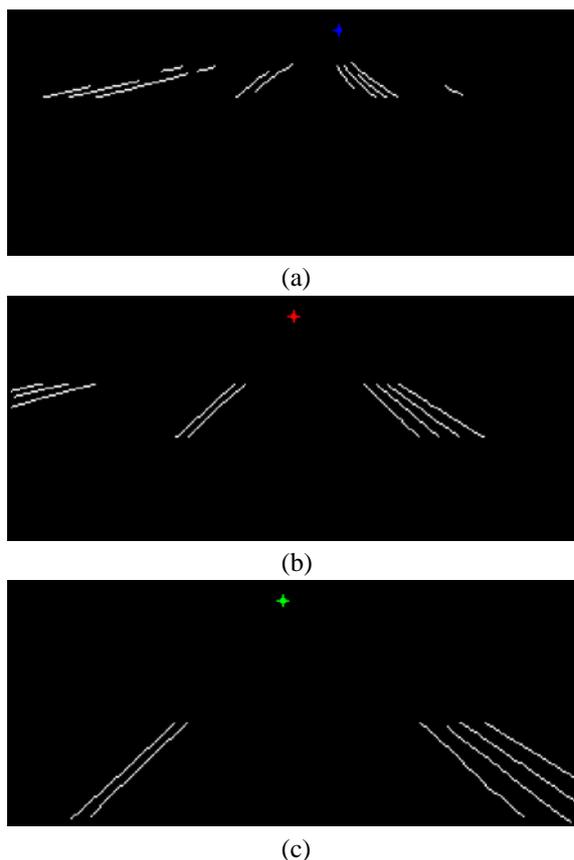


Figura 6. Puntos de fuga obtenidos para cada tramo, (a) Tramo 3, (b) Tramo 2, y (c) Tramo 1.

rectas en la imagen debido al efecto de la perspectiva (ver Figura 2(b)). Los *Tramos 2* y *3*, son menores porque a distancias más alejadas la curvatura de las líneas es apreciable. El tamaño de los tres tramos es establecido en base al conocimiento previo de la escena, incluyendo la altura y ángulo tilt de la cámara situada en el ego-vehículo, así como asumiendo condición de tierra plana. En este trabajo el Tramo 1 es una región de la imagen de 320×60 mientras que el Tramo 2 y el Tramo 3 son de 320×30 y 320×20 , respectivamente.

La detección del punto de fuga de cada tramo se lleva a cabo mediante un proceso iterativo por votación. Para ello, se calculan todos los puntos de intersección entre todos los segmentos de línea remanentes en el tramo y se calcula el centro geométrico de dichos puntos. A partir de dicho centro geométrico de los puntos de intersección se establece un margen de distancia, T , de modo que todos los segmentos de la máscara cuya proyección pase a una distancia superior a T son descartados como bordes correspondientes a líneas de carril o límites de vía. Con la nueva máscara M , el proceso se repite sucesivamente hasta que se obtiene una máscara de bordes final que no presente ningún segmento descartado, situación en la cual, el centro geométrico de intersección de la última

iteración es considerado finalmente como el punto de fuga del tramo bajo análisis (ver Figura 6(a), 6(b) y 6(c)).

La ecuación de cada segmento se calcula mediante su pendiente, m y las coordenadas de su centroide, $P_c(x_c, y_c)$, obtenidos sendos parámetros partir de los puntos extremos del segmento $P_i(x_i, y_i)$ y $P_f(x_f, y_f)$,

$$m = \tan \frac{y_f - y_i}{x_f - x_i} \quad (11)$$

$$P_c(x_c, y_c) = P_c \left(\frac{x_f - x_i}{2}, \frac{y_f - y_i}{2} \right) \quad (12)$$

Para calcular los puntos de intersección en cada iteración, a cada punto obtenido se le asigna un peso determinado en función de las longitudes y de las orientaciones de los segmentos empleados para su cálculo.

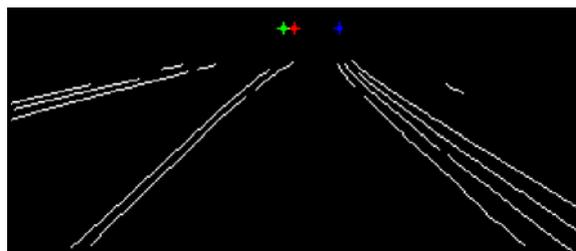
La longitud de los segmentos es un factor importante. Cuanto más largos son los segmentos, mayor precisión se tiene a la hora de determinar sus ecuaciones y por lo tanto la precisión en la obtención del punto de fuga será mayor.

Por otro lado, la precisión del punto de fuga es mayor cuanto más difiere la pendiente de las rectas que interseccionan. Así, por ejemplo, el punto de intersección entre una de las rectas correspondientes al carril izquierdo y una de las rectas correspondientes al carril derecho, estará más próximo al punto de fuga real que el punto de intersección de dos rectas correspondientes a uno de los dos lados de la escena, cuyas pendientes son más parecidas. De este modo, si la pendiente de una de las rectas satisface que $0 < \theta < 90$ y la otra $90 < \theta < 180$, el peso asignado al punto de intersección obtenido es mayor que si las pendientes de las dos rectas cumplen $0 < \theta < 90$ o $90 < \theta < 180$.

Una vez finalizado el proceso, los bordes remanentes en la máscara M , son los finalmente clasificados como potenciales bordes correspondientes a líneas de carril o límites de la vía (ver Figura 6(a), 6(b), 6(c)), 7(a), 7(b) y 7(c)).

4 RESULTADOS

El sistema fue instalado en un vehículo preparado al efecto y fue probado en tráfico urbano real en Santander, Cantabria. La videocámara empleada fue una Trust Widescreen HD WebCam, 8 bit pixel, auto balance de blancos y tiempo de exposición automático, la cual proporcionó imágenes a color con una resolución de 240x320. Las imágenes fueron adquiri-



(a)



(b)



(c)

Figura 7. Puntos de fuga en: (a) la máscara de bordes potencialmente correspondientes a líneas del carril o límites de la vía, (b) la ROI, y (c) en la imagen inicial adquirida.

das y procesadas en Matlab® sobre un ordenador portátil standard.

Un total de 6.600 imágenes de la carretera, en 22 video secuencias de 300 imágenes cada una, fueron adquiridas y almacenadas en diferentes condiciones atmosféricas. La Figura 8 muestra el resultado del algoritmo de detección de los puntos de fuga y bordes correspondientes a potenciales líneas de carril y límites de vía, los cuales se muestran sobrepuestos en color verde en la imagen original. El método se comprobó en todas las imágenes.

Como se aprecia, la mayor parte de los bordes generados por las líneas de carril así como por los límites de vía son correctamente detectados por el método como potenciales bordes de dichos elementos. Sin embargo, también se aprecia que algunos de los bordes aparecen incompletos. Esto se debe principal-



Figura 8. Ejemplos de la estimación de los puntos de fuga en diferentes tipos de vía urbana y diferentes condiciones de iluminación. En la imagen superior de cada ejemplo se muestra la imagen original con los potenciales bordes de carril y límites de vía sobreimpresionados en verde, mientras que en la imagen inferior se muestran dichos bordes en la ROI. En ambas imágenes se muestran los puntos de fuga estimados de los tres tramos.

mente al método de agrupamiento de bordes basado en la cercanía, el cual presenta dificultades en la unión de tramos de bordes demasiado separados. Con el fin de evaluar el comportamiento cuantitativo, se determinaron manualmente los bordes correspondientes a las líneas de carril y a los límites de la carretera de un conjunto de diez imágenes de la colección. Estos bordes fueron obtenidos a partir de la máscara de bordes, M determinada mediante el algoritmo de Canny. La evaluación se llevó a cabo comparando dichos bordes con los proporcionados por el método. Los resultados mostraron una tasa de detección de positivos PR igual al 78,76%, obtenida mediante,

$$PR(\%) = \frac{P}{V} \cdot 100, \quad (13)$$

donde V es el número total de píxeles pertenecientes a bordes de línea de carril y límites de vía y P es el número de píxeles de borde de dichos elementos proporcionado por el método propuesto. Como se ha comentado, esta pérdida de píxeles de los bordes se debe principalmente al método de agrupamiento de bordes basado en la cercanía.

Por otro lado, debido a la dificultad de obtener “manualmente” los puntos de fuga reales de las imágenes adquiridas, la comprobación de estos se realizó por observación, sin aportar datos experimentales. Como se aprecia, el método de detección de dichos puntos es bastante fiable y preciso. Esto lo demuestra el hecho de que en la gran mayoría de los casos, los tres puntos de fuga se sitúan a unas alturas muy similares

de la imagen, describiendo la línea del horizonte real de las escenas.

5 CONCLUSIONES

Se ha presentado un método para detección de los puntos de fuga en imágenes de carretera típicas de los sistemas ADAS. El conocimiento de los puntos de fuga de la escena permite detectar los bordes de la imagen que son candidatos a pertenecer a una línea de carril o a un límite de la vía.

El método propuesto presenta un comportamiento eficiente tanto en la detección de los puntos de fuga como en la de los bordes correspondientes a las líneas de carril y a los límites de la vía. Sin embargo se produce una cierta pérdida de píxeles de los bordes de estos elementos, debida al método de agrupamiento por cercanía empleado.

Como trabajo futuro se abordará en primer lugar el desarrollo de un método de agrupamiento de segmentos de bordes que permita un comportamiento más robusto que el actual. En segundo lugar, nos centraremos en el desarrollo de un método para la verificación de los potenciales bordes de las líneas del carril y de los límites de la vía.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado bajo el patrocinio del Ministerio de Economía y Competitividad. (Proyecto: DPI2012-36959).

Referencias

- [1] Bertozzi, M., (1998) GOLD: a parallel real-time stereo vision system for generic obstacle and lane detection, *IEEE Transactions on Image Processing*, (7), pp. 62-81.
- [2] Beucher, S., Bilodeau, M. (1994), "Road segmentation and obstacle detection by a fast watershed transformation", *in: Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp.*, pp. 296-301.
- [3] Canny, J., (1986) A Computational Approach to Edge Detection, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, (8), pp. 679-698.
- [4] Dickmanns, E.D., (1997), "Vehicles capable of dynamic vision", *in: International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 1577-1592.
- [5] Dickmanns, E.D., Mysliwetz, B.D., (1992) "Recursive 3-D Road and Relative Ego-State Recognition", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 14, pp. 199-213.
- [6] Kluge, K., Thorpe, C., (1992), "Representation and Recovery of Road Geometry in Yarf", *in: Proc. IEEE Symp. Intelligent Vehicles*, pp. 114-119.
- [7] Koseckis, R., Blasi, C.J., Taylor, J., Malik, J., (1998), "A comparative study of vision-based lateral control strategies for autonomous highway driving", *in: IEEE International Conference on Robotics And Automation*
- [8] Kreucher, C., Lakshmanan, S (1999), "LANA: A Lane Extraction Algorithm that uses Frequency", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol 15, pp. 343-350.
- [9] Martín, D., García, F., Musleh, B., Olmeda, D., Peláez, G., Martín, P., Ponz, A., Rodriguez, C., Al-Ka, A., De la Escalera, A., et al. (2014) IVVI 2.0: An intelligent vehicle based on computational perception, *Expert Systems with Applications* 41(17), pp. 7927-7944.
- [10] Pomerleau, D., (1995), "RALPH: Rapidly adapting lateral position handler", *in: Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp.*, Detroit, pp. 506-511.
- [11] Suttorp, T y Bücher, T. (2006) "Robust vanishing point estimation for driver assistance", *in: IEEE Proc. Intelligent Transportation Systems Conference*, pp. 1550-1555.
- [12] Thorpe, C., Hebert, M. H., Kanade, T., Shafer, S.A., (1988), "Vision and navigation for Carnegie-Mellon Navlab", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 10, pp. 506-511.
- [13] Wang, Y., Shen, D., Teoh, E.K., (2000) "Lane Detection Using Spline Model", *Pattern Recognition Letters*, vol. 21, pp. 677-689.
- [14] Yuille, A.L., Coughlan, J.M., (2000), "Fundamental Limits of Bayesian Inference: Order Parameters and Phase Transitions for Road Tracking", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, pp. 160-173.