

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>	

Control reset para maniobra de cambio de carril y validación con CarSim

Miguel Cerdeira, Pablo Falcón, Antonio Barreiro, Emma Delgado, Miguel Díaz-Cacho
 Dpto. Enxeñería de Sistemas e Automática
 Escola de Enxeñería Industrial
 Universidade de Vigo, Galicia, Spain

Resumen

Se estudia la aplicación de control reset a una maniobra de cambio de carril comparándola con una técnica de control lineal convencional. Los resultados obtenidos atestiguan la capacidad de este tipo de control no lineal para superar en rendimiento a los controladores lineales afectados por las limitaciones fundamentales. Se ha comprobado la estabilidad del sistema tanto analíticamente como por simulación con el software de modelado dinámico CarSim.

Palabras clave: Maniobra de cambio de carril, Control reset, Condición H_β , CarSim.

1. INTRODUCCIÓN

Con el advenimiento progresivo de los vehículos autónomos ha surgido la necesidad de automatizar toda una batería de maniobras con el fin de dotar a los vehículos de absoluta funcionalidad para la variedad de situaciones que deben enfrentar. En este artículo se aborda el uso de control reset en una de estas maniobras, la de cambio de carril. Ésta, es una de las estudiadas más concienzudamente como atestiguan los numerosos artículos existentes, por ejemplo, [1], [2], [3], [4] que presentan distintas técnicas de control con el mismo objetivo, realizar el cambio de carril de manera segura y eficiente.

Los controladores reseteados son sencillamente reguladores estándar dotados con un mecanismo que reinicia a cero o a un determinado porcentaje uno o varios estados del controlador, siempre que se cumpla una determinada condición. La primera aplicación que trata el control reset está recogida en el trabajo de J. Clegg [5]. En este trabajo, Clegg demostró las ventajas de este tipo de control comparado con uno lineal. No obstante, a pesar de su utilidad, su estudio fue abandonado hasta los años 70, momento en el que el grupo de investigación de Horowitz lo recuperó [6, 7]. En estos artículos, se resaltó cómo el control reset ayuda a superar las limitaciones fundamentales que afectan a los sistemas lineales [8, 9]. Después de la publicación de estos artículos, el estudio del con-

trol reset fue abandonado hasta los años 90, momento a partir del cuál el número de grupos de investigación interesados en esta materia aumentó considerablemente. Una de las propuestas más interesantes presentadas recientemente es el PI+CI [10] que combina las ventajas del controlador PI con las del integrador de Clegg. En los últimos años, el control reset se ha empleado en diferentes aplicaciones tal y como se muestra en la siguiente monografía [11]. Aparte de las aplicaciones recogidas en [11], existen varios artículos que utilizan esta técnica de control no lineal en diversas aplicaciones vehiculares. En [12] se emplea un controlador reset para la reconfiguración de pelotones de vehículos estudiando como éste ayuda a superar las limitaciones fundamentales. [13] aborda el uso de esta técnica de control para una aplicación de control de crucero adaptativo. Otros ejemplos [14, 15] incluyen el estudio del efecto de control reset sobre un sistema de frenado ABS.

El objetivo de este trabajo es explorar el potencial del control reset en una maniobra de cambio de carril. Para tal propósito, se considera un escenario idealizado y un modelo cinemático sencillo para centrar el estudio en cómo el control reset mejora la maniobra. Para probar la estabilidad de todo el sistema (*controlador reset & planta linealizada*) se emplea una condición conocida como H_β basada en una función de Lyapunov cuadrática que debe ser decreciente en todo el espacio de estados y no incrementar en los instantes de salto [16].

Para la validación del modelo empleado, así como del controlador desarrollado, se recurre al software comercial CarSim desarrollado por Mechanical Simulation Corporation.

Este artículo está organizado de la siguiente manera. En la Sección 2, se presenta el modelo empleado para la maniobra de cambio de carril así como la validación del mismo con CarSim. A continuación, en el apartado 3 se exponen todas las consideraciones utilizadas para el diseño del controlador y se presentan resultados sobre la estabilidad del sistema. Por último, en la sección 4, se muestran los resultados de las simulaciones para finalmente presentar las conclusiones en la sección 5.

Tabla 1: Parámetros del modelo de vehículo

lf	Distancia desde el eje delantero al CM
lr	Distancia desde el eje trasero al CM
y	Posición lateral del vehículo
v_0	Velocidad longitudinal del vehículo
ψ	Guiñada
δ	Ángulo de las ruedas

2. MODELADO Y VALIDACIÓN

2.1. MODELO BICICLETA CINEMÁTICO

Para el modelado de la maniobra del vehículo se ha empleado el modelo bicicleta cinemático, representado en la Fig. 1 y cuyos parámetros están recogidos en la Tabla 1. La descripción detallada del modelo puede ser encontrada en [17]. Se denomina modelo bicicleta ya que se trabaja con la simplificación de que tanto las ruedas delanteras como las traseras están concentradas en el punto medio de cada uno de los dos ejes. Este modelo es adecuado para velocidades pequeñas [18]. Ya que se pretende que el controlador desarrollado trabaje a mayores velocidades, y por los motivos que se dan en el apartado de validación del modelo, habrá que modificar ligeramente el modelo para obtener resultados válidos. Otra simplificación que se ha tenido en cuenta es que al trabajar con ángulos de volante pequeños, puede linealizarse el modelo en torno al punto operativo del controlador. Las ecuaciones del modelo cinemático bicicleta en el espacio de estados pueden verse en (1) en donde y y ψ son los estados, δ es la actuación, Y es la salida que en este caso es igual al estado y y los coeficientes $b_1 = \frac{lf*v_0}{lf+lr}$ y $b_2 = \frac{v_0}{lf+lr}$.

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} \dot{y} \\ \dot{\psi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & v_0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y \\ \psi \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} \delta \\ Y = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y \\ \psi \end{pmatrix} + 0 * \delta \end{cases} \quad (1)$$

A partir de estas ecuaciones se puede obtener que la función de transferencia entre la entrada de actuación (ángulo de las ruedas delanteras) y la salida (posición lateral del centro de masas del vehículo CM) es igual a:

$$G_{teorica}(s) = \frac{y(s)}{\delta(s)} = \frac{b_1 s + v_0 b_2}{s^2} = \frac{lf*v_0}{lf+lr} \frac{s}{s^2} + \frac{v_0^2}{lf+lr} \frac{1}{s^2} \quad (2)$$

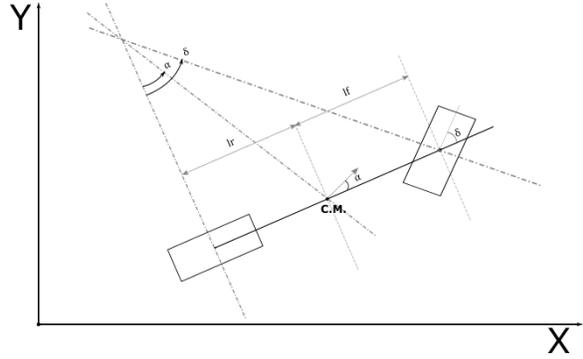


Figura 1: Modelo bicicleta cinemático.

2.2. VALIDACIÓN DEL MODELO CON CARSIM

Para la validación del modelo empleado en este trabajo se utilizó el software de simulación CarSim [19]. Este software es utilizado por numerosos fabricantes (OEMs) y suministradores de componentes del automóvil (Tier 1), universidades y centros de investigación de todo el mundo, siendo un estándar de la industria del automóvil. Existen varios trabajos en donde se puede observar que este software es útil en tareas de validación de modelos [20] y simulación de tráfico rodado [21].

La validación del modelo se ha realizado mediante la comparación del comportamiento del modelo propuesto en (1) frente a la respuesta obtenida del modelo interno de CarSim. El modelo interno que emplea CarSim es un modelo muy complejo que incluye por ejemplo la dinámica del vehículo, numerosas variables internas de los distintos componentes, tiempos de comunicaciones y actuación o el entorno del vehículo. En este caso, se trata de simplificar este complejo modelo en un modelo más sencillo de utilizar en el que se pueda sintonizar un controlador efectivo para la maniobra de cambio de carril. Primeramente es necesario particularizar el modelo propuesto para el coche escogido, en este caso se seleccionó un coche tipo Sedan clase D (ver Fig. 2).

Partiendo de (2), el modelo del Sedan viene dado por las características físicas del coche (lf y lr , ver Tabla 1) y la velocidad de cruce del vehículo v_0 . En este caso los parámetros son: $lf = 1,110m$, $lr = 1,670m$ y $v_0 = 90km/h$ ($25m/s$). Con estos valores, el modelo teórico del vehículo resultante es:

$$G_{teorica}(s) = \frac{9,982s + 224,8}{s^2} \quad (3)$$

Después de analizar varias pruebas, se ha compro-

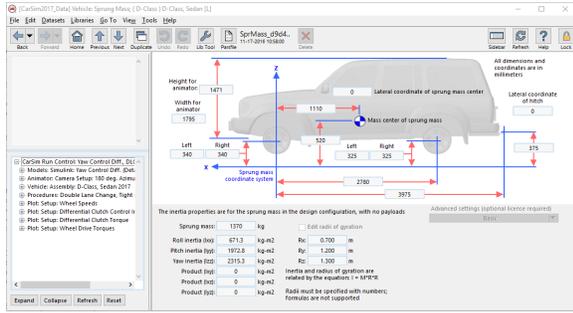


Figura 2: Vista de la pantalla de configuración del vehículo en CarSim.

bado que el modelo de CarSim se puede ajustar al modelo descrito en (1) con la salvedad de que existe un cierto adelanto entre los datos obtenidos con el modelo propuesto y los datos obtenidos directamente con el modelo interno de CarSim. Esto es debido en gran medida a que el modelo cinemático es válido a baja velocidad, mientras que a $v_0 = 90$ km/h aparecen otros efectos dinámicos. Por ello, se debe añadir un atraso en el modelo propuesto para ajustar mejor los datos obtenidos, este atraso puede ser aproximado por un primer orden con una constante de tiempo τ . Entonces el modelo propuesto completo es el descrito en (4).

$$G(s) = \frac{b_1 s + b_2 v_0}{s^2} \times \frac{1}{\tau s + 1} \quad (4)$$

El experimento realizado para la identificación de la planta se muestra en la Fig. 3. Como se puede observar en dicha figura, el experimento se trata de una maniobra controlada de cambio de carril en donde se modifica la consigna de posición lateral del vehículo mediante una entrada tipo escalón. La adquisición de los datos de la planta se realizó entre las señales u e y correspondientes a la entrada y la salida de la planta. Este experimento está basado en señales entrada-salida que se generan en una maniobra típica de cambio de carril. El bloque correspondiente al modelo de CarSim recibe entrada de giro de ruedas en grados y la salida es la posición lateral del centro de masas del vehículo.

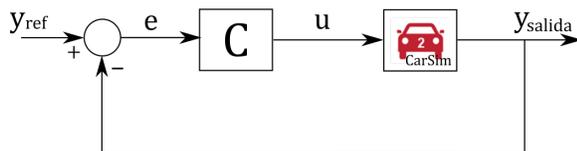


Figura 3: Sistema dispuesto para la identificación.

Se ha identificado la planta mediante el barrido de los parámetros de la función de transferencia sobre

los datos adquiridos en el simulador CarSim. Por las características físicas del vehículo la solución debe tener unos valores semejantes a la función de transferencia teórica. El resultado de la identificación se muestra en (5). El error cuadrático medio de la planta modelada y los datos adquiridos de la planta real es de $7,810 \times 10^{-3}$ metros, por lo que se puede considerar representativo de la planta real.

$$G(s) = \frac{8,3s + 169,8}{0,19s^3 + s^2} \quad (5)$$

O lo que viene a ser, empleando la forma descompuesta en planta más retraso de actuación:

$$G(s) = \frac{8,3s + 169,8}{s^2} \times \frac{1}{0,19s + 1} \quad (6)$$

En la Fig. 4 se observa la correspondencia que existe entre los datos extraídos de la respuesta temporal del modelo identificado y los datos obtenidos del modelo interno de CarSim. Se puede decir que para una velocidad $v_0 = 90$ km/h el modelo identificado es válido para el vehículo escogido y se puede proceder al diseño de un controlador apto para los experimentos con CarSim.

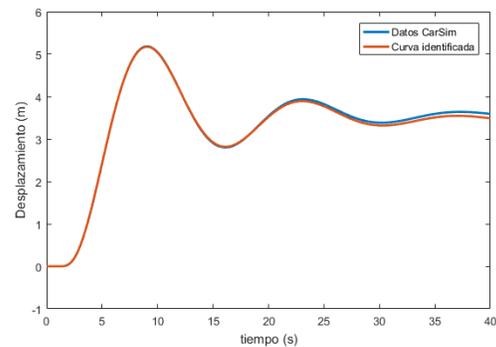


Figura 4: Comparación entre el modelo identificado y el modelo interno de CarSim.

3. CONTROL Y ESTABILIDAD

3.1. CONTROL

Tal como se mencionó en el apartado introductorio, el propósito de este artículo es explorar las ventajas potenciales del control reset en la maniobra de cambio de carril. Un controlador reset, con entrada $e(t)$ y salida $u(t)$, viene dado por (7) donde A_r es una matriz diagonal con unos en los estados que no son reseteados.

$$\begin{cases} \dot{x}_r(t) = A_r x(t) + B_r e(t) & \text{si } e(t) \neq 0 \\ x_r(t^+) = A_\rho x(t) & \text{si } e(t) = 0 \\ u(t) = C_r x_r(t) + D_r e(t) \end{cases} \quad (7)$$

Este tipo de controlador se comporta exactamente igual que un controlador lineal hasta que se da la condición de reinicio, siendo ésta normalmente el cruce por cero de la señal de error. Al controlador lineal al que se le dota del mecanismo de reinicio se le conoce como controlador lineal base. Para explotar el potencial del reinicio al máximo se deben considerar una serie de especificaciones de diseño para el controlador lineal base. Como es obvio, el controlador base debe presentar sobreoscilación para que se dispare el mecanismo de reinicio y su efecto surta efecto. [10] recoge una colección de reglas de sintonía para facilitar la obtención de un controlador reseteado óptimo.

Al contrario que los controladores lineales, los controladores reseteados no están afectados por las llamadas limitaciones lineales fundamentales. Por ejemplo, cuando en bucle abierto, nuestro sistema presenta un integrador, ha quedado probado que independientemente del regulador escogido, la señal de error está restringida por la igualdad $\int_0^\infty e(\tau) d\tau = 1/K_v$ [22], donde K_v es la ganancia de velocidad. La planta (6) para control lateral contiene un doble integrador y otras raíces, con lo que $K_v = \infty$. En este caso, cualquier controlador lineal estará afectado por la siguiente restricción:

$$\int_0^\infty e(\tau) = 0. \quad (8)$$

Los controladores reseteados, al no verse afectados por esta limitación, y, siempre que hayan sido bien sintonizados, proporcionan mejores respuestas que cualquier controlador lineal para los objetivos de diseño fijados. La justificación completa de como un controlador reseteado de idénticas características al empleado en este artículo produce una respuesta con un mejor régimen transitorio puede ser encontrada en [12].

Para el diseño del controlador lineal base, se ha partido del controlador desarrollado en [12] cuya respuesta temporal es idónea para esta aplicación. Para ello hay que aplicar dos adaptaciones. La primera es convertir la planta en $1/s^2$ como en [12]. Dado que el cero y el polo de (6) son bien conocidos, esto se puede conseguir con un bloque de prefiltrado $F(s)$ (9) que cancela dichas raíces, ver Fig. 5.

$$F(s) = \frac{0,19s + 1}{8,3s + 169,8} \quad (9)$$

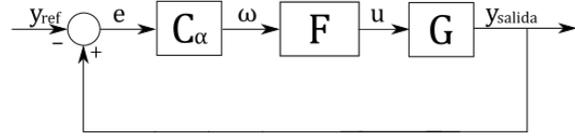


Figura 5: Lazo de control.

Obteniéndose de este modo una planta $P(s) = F(s) * G(s)$ equivalente a $1/s^2$.

La segunda adaptación es incorporar en el controlador de [12] un par de parámetros adicionales k y α , que confieren flexibilidad al diseño.

La función de transferencia de controlador de partida de [12] es (10).

$$C(s) = \frac{2(s + 0,01)}{(s + 0,5)(s + 2)(s + 3)} \quad (10)$$

Y el controlador propuesto es (11).

$$C_\alpha(s) = \frac{k * (\frac{s}{\alpha} + 0,01)}{(\frac{s}{\alpha} + 0,5)(\frac{s}{\alpha} + 2)(\frac{s}{\alpha} + 3)} \quad (11)$$

Primeramente se debe relacionar la sobreoscilación del controlador con la ganancia que se introduce a través del parámetro k , esto es importante para restringir la amplitud máxima de posición lateral del vehículo y que éste no salga de los límites del carril.

En segundo lugar, a través del parámetro α se puede modificar la respuesta temporal del controlador haciendo que los requerimientos de aceleración y jerk máximos no superen las limitaciones de confort. En [23] se establece un límite para aceleración lateral de $0,05g[m/s^2]$ y un límite de jerk lateral de $0,1g[m/s^3]$, siendo g el módulo de la aceleración de la gravedad.

Si se parte de una señal en el dominio de Laplace tal que $D(s)$ que equivale a $d(t)$ en dominio temporal y se aplica el factor $\alpha > 1$ de la forma que la señal sea $D(s/\alpha)$, entonces la respuesta temporal es $d(\alpha t)$, lo que hace que la señal resultante sea α veces más rápida. Al variar el valor de α se acelera ($\alpha > 1$) o ralentiza ($\alpha < 1$) la respuesta temporal del sistema, como se observa en la Fig. 6. Este cambio, al derivar usando la ley de la cadena, modifica la velocidad del sistema por α , la aceleración por α^2 y jerk por α^3 . Lo que permite ajustar el controlador y planta a los límites demandados de aceleración y jerk máximos.

Cabe destacar que la planta $P(s)$ se debe modificar del mismo modo que el controlador C_α siendo la nueva planta del sistema $P_\alpha(s) = 1/(s^2/\alpha^2)$. El coeficiente α^2 será absorbido por el controlador,

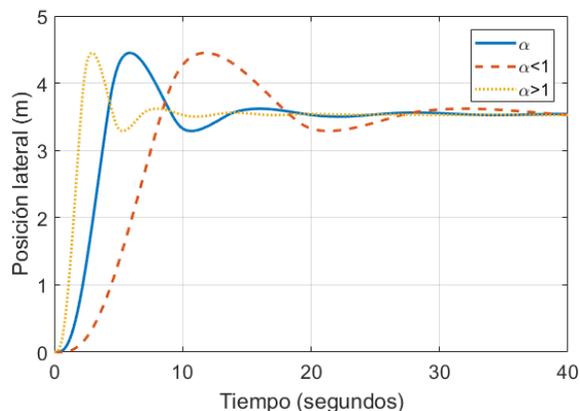


Figura 6: Respuestas obtenidas variando el valor de α

como $P_\alpha = \alpha^2 P$ entonces el controlador real será $C_\alpha \alpha^2$.

En el controlador presentado en [12], solamente uno de los tres estados del controlador era re-seteado. En nuestro controlador modificado, $s = -0,5 * \alpha$ ha sido escogido por ser el más próximo al origen y por tanto, el más lento. Se separa por tanto el elemento $\frac{1}{s/\alpha+0,5}$ y se constituye lo que se conoce como First Order Reset Element (FORE) cuyas ecuaciones pueden verse en (12) siendo ζ la salida del FORE. De esta manera, el controlador puede ser expresado mediante $C_\alpha(s) = C_1(s)C_2(s)$ donde $C_1(s)$ es la función de transferencia del FORE, parte no lineal, y $C_2(s)$ es la función de transferencia de la parte lineal.

$$\begin{cases} \dot{\zeta}(t) = -0,5\alpha\zeta(t) + \alpha e(t) & \text{si } e \neq 0 \\ \zeta(t^+) = 0 & \text{si } e = 0 \end{cases} \quad (12)$$

En la Fig. 7 puede apreciarse cómo el FORE ha sido emplazado antes de la parte lineal para evitar que la salida del controlador sea directamente la salida del FORE y conseguir de esta manera que la salida final del controlador no presente saltos.

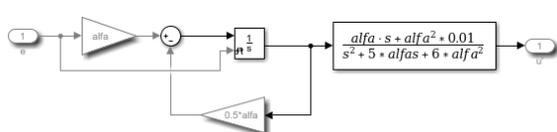


Figura 7: Controlador propuesto.

El controlador propuesto (11) adaptado con los parámetros $k = 1,3$ y $\alpha = 0,645$ proporciona la respuesta temporal mostrada en las Fig. 8, 9 y 10 de posición, aceleración y jerk respectivamente. Como se puede ver, los límites de aceleración y jerk laterales se cumplen para el sistema formado por

el controlador ajustado C_α y la planta P_α pero no así para el sistema formado por el controlador de partida $C(s)$ y la planta $P(s)$.

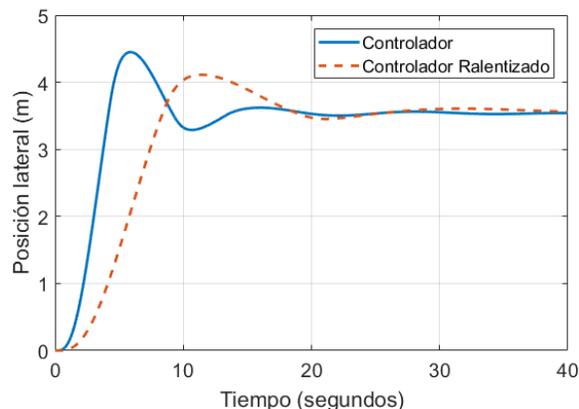


Figura 8: Comparativa de la posición lateral.

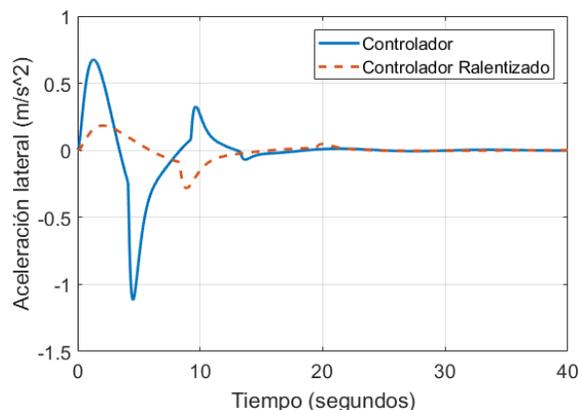


Figura 9: Comparativa de la aceleración lateral.

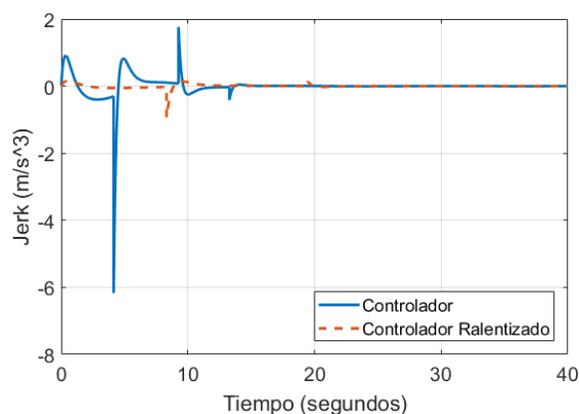


Figura 10: Comparativa de jerk lateral.

3.2. ESTABILIDAD

Para probar la estabilidad del sistema se ha empleado una condición conocida como H_β definida

para los sistemas con control reset. Así como fue presentado en la introducción, esta condición está basada en una función de Lyapunov cuadrática que debe ser decreciente en todo el espacio de estados conjuntamente con las trayectorias del sistema y no incrementar en los instantes de salto [16]. Se trata de una herramienta que permite comprobar la estabilidad fácilmente mediante el uso de LMIs o directamente a través de gráficas frecuenciales. Se ha optado en este artículo por el segundo método.

Para comprobar la condición H_β se considera un sistema de control en lazo cerrado de estado $x = (x_p^\top, x_r^\top)^\top$ de dimensión $n = n_p + n_r$, dado por:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax & \text{si } e = C_p x_p \neq 0 \\ x_r(t^+) = 0 & \text{si } e = C_p x_p = 0 \end{cases}$$

Siendo la respuesta frecuencial $H_\beta(j\omega)$ ($n_r \times n_r$)

$$H_\beta(j\omega) = H(j\omega I - A)^{-1} B \quad (13)$$

donde $H(n_r \times n)$ vale:

$$H = (\beta C_p, P_3) \quad (14)$$

y donde $B(n \times n_r)$ es:

$$B = (0, I_{n_r})^\top \quad (15)$$

Entonces se prueba ([11], [16]) que el sistema de control es asintóticamente estable si $H_\beta(j\omega)$ es SPR (positiva real estricta).

En la Fig. 11 se ve como para $\beta = 0,5$ se satisface H_β , es decir, para cualquier frecuencia se cumple que la parte real de los autovalores de la matriz $H(j\omega)$, que en este caso es escalar, siempre es positiva. Del cumplimiento de la condición se deduce que el sistema es cuadráticamente estable. Al mismo resultado se puede llegar por inspección directa del diagrama de Nyquist para $\beta = 0,5$ (ver Fig. 12) ya que de ella se desprende que $H_\beta(j\omega)$ es estrictamente positiva.

4. VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS CON CARSIM

La validación del controlador de cambio de carril se realiza con el sistema planteado en la Fig. 5 mediante simulación sustituyendo el bloque $G(s)$ por el bloque de CarSim, ya mostrado en la Fig. 3.

Se ha planteado un experimento donde se dispone un vehículo tipo Sedan sobre una carretera en línea recta a una velocidad constante de 90 km/h,

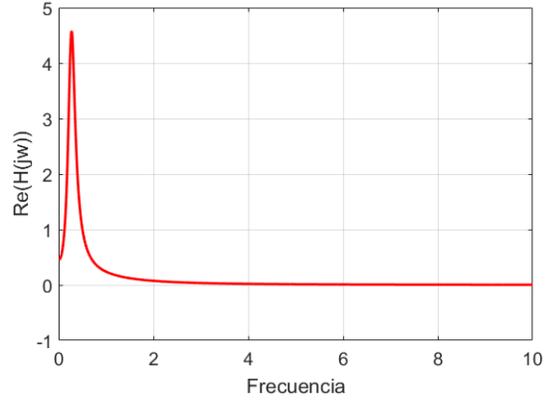


Figura 11: $Re(H_\beta(j\omega))$ vs ω para $\beta = 0,5$

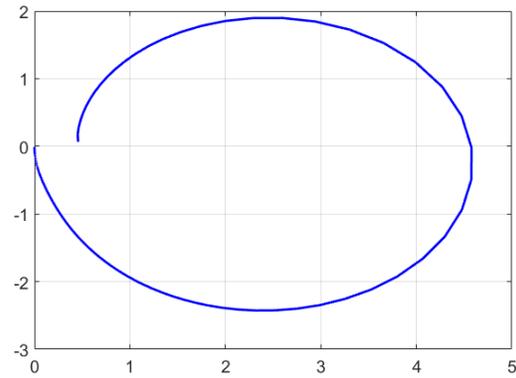


Figura 12: Nyquist de $H_\beta(j\omega)$ para $\beta = 0,5$

y se aplica en $t = 1s$ un cambio de consigna tipo escalón de 3.5 metros que hace que el vehículo se desplace lateralmente y cambie de carril.

En el experimento se prueba la valía del control reset para la maniobra de cambio de carril en carretera directamente sobre CarSim. El controlador reseteado diseñado permite obtener mejores resultados frente a un controlador lineal convencional como se puede apreciar en la Fig. 13. Se muestra como el controlador reseteado es claramente mejor que el controlador lineal base. La clave de la propuesta es que también es mejor que cualquier otro controlador lineal, sometido a la limitación (8), para ciertos objetivos de diseño. Estos objetivos se detallan en [12], que combinan una fase de subida suave, sobreoscilación baja y establecimiento rápido, y solo son alcanzables con la estrategia de reset. Esta estrategia de control logra realizar el cambio de carril rápidamente evitando la sobreoscilación que se produce en el caso del controlador lineal. Además, las señales de actuación provenientes de los controladores no tienen valores excesivamente exigentes por lo que es perfectamente aplicable sobre el vehículo.

En las Fig. 15 y 16 se pueden comprobar los límites de confort de la aceleración lateral y el *jerk*

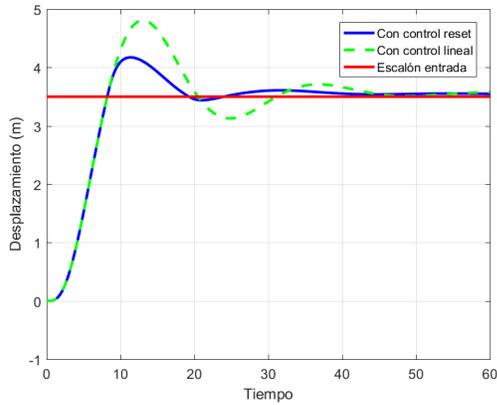


Figura 13: Respuesta del vehículo ante entrada escalón de 3.5 metros de desplazamiento lateral.

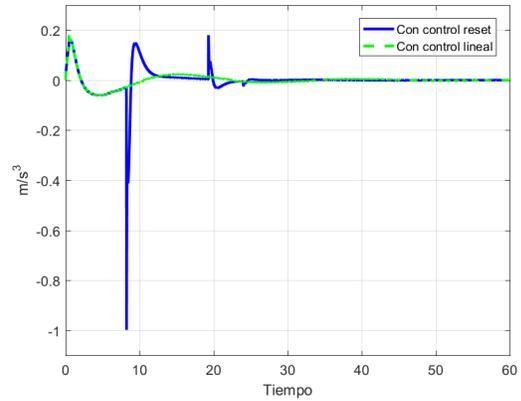


Figura 16: Componente Y (lateral) del jerk del centro de masas del vehículo.

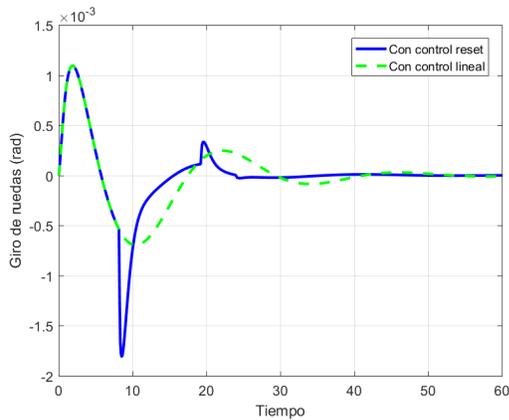


Figura 14: Señales de control aplicadas sobre el bloque CarSim, ángulo de ruedas en radianes.

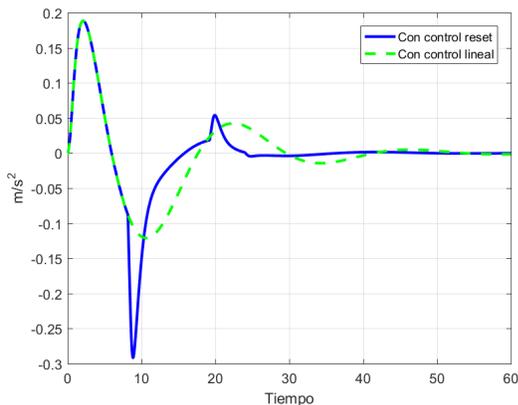


Figura 15: Componente Y (lateral) de la aceleración del centro de masas del vehículo.

respectivamente. Como se detalla en [23] y en el apartado 3.1, los valores obtenidos para la maniobra de cambio de carril no superan los valores límite en ninguno de los dos casos.

5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

El objetivo de este trabajo ha sido explorar el potencial del control reset para una maniobra de cambio de carril comparando su rendimiento con el de un controlador lineal. Para hacer esto, se ha empleado un modelo sencillo para la sintonización del controlador. Se ha podido concluir que la aplicación del control reset permite obtener un regulador con mejor respuesta en régimen transitorio que el lineal y que igualmente presenta estabilidad robusta, siempre respetando los límites de confort para los ocupantes. CarSim ha sido utilizado tanto para la validación del modelo como para la del controlador y de su uso se desprende que el vehículo responde bien ante saltos en la señal de actuación (instantes de reinicio) y que por tanto, sería implementable en un vehículo real.

En cuanto a las líneas futuras se tratará de trabajar sobre el modelo dinámico del coche, ya que el modelo cinemático es válido a bajas velocidades y debe ser estimado para cada velocidad de funcionamiento. Otra modificación será añadir la actuación directamente sobre el volante de dirección del vehículo, lo que hará más realista la aplicación con la introducción de los correspondientes retardos de actuación del propio vehículo.

Agradecimientos

Este trabajo está financiado por MINECO, España, proyectos DPI2013-47100-C2-2-P y DPI2016-79278-C2-2-R y fondos FEDER.

Referencias

[1] Ni, L., Gupta, A., Falcone, P., Johansson, L. (2016). Vehicle Lateral Motion Con-

- trol with Performance and Safety Guarantees. *IFAC-PapersOnLine*, 49(11), 285-290.
- [2] Naranjo, J. E., Gonzalez, C., Garcia, R., De Pedro, T. (2008). Lane-change fuzzy control in autonomous vehicles for the overtaking maneuver. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 9(3), 438-450.
- [3] Hatipoglu, C., Ozguner, U., Redmill, K. A. (2003). Automated lane change controller design. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 4(1), 13-22.
- [4] Hahn, S., Zindler, K., Jumar, U. (2016). Two-Degrees-of-Freedom Lateral Vehicle Control using Nonlinear Model Based Disturbance Compensation. *IFAC-PapersOnLine*, 49(11), 182-189.
- [5] Clegg, J. C. (1958). A nonlinear integrator for servomechanisms. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Part II: Applications and Industry*, 77(1), 41-42.
- [6] Horowitz, I. (1982). Quantitative feedback theory. In *IEE Proceedings D-Control Theory and Applications* (Vol. 129, No. 6, pp. 215-226). IET.
- [7] Horowitz, I., Rosenbaum, P. (1975). Nonlinear design for cost of feedback reduction in systems with large parameter uncertainty. *International Journal of Control*, 21(6), 977-1001.
- [8] Seron, M. M., Braslavsky, J. H., Goodwin, G. C. (2012). *Fundamental limitations in filtering and control*. Springer Science and Business Media.
- [9] Åström, K. J. (2000). Limitations on control system performance. *European Journal of Control*, 6(1), 2-20.
- [10] Baños, A., Vidal, A. (2007, June). Design of PI+ CI Reset Compensators for second order plants. In *Industrial Electronics, 2007. ISIE 2007. IEEE International Symposium on* (pp. 118-123). IEEE.
- [11] Baños, A., Barreiro, A. (2011). *Reset control systems*. Springer Science and Business Media.
- [12] Costas, A., Cerdeira-Corujo, M., Barreiro, A., Delgado, E., Baños, A. (2016, September). Car platooning reconfiguration applying reset control techniques. In *Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2016 IEEE 21st International Conference on* (pp. 1-8). IEEE.
- [13] Costas, A., Cerdeira-Corujo, M., Barreiro, A., Delgado, E., Baños, A. (2016). Control basado en Reset para seguimiento de consigna en el sistema de Control de Crucero Adaptativo. *Jornadas de Automática*.
- [14] Cerdeira-Corujo, M., Costas, A., Delgado, E., Barreiro, A., Baños, A. (2016). Gain-scheduled wheel slip reset control in automotive brake systems. In *Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM), 2016 International Symposium on* (pp. 1255-1260). IEEE.
- [15] Cerdeira-Corujo, M., Costas, A., Delgado, E., Barreiro, A. (2017). Comparative Analysis of Gain-Scheduled Wheel Slip Reset Controllers with Different Reset Strategies in Automotive Brake Systems. In *CONTROL 2016* (pp. 751-761). Springer International Publishing.
- [16] Beker, O. (2001). *Analysis of reset control systems*. Ph.D. thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Massachusetts, Amherst, MA.
- [17] Åström, K. J., Murray, R. M. (2010). *Feedback systems: an introduction for scientists and engineers*. Princeton university press.
- [18] Rajamani, R. (2011). *Vehicle dynamics and control*. Springer Science and Business Media.
- [19] CarSim. Mechanical Simulation Corporation. Descripción general, <http://carsim.com/products/carsim/index.php>, 2017.
- [20] Kinjawadekar, T., Dixit, N., Heydinger, G. J., Guenther, D. A., Salaani, M. K. (2009). Vehicle dynamics modeling and validation of the 2003 Ford Expedition with ESC using CarSim (No. 2009-01-0452). *SAE Technical Paper*.
- [21] Benekohal, R. F., Treiterer, J. (1988). CAR-SIM: Car-following model for simulation of traffic in normal and stop-and-go conditions. *Transportation research record*, (1194).
- [22] Freudenberg, J. S., Middleton, R. H., Braslavsky, J. H. (1995). Inherent design limitations for linear sampled-data feedback systems. *International Journal of Control*, 61(6), 1387-1421
- [23] Chee, W., Tomizuka, M. (1994, June). Lane change maneuver of automobiles for the intelligent vehicle and highway system (IVHS). In *American Control Conference, 1994* (Vol. 3, pp. 3586-3587). IEEE.