

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. Zamarrreño, 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 Rodríguez-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, Dario Orive, Isabel Sarachaga and Marga Marcos</i>	
Estudio e implementación de Middleware para aplicaciones de control distribuido	942
<i>Jose Simo, Jose-Luis Poza-Lujan, Juan-Luis Posadas-Yaguë and Francisco Blanes</i>	

Visión por Computador

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

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

COOPERATIVISMO BIOINSPIRADO BASADO EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS HORMIGAS

Kristel Solange Novoa Roldan
ksnovoar@udistrital.edu.co
Brayan Andrés Bermúdez Bucurú
babermudezb@correo.udistrital.edu.co
Miguel Ángel Valbuena Nuñez
mavalbuenan@correo.udistrital.edu.co

Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá D.C, Colombia.

Resumen:

La recolección de comida por parte de las hormigas es una labor que requiere un trabajo cooperativo de todas las que conforman la colonia. Con base en esto, se emula el comportamiento de estas aplicado en la robótica cooperativa. Esto se logró a partir de la construcción de dos plataformas móviles capaces de tener este tipo de comportamiento de dos de las partes importantes de las colonias de hormigas. Estas dos plataformas se mueven en un entorno controlado y conocido para ellas; La plataforma uno “buscadora” es la encargada de rastrear todo el entorno controlado en busca de “alimento” y de transmitirle la posición exacta a la plataforma dos “recolectora” para que esta vaya directamente a recolectarlo. En este artículo se muestra el desarrollo de un sistema conformado por dos plataformas robóticas elaboradas con piezas del kit Lego y sensores, dando a conocer el trabajo autónomo entre ellas. Este proyecto se centra en una de las líneas de investigación del grupo en Robótica Móvil Autónoma – ROMA – de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica.

Palabras Clave: Comunicación inalámbrica, Plataforma, Sistema cooperativo, sistema sensorico.

1. INTRODUCCIÓN:

La recolección de comida por parte de las hormigas es un sistema eficaz y organizado que se ve todos los días en la naturaleza. Se emulo este tipo de trabajo cooperativo por medio de dos plataformas móviles, desarrolladas a partir de una tarjeta de desarrollo PSoC, sensores de reflectancia, módulos puente H, módulos step down. Implementando una comunicación inalámbrica Bluetooth entre ellas para los datos de posición. En un futuro se espera poder implementar este tipo de búsqueda como ayuda a los cuerpos de rescate en una zona colapsada. Estas dos plataformas se construyeron con piezas del kit de robótica LEGO® MINDSTORMS 2.0, con una estructura diseñada por medio de manuales y guías

para la construcción de diversas plataformas con este kit.

2. Metodología:

Se implementaron dos plataformas móviles en un entorno controlado y conocido, para el trabajo en equipo en la búsqueda y recolección de objetos.

En este proyecto un microcontrolador PSoC de 32 bits con un procesador ARM cortex el cual reemplaza el ladrillo inteligente del kit LEGO® MINDSTORMS 2.0, se implementó en las dos plataformas para lograr un buen control sobre estas. La plataforma uno, Buscadora, explora completamente el entorno controlado, cuando esta detecta un obstáculo comida mediante el sensor de contacto, se encarga de enviar los datos de posición (ejes coordenados) a través del módulo bluetooth a la plataforma dos, Recolectora, la cual se dirige directamente al punto coordenado, recoge la comida y se devuelve a su punto de inicio, quedando lista para cuando la plataforma uno buscadora le envíe nuevamente la información de más comida encontrada.

En la Figura [1] se observa el diagrama de bloques implementado en la plataforma uno Buscadora, donde se puede analizar que cuando el microcontrolador toma la lectura de los sensores este habilita los actuadores o la comunicación según la lectura tomada.



Figura [1]: Diagrama de bloques plataforma Buscadora .

La Figura [2] también muestra el diagrama de bloques implementado en la plataforma dos Recolectora y como esta hace todas sus labores a

partir de la lectura de los sensores por parte del microcontrolador, quien es el que habilita los actuadores.



Figura [2]: Diagrama de bloques plataforma recolectora.

2.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

2.1.1 Construcción de la estructura:

El montaje de las estructuras se realizó a partir de los manuales de LEGO de donde se obtienen los dos modelos óptimos para las estructuras, teniendo en cuenta que en ellas se ubican los sensores de contacto, los sensores de línea, los módulos puente H, módulos step down y comunicación inalámbrica, estos se pueden observar en la figura [3] y figura [5] donde se muestra la estructura de las dos plataformas describiendo cada una de sus partes. También se puede notar que la plataforma dos recolectora tiene una característica especial la cual es su brazo recolector (ver figura [5]) el cual se describirá más adelante. De aquí el primer resultado obtenido.

2.1.2 Fuente de Voltaje:

Con la plataforma se procedió a implementar los diferentes voltajes necesarios para alimentar todos los módulos y circuitos que están en el robot, llegando a la conclusión de que fueron necesarios tres voltajes diferentes.

La fuente principal es una batería de alta descarga con tecnología Ion Polímero Litio de tres celdas y un suministro de corriente de 1.5 A adecuada para este proyecto dado su calidad y capacidad.

A partir de aquí es necesario obtener los tres voltajes: 3.3V para toda la lógica y circuitos lógicos como los sensores de línea, sensores de contacto y módulos bluetooth. 9V necesarios para alimentar la tarjeta de desarrollo PSoC y un voltaje variable necesario para la alimentación de los drivers de los motores para calibrar la velocidad de avance de las plataformas.

Fueron necesarios tres módulos Step Down para cada plataforma (ver figura [3] y figura [5]) de las siguientes características: Es una fuente basada en el regulador LM2596, salida entre 1,5V y 35VDC y capacidad de corriente hasta de 3A, óptima para obtener los tres voltajes necesarios para el desarrollo de las plataformas.

2.2 RESULTADOS

2.2.1 Plataforma uno "Buscadora"

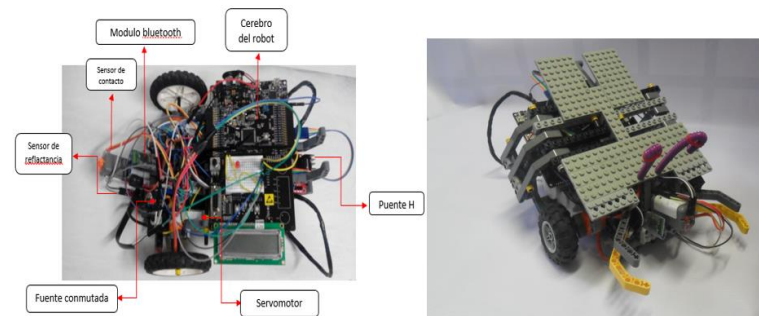


Figura [3]. Plataforma uno Buscadora

En la figura [3] se observa el primer resultado obtenido, el cual es la plataforma uno buscadora con cada una de sus partes y todos los módulos acoplados, se ven dos fotos debido a que después de ponerle la carcasa no se quedan visibles los módulos y por esto fue necesario tener dos imágenes una sin carcasa y una con carcasa para poder visualizar las partes de la plataforma. Para dar inicio a trabajar en la búsqueda de obstáculos comida, esta plataforma consta de tres sensores de reflectancia, tres módulos step down y a continuación en la tabla [1] se describe la composición general de esta.

La figura [4] describe la programación utilizada para el buen funcionamiento de la plataforma uno buscadora. Da inicio a recorrer el entorno, si encontró obstáculo recolecta los datos y los envía a la plataforma dos recolectora, luego del envío de datos y de saber que la plataforma dos recolectora está en su punto de inicio continúa recorriendo el entorno hasta terminar el recorrido en caso de que no encuentre obstáculos sigue su recorrido hasta terminar de explorar el entorno.

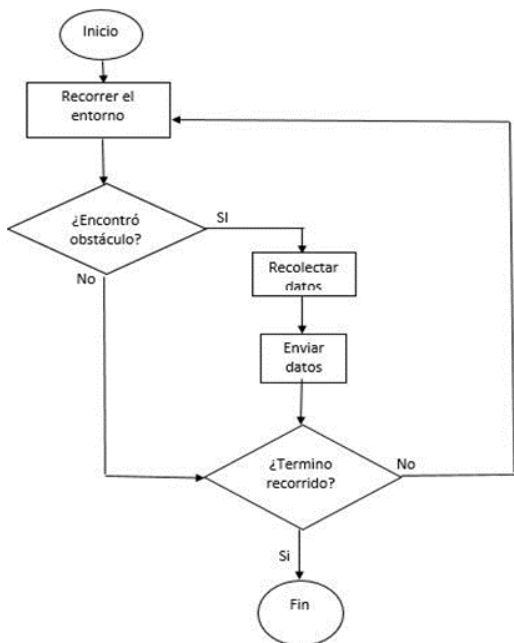


Figura [4]: diagrama de flujo del robot buscador de obstáculos

Plataforma uno “Buscadora”	
Peso	460g
Ancho	27 cm
Largo	35cm
Alto	23cm
Capacidad de giro	360°
Tracción	2 Ruedas
Servomotores	2 Tipo LEGO
Sensores de contacto	1 Tipo LEGO
Sensores de reflectancia	3 QRT1RC
Microcontrolador	PSoC 5 LP
Módulos puente H	1 L293D
Módulos Bluetooth	1 HC-05
Fuentes Conmutadas	3 LM2596
Voltaje de operación	12V
Consumo máximo de corriente	1.5 ^a

Tabla [1]. Características de la plataforma uno buscadora

2.2.2 Plataforma dos “Recolectora”

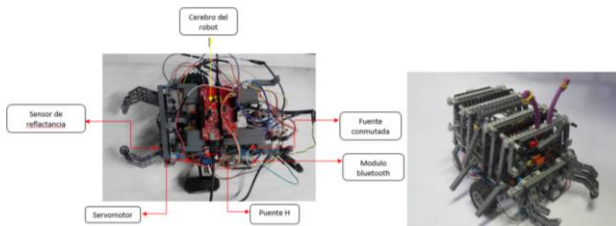


Figura [5]. Plataforma dos Recolectora .

En la figura [5] se puede observar la estructura resultante de la plataforma dos recolectora , estas dos fotos de la plataforma se hicieron con el fin de poder mostrar un poco algunas de sus partes ya que la plataforma resultante no nos deja notar los módulos que esta utiliza. La figura [5] nos muestra cada una de sus partes, su característica especial, la cual es la pinza que le permite recolectar los obstáculos comida , también se pueden notar las conexiones de todos los módulos y sensores que van directamente al microcontrolador. Esta plataforma consta de tres sensores de reflectancia, tres módulos step down y sus partes varias que a continuación en la tabla [2] se da una descripción de la composición general de la plataforma dos recolectora .

En la figura [6] se describe la programación utilizada en la plataforma dos recolectora para su buen funcionamiento, esta plataforma inicia en modo de espera hasta recibir los datos, si esta recibe los datos se dirige a recojer el obstaculo y cuando llega ahí simplemente lo recoje y se devuelve a su punto de inicio para esperar el recibimiento de más datos.

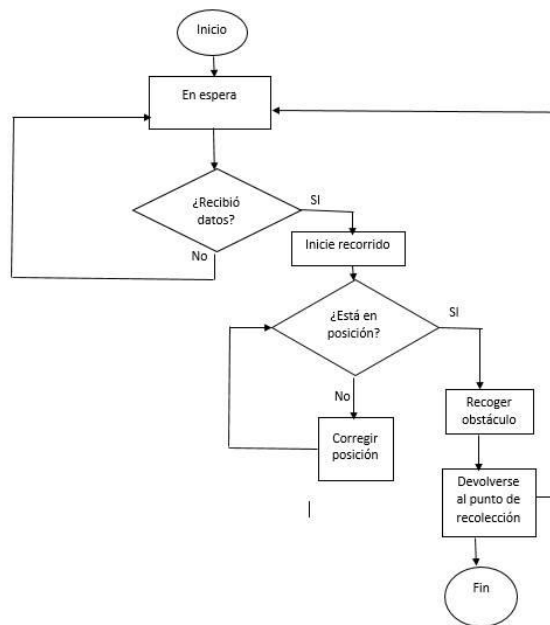


Figura [6]: diagrama de flujo del robot recolector de obstáculos.

Plataforma dos Buscadora	
Peso	490g
Ancho	27cm
Largo	25cm
Alto	19cm
Capacidad de giro	360°
Tracción	2 Ruedas
Sistema de recolección	Pinza mecánica
Distancia de apertura	12cm

máxima de la pinza	
Altura pinza recolectora	4cm
Servomotores	2 Tipo LEGO
Sensores de contacto	No
Sensores de reflectancia	3 QRT1RC
Microcontrolador	PSoC 4
Módulos puente H	2 L293D
Módulos Bluetooth	1 HC-05
Fuentes Conmutadas	3 LM2596
Voltaje de operación	12V
Consumo máximo de corriente	1.5 ^a

Tabla [2]. Características de la plataforma recolectora.

2.2.3 Entorno controlado:

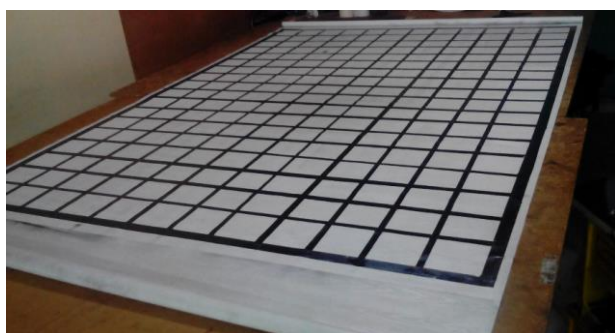


Figura [7]. Entorno Controlado.

El entorno controlado está hecho matricialmente, en donde se ubican 18 columnas y doce filas, esto se puede ver en la figura [7], estas son las marcas de posición, dispuesto de esta manera para que el robot navegue por medio de cada marca de posición, estas líneas hechas en color negro ya que este color absorbe toda la luz y hace que el sensor de reflectancia no detecte reflejo de la luz incidente, esto con el fin de que las dos plataformas conozcan su posición en cualquier momento por medio de ejes coordenados. Todas las dimensiones del entorno controlado y su composición general se pueden ver en la Tabla [3].

Largo	2 m
Ancho	1.5 m
Cantidad de espacios a lo largo	18
Cantidad de espacios a lo ancho	12

Color predominante	Blanco
Color de las líneas	Negro
Grosor de las líneas	2 cm
Tamaño de los espacios	9 cm * 11cm

Tabla [3]. Características del entorno.

2.2.4 Sensor de contacto:

Teniendo ya los voltajes se procede a configurar el sensor de contacto el cual es obtenido del kit LEGO, este funciona como un pulsador de dos estados (ON/OFF), entonces se conecta a el voltaje lógico (3.3V) y a continuación a la tarjeta de desarrollo, de esta manera se observan los dos estados del pulsador como dos voltajes uno lógico y cero lógico.

2.2.5 Sensor de reflectancia (línea):

Los sensores de línea se usaron de dos maneras diferentes. Como el entorno controlado está diseñado matricialmente con sus líneas guías como se ve en la figura [5], es necesario que el robot pueda seguir las guías y hacer los giros correspondientes en donde la rutina de programación así lo indique, para esto se equipa cada robot con tres sensores de línea diferentes, dos ubicados al frente del robot dispuestos para seguir las líneas guías, y otro ubicado en un lado del robot dispuesto para detectar las marcas del entorno que significan el cambio de posición en la matriz entorno necesario para el reconocimiento de posición.

2.2.5 Módulo Bluetooth:

El módulo que se ve en Figura [8] proporciona la comunicación inalámbrica para el envío de los datos de posición, se ubicó un HC - 05 (Módulo) en un lugar aleatorio de la plataforma, este módulo convierte del protocolo RS232 a Bluetooth directamente, previo a esto es necesario configurar uno de los módulos como maestro y configurar el otro como esclavo, luego de esto al encenderlos los dos se vinculan automáticamente. Para hacer uso de estos módulos se implementa una comunicación serial común y corriente en la tarjeta de desarrollo, como los módulos ya están vinculados esto proporcionará el medio de transmisión para la comunicación serial.



Figura [8]. HC-05 Módulo Bluetooth.

2.2.6 Pinza recolectora:

La plataforma dos recolectora posee una pinza que se ve en la figura [9]. Esta pinza abre y cierra de una forma muy efectiva para poder recoger los obstáculos en el entorno sin ningún problema. La construcción se hizo partiendo de diseños ya hechos por LEGO para esta misma pinza.

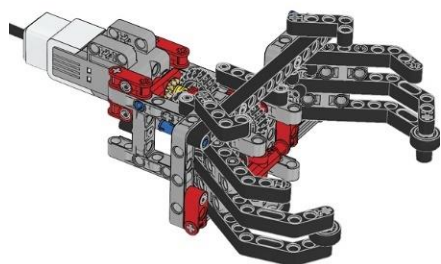


Figura [9]: servomotor para implementar el brazo robótico [3]

2.2.7 Obstáculo “Comida”:

El obstáculo que está en la Figura [10], es el objeto que reemplaza la comida en este proyecto, tuvo como diseño inicial un cubo que fue hecho a partir de piezas del kit lego mindstorms con las dimensiones necesarias para que la pinza del robot recolector fuera capaz de recogerla.

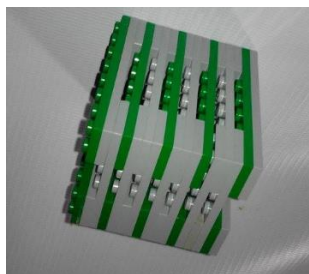


Figura [10]. Primer obstáculo implementado.

Este obstáculo generó errores debido a que su peso afectaba de manera considerable a la plataforma dos recolectora lo que hacía que los sensores de reflectancia quedaran sobre el piso anulando sus lecturas. Por esto y como medida final se optó por hacer este mismo diseño de obstáculo sobre Poliestireno expandido (icopor) figura [11], material que por su ligero peso no afectaba ninguna de las mediciones de los sensores de reflectancia. Quedando como diseño final de obstáculo.

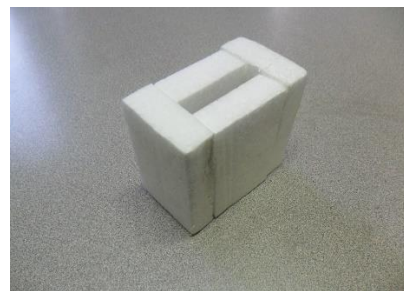


Figura [11]. Diseño de obstáculo final

2.2.8 Exploración plataforma uno “buscadora” y plataforma dos “recolectora”

El algoritmo implementado para la navegación en el entorno de la plataforma buscadora se describe a continuación .

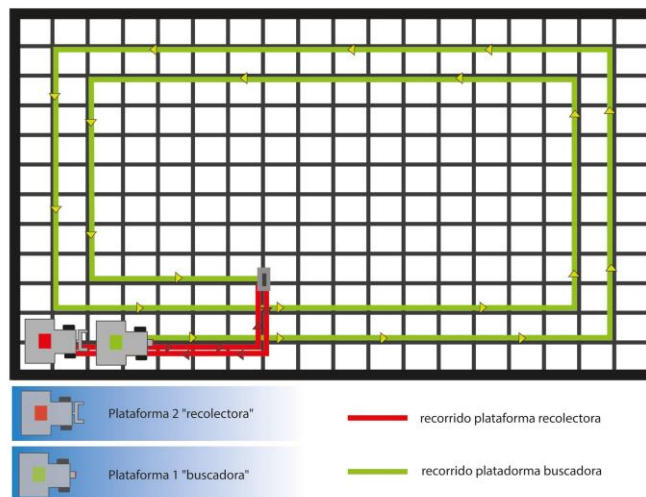


Figura [12]. Recorrido de las dos plataformas

Como se ve en la figura 12 la plataforma uno recolectora empieza a recorrer el entorno controlado y va llevando la cuenta de donde está, cuando llega al valor máximo de la coordenada X que es 17, gira 90 grados a la izquierda después cuenta el valor máximo de la coordenada Y que es 12 vuelve y gira 90 grados a la izquierda, antes de finalizar la primera vuelta le resta 1 a cada eje y con esto cada vez que da una vuelta este se va dirigiendo hacia el centro del entorno hasta llegar a la última coordenada y con esto se dice que ha recorrido todo el entorno. Al encontrar un obstáculo la plataforma uno buscadora envía los datos de posición a la plataforma dos recolectora y esta realiza un recorrido directamente al obstáculo, lo recoge y se devuelve por el mismo camino que avanzó mientras la plataforma uno buscadora espera, cuando la plataforma dos recolectora llega a su posición de inicio, suelta el obstáculo y avisa a la otra plataforma que ya puede continuar realizando el recorrido.

3. PRUEBAS

3.1 PRUEBA DE DISTANCIA DEL SENSOR DE REFLECTANCIA

Fue necesario ubicar los sensores de reflectancia a diferentes distancias las cuales están especificadas en la tabla [4], cuando se indica sin respuesta esto quiere decir que el sensor a enviando un cero lógico y cuando es Respuesta positiva es cuando el sensor a enviando un uno lógico. Estas lecturas las hace la tarjeta de desarrollo y con el uno lógico esta habilita el algoritmo para que el robot se pueda desplazar sobre la línea del entorno.

Distancia	Respuesta sensor
0 – 2 mm	Sin respuesta
3 – 6 mm	Respuesta positiva
> 6 mm	Sin respuesta

Tabla [4]. Respuesta del sensor de reflectancia frente a la distancia.

3.2 PRUEBA DE VELOCIDAD DE SERVOMOTORES

Cuando se comenzó a desplazar la plataforma buscadora en el entorno y se notó que la velocidad de desplazamiento de la plataforma afecto tanto el recorrido como la fidelidad de las mediciones de los sensores de reflectancia (sensores alimentados a 5v en todos los valores de voltaje suministrado a los servomotores) se empezó a utilizar diferentes voltajes para ir notando los cambios en el desplazamiento de la plataforma buscadora. Se puede notar que en la tabla [3] se plantean cuatro valores de voltajes diferentes; cuando se conectan los servomotores a 3.3v la velocidad del desplazamiento es 25% de su velocidad máxima, pero la medición por parte de los sensores es un 100% debido a que si la plataforma se desplaza a esa velocidad el sensor podrá contar mucho mejor.

Cuando se conectan los servomotores a 6 voltios estos aumentan su velocidad de desplazamiento a 45% de su velocidad máxima y la medición de los sensores se ve afectada en un 20% debido a que si la plataforma va más rápido menos tiempo tiene el sensor para generar mediciones.

Al conectar el motor a 9v el aumento en su velocidad es de 70% de su velocidad máxima y a esta velocidad ya los sensores se ven afectados en un 65% al momento de tomar mediciones. Ya el último valor de voltaje fue de 12v y en este punto el motor alcanza su máxima velocidad afectando en un 98% la medición de los sensores.

Voltaje	Velocidad	Calidad de las mediciones
3.3V	Baja	La mejor
6V	Media	Buena
9V	Alta	Regular
12	Máxima	Mala

Tabla [5]. Fidelidad de las mediciones con respecto a la velocidad del robot.

3.2 PRUEBA DE TRANSMISIÓN DE DATOS Y CORRECCIÓN DE ERRORES

En la figura [13] se observa la plataforma dos recolectora dirigirse al obstáculo según los datos recibidos por la plataforma uno buscadora, en esta prueba se observó que la plataforma dos recolectora iba un eje coordenado con un error de más uno de donde se encontraba el obstáculo, para esto se hizo la prueba de funcionamiento del proyecto completo, en donde se colocó un obstáculo y se observó que al momento que la plataforma uno buscadora le enviaba datos a la plataforma dos recolectora, esta se los enviaba con un margen de error de un eje coordenado de mas, lo que hacía que la plataforma dos recolectora avanzara un eje de más en el entorno y esta no lograra llegar al obstáculo.



Figura [13]. Error en los datos.

Se llega a la conclusión que este error está dado por la posición del sensor contador de marca presente en el robot buscador y también se logra deducir que el error tiene un patrón, este patrón viene dado por el recorrido que lleva la plataforma buscadora y en conclusión se llega a la siguiente tabla, en donde se relaciona el error con el sentido del recorrido que

lleva la plataforma buscadora al encontrar el obstáculo.

Sentido del recorrido encontrar obstáculo	del al el	Corrección de error
Recorrido en negativos.	X	Sumar una unidad a la coordenada X. Coordenada Y sin cambios.
Recorrido en negativos	Y	Coordenada X sin cambios. Coordenada Y sin cambios.
Recorrido en positivos	X	Restar una unidad a la coordenada X.
Recorrido en positivos	Y	Restar una unidad a la coordenada Y.

Tabla [7]. Corrección de errores de recolección.

Una vez hechos estos ajustes luego de recibir los datos se observa que la plataforma recolectora recoge correctamente el obstáculo puesto en el entorno.

4. CONCLUSIONES

- Al diseñar una estructura provisional de la plataforma se tuvo la experiencia que para que el desplazamiento de la plataforma fuera en línea recta se tenía que trabajar con un centro de gravedad en la estructura (distribución balanceada de la estructura) y para esto se procedió a hacer el acople del brazo robótico a la estructura; el cual le permitió al robot recoger los obstáculos encontrados en el entorno controlado. También nos encontramos que el diseño de la estructura tenía que ser resistente debido al tamaño de la tarjeta de desarrollo (cerebro del robot) y los diversos módulos que le permitieron el total funcionamiento al robot.
- Después de haber colocado la tarjeta de desarrollo, los módulos y configurado los sensores de reflectancia para que el desplazamiento de la plataforma por el entorno fuera conocido y controlado por ella misma. Se procedió a iniciar el desplazamiento de esta por el entorno y el resultado fue que el primer diseño del entorno no era el más óptimo para ser conocido y controlado por las plataformas. Por ende el entorno quedó como se muestra en la figura [7].
- Al colocar varios obstáculos en el entorno la plataforma buscadora envía los datos

correctamente y se da el trabajo cooperativo entre estas dos para finalmente recolectar los obstáculos necesarios.

- En caso de los sensores de reflectancia de las dos plataformas, fue necesario calibrar la distancia a la cual se encuentran del entorno ya que si queda muy cerca o muy lejos estos no eran capaces de sensor correctamente.
- Para la correcta medición de las líneas de marca en la cuadrícula del entorno es necesario que este esté completamente limpio y sin impurezas ya que estas ocasionan error en las lecturas.
- La navegación de la plataforma buscadora se realiza de una manera en círculos (caracol), se hizo de esta manera para que recorriera completamente el entorno haciendo giros de 90° a la izquierda esto con el fin de que la plataforma tenga un mayor campo de acción frente a los obstáculos.
- El entorno es completamente cuadrículado para hacer que los robots sigan una ruta y a la vez proporcionarles la capacidad de saber en qué punto exacto de este están, esto con el propósito de ubicar los obstáculos en cualquier intersección de todo el entorno.
- En cuanto a la comunicación se implementó una red punto a punto en donde la plataforma buscadora, luego de haber detectado el objeto y de hacer los cálculos correspondientes para saber en qué punto exacto de la cuadrícula se encuentra, envía dos datos a la plataforma recolectora, datos correspondientes a la coordenada en el eje X y a la coordenada en el eje Y.

Agradecimientos

Al grupo de investigación en Robótica Móvil Autónoma (ROMA), a la Ing. Kristel Novoa Roldan; por su apoyo, asesoría y constante colaboración durante todo el desarrollo del proyecto.

Referencias

- [1] Electronilab.co, LM2596. [Online]. Available: http://electronilab.co/wpcontent/uploads/2014/05/Lm2596_Electronilab_1.jpg

[2] Electronilab.co, L298N [Online]. Available: <http://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/>

[3] LEGO, LEGO. [Online]. Available: <http://www.lego.com/es-es/mindstorms/downloads/building-instructions/gripp3r/>

[4] Cypress, PSoC 5LP. [Online]. Available: <http://www.cypress.com/psoc5lp/?source=CY-ENG-HEADER>.