

ACTAS

DE LAS

XXXVIII Jornadas de Automática

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



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo



CEA
*Comité Español
de Automática*

Colabora

Gijón

Convention Bureau

Actas de

XXXVIII

Jornadas de Automática

© 2017 Universidad de Oviedo
© Los autores

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

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

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

Prefacio

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

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

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

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

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

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López
Presidente del Comité Organizador

Program Committee

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

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

Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

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

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

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

Hernandez Ruiz, Alejandro
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

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

Núñez, Luis Ramón

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

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

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor

Table of Contents

Ingeniería de Control

| | |
|---|-----|
| 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 fotobiorreactor raceway | 77 |
| <i>Ángeles Hoyo Sánchez, Jose Luis Guzman, Jose Carlos Moreno and Manuel Berenguel</i> | |
| Revisión sistemática de la literatura en ingeniería de sistemas. Caso práctico: técnicas de estimación distribuida de sistemas ciberfísicos | 84 |
| <i>Carmelina Ierardi, Luis Orihuela Espina, Isabel Jurado Flores, Álvaro Rodríguez Del Nozal and Alejandro Tapia Córdoba</i> | |
| Desarrollo de un Controlador Predictivo para Autómatas programables basado en la normativa IEC 61131-3 | 92 |
| <i>Pablo Krupa, Daniel Limon and Teodoro Alamo</i> | |
| Diseño de un emulador de aerogenerador de velocidad variable DFIG y control de pitch ... | 100 |
| <i>Manuel Lara Ortiz, Juan Garrido Jurado and Francisco Vázquez Serrano</i> | |

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

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

| | |
|--|-----|
| Identificación de contracciones isométricas de la extremidad superior en pacientes con lesión medular incompleta mediante características espectrales de la electromiografía de alta densidad (HD-EMG) | 296 |
| <i>Mislav Jordanic, Mónica Rojas-Martínez, Joan Francesc Alonso, Carolina Migliorelli and Miguel Ángel Mañanas</i> | |
| Diseño de una plataforma para analizar el efecto de la estimulación mecánica aferente en el temblor de pacientes con temblor esencial | 302 |
| <i>Julio S. Lora, Roberto López, Jesús González de La Aleja and Eduardo Rocon</i> | |
| DEFINICIÓN DE UN PROTOCOLO PARA LA MEDIDA PRECISA DEL RANGO CERVICAL EMPLEANDO TECNOLOGÍA INERCIAL | 308 |
| <i>Álvaro Martín, Rafael Raya, Cristina Sánchez, Rodrigo Garcia-Carmona, Oscar Ramirez and Abraham Otero</i> | |
| SISTEMA BRAIN-COMPUTER INTEFACE DE NAVEGACIÓN WEB ORIENTADO A PERSONAS CON GRAVE DISCAPACIDAD..... | 313 |
| <i>Víctor Martínez-Cagigal, Javier Gómez-Pilar, Daniel Álvarez, Eduardo Santamaría-Vázquez and Roberto Hornero</i> | |
| ESTRATEGIAS DE NEUROESTIMULACIÓN TRANSCRANEAL POR CORRIENTE DIRECTA PARA MEJORA COGNITIVA | 320 |
| <i>Silvia Moreno Serrano, Mario Ortiz and José María Azorín Poveda</i> | |
| COMPARATIVA DE ALGORITMOS PARA LA DETECCIÓN ONLINE DE IMAGINACIÓN MOTORA DE LA MARCHA BASADO EN SEÑALES DE EEG | 328 |
| <i>Marisol 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 | |
| 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> | |

SIMULADOR PARA LA CREACIÓN DE MUNDOS VIRTUALES PARA LA ASISTENCIA A PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA EN SILLA DE RUEDAS

Carlos Sánchez Sánchez, María Cidoncha Jiménez, Emiliano Pérez, Inés Tejado, Blas M. Vinagre
Universidad de Extremadura, Escuela de Ingenierías Industriales, Avenida de Elvas, s/n, (06006) Badajoz
Email: {emilianoph,itejbal,bvinagre}@unex.es

Resumen

En los últimos años se han ido incorporando diferentes tecnologías al ámbito de la ingeniería de la rehabilitación con el objeto de desarrollar sistemas de asistencia a personas con movilidad reducida en silla de ruedas que se adecúen a sus necesidades y permitan mejorar su calidad de vida. La Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Extremadura cuenta con un simulador de movimiento, único en España, que tiene como principal objetivo el diseño y fabricación de este tipo de ayudas técnicas. Este artículo describe el proceso de integración de los equipos disponibles para la creación de mundos virtuales para la asistencia a personas con movilidad reducida en silla de ruedas para mejorar, en un futuro, su calidad de vida, así como para ayudar en el diseño de infraestructuras en ciudades más adecuadas a sus limitaciones. A modo de ilustración, se incluye una de las aplicaciones desarrolladas para esta aplicación.

Palabras Clave: ingeniería, rehabilitación, simulador, realidad virtual, discapacidad, silla de ruedas.

1 INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la ingeniería de la rehabilitación, se considera indispensable que los sistemas de asistencia para la movilidad se adapten a las necesidades del usuario. Con esta premisa, el diseño y la realización de pruebas que simulen situaciones reales que proporcionen indicadores para la adaptación al usuario de esas asistencias técnicas son primordiales para su éxito. Es por ello que desde hace años se persigue como desafío el desarrollo de métodos de evaluación de las capacidades motoras y cognitivas que faciliten el proceso de elección de los sistemas de ayuda técnica adecuados.

Recientemente, se han ido incorporando diferentes tecnologías al ámbito de la ingeniería de la

rehabilitación. Para el caso particular de personas con movilidad reducida en silla de ruedas, son varios los grupos de investigación que han estado trabajando en prototipos de simuladores de sillas de ruedas con el objetivo antes mencionado (consúltese, por ejemplo, [2-10, 12, 16], o las revisiones [1,15]).

Este artículo describe el proceso de integración de diversos equipos disponibles en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Extremadura para la creación de mundos virtuales para la asistencia a personas con movilidad reducida en silla de ruedas. Conviene resaltar que con el objetivo final de este trabajo es, en un futuro, el diseño y la fabricación de ayudas técnicas que permitan mejorar la calidad de vida de este tipo de personas. Además se pretende que el sistema sirva de ayuda en la fase de diseño de las infraestructuras de edificios que permitan una mejor adaptación para los usuarios en silla de ruedas. Estos equipos fueron adquiridos e instalados en el ámbito del proyecto “Centro de Tecnificación del Deporte Paralímpico” (DEPATech).

El resto del artículo está estructurado como sigue. El apartado 2 describe los principales equipos del simulador. El apartado 3 está dedicado a los procesos de integración de la estación de trabajo con el sistema de captura óptico, la plataforma de movimiento y el sistema háptico, el casco de realidad virtual mediante Unity para la creación de los mundos virtuales. El apartado 4 muestra el proceso de integración mediante una de las escenas desarrolladas. Las conclusiones de este trabajo, así como líneas de trabajo futuro, se resumen en el apartado 5.

2 EL SIMULADOR

El simulador está integrado por los siguientes equipos (véase un esquema de cómo están relacionados en la Figura 1):

- una estación de trabajo;
- una interfaz con la silla de ruedas, formada por una plataforma de movimiento, otra háptica para la silla y elementos de acceso;

- sistemas de captura corporal óptico y guante de datos;
- dispositivos de visualización, en concreto, una pantalla 3D y un casco de realidad virtual.

A continuación, se dan algunos detalles de cada uno de ellos.



Figura 1: Equipos que integran el simulador

2.1 ESTACIÓN DE TRABAJO

La estación de trabajo es el componente principal del simulador, esencial para su funcionamiento, ya que hace posible la comunicación con todos los equipos, es decir, tanto el envío como la recepción de datos. La aplicación para la gestión del simulador se ha desarrollado en Unity, software que permite incorporar fácilmente modelos de mundos virtuales e interactuar con ellos [17]. Asimismo, este software permite el manejo de cualquier dispositivo hardware que tenga las correspondientes librerías de programación, gracias a la posibilidad de introducir scripts en lenguaje C#.

Es importante resaltar que la potencia gráfica de este PC limita el nivel de detalle o la complejidad de los mundos virtuales que se diseñen. Además, si se desea gestionar simultáneamente varias salidas de visualización (monitor, pantalla 3D y casco de realidad virtual) es recomendable que la tarjeta gráfica que lleve instalada tenga esa funcionalidad. En el simulador se utilizan simultáneamente dos tarjetas gráficas: Nvidia GTX970 y Nvidia Quadro K5200.

2.2 INTERFAZ CON LA SILLA DE RUEDAS

Como se ha comentado, la interfaz con la silla de ruedas está constituida por una plataforma de movimiento y un sistema háptico. Existen muchos tipos y modelos de sillas de ruedas. Dada la aplicación considerada en este trabajo, la silla de

ruedas utilizada es la deportiva modelo *All Court* de Quickie.

La plataforma de movimiento es una plataforma de seis grados de libertad que permite transmitir al usuario las aceleraciones a las que es sometido como efecto de los movimientos que se produzcan en el mundo virtual (véase la Figura 2(a)). También permite reproducir las diferentes inclinaciones del terreno del mundo virtual sobre el que se está desplazando el usuario.

La plataforma dispone de un sistema háptico formado por dos cilindros actuados por motores. Estos cilindros sirven como interfaz del sistema con la silla de ruedas. La silla debe colocarse de forma que las ruedas estén en contacto permanente con los cilindros. Éstos tienen una doble función. Por un lado, detectar la intención del movimiento del usuario (los cilindros se accionan cuando el usuario mueve las ruedas). Y por el otro, emular las condiciones de la superficie del mundo virtual con el movimiento de los rodillos. Es decir, en función de la inclinación y tipo de superficie del mundo virtual en el que se encuentre, el usuario puede incluso notar mayor o menor facilidad a la hora de mover las ruedas.

La estación de trabajo es la encargada de medir y procesar el movimiento de los rodillos, así como de generar la rotación a los rodillos que se corresponda con la que experimenta las ruedas de la silla de ruedas virtual. La comunicación entre la estación de trabajo y ambas plataformas se realiza a través de un router con conexión Gigabit Ethernet, utilizando el protocolo TCP. La interacción entre el mundo virtual y ambas plataformas se gestiona desde un script en Unity.

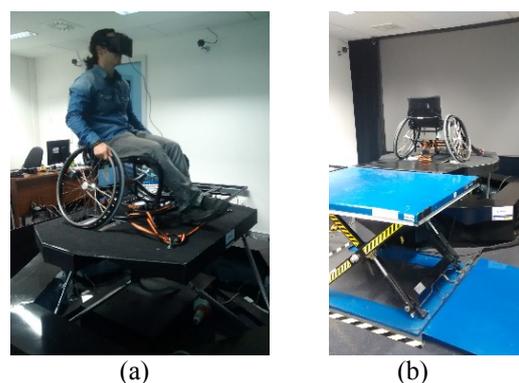


Figura 2: Plataforma de movimiento: (a) Usuario con casco de realidad virtual (b) Elementos de acceso a la plataforma

Cabe mencionar también que la plataforma dispone de un elevador automático con rampas para facilitar el acceso del usuario en silla de ruedas al simulador (Figura 2(b)).

2.3 SISTEMAS DE CAPTURA

El simulador dispone de un sistema para capturar los movimientos del usuario (véase la Figura 3), formado por un sistema óptico, para obtener las medidas del movimiento de todo el cuerpo de la marca Optitrack [13] y un guante de datos de 5DT, para registrar el movimiento de los dedos. Este sistema tiene una doble función: 1) registrar datos para su posterior procesamiento, análisis y estudio con objeto de diagnosticar posibles problemas o conductas erróneas en el usuario; y 2) mejorar la sensación de inmersión del usuario, ya que éste ve que su avatar se mueve de forma sincronizada con el movimiento de su cuerpo.

El software para el control del sistema de captura de Optitrack es Motive [14]. Este software permite la calibración y configuración del sistema y proporciona interfaces que permiten a su vez la captura y el procesamiento de datos 3D. Además, también permite realizar una emisión (streaming) de los datos capturados a través de la red, que ofrece, a su vez, la posibilidad de transferirlos al avatar del mundo virtual mediante Unity y C# Script.

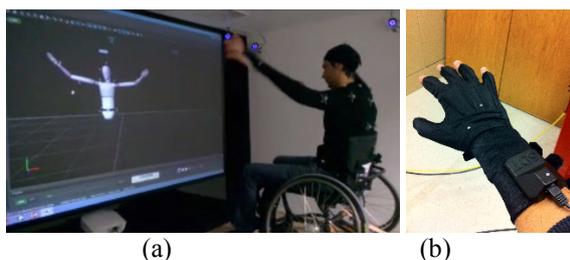


Figura 3: Sistemas de captura: (a) Sistema óptico de captura corporal (b) Guante de datos

2.4 SISTEMAS DE VISUALIZACIÓN

En lo relativo a la visualización del mundo virtual, el simulador dispone de una pantalla 3D de grandes dimensiones y un casco de realidad virtual Development Kit 2 (DK2) de Oculus Rift [11], mostrado en la Figura 4. El usuario de la silla de ruedas utiliza el casco para que, gracias a la inmersión, pueda desempeñar sus rutinas de movimiento como acostumbra a realizarlas en el mundo real. Por otro lado, la pantalla 3D permite al equipo técnico observar en todo momento cómo está actuando el usuario y, de esta manera, darle las órdenes pertinentes.



Figura 4: Casco de realidad virtual Development Kit 2 (DK2) de Oculus Rift con marcadores

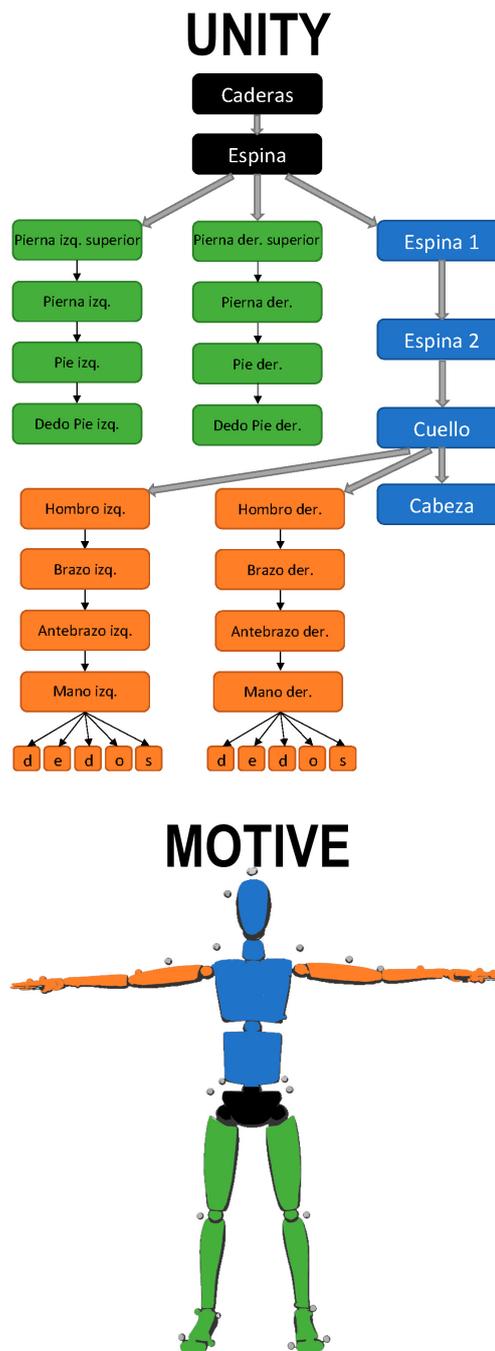


Figura 5: Correspondencia, representada con colores, entre la jerarquía del esqueleto del avatar de Unity y el esqueleto de Motive

3 INTEGRACIÓN DE EQUIPOS EN EL MUNDO VIRTUAL

Este apartado describe los procesos de integración de la estación de trabajo con el sistema de captura óptico, la plataforma de movimiento/sistema háptico y el casco de realidad virtual mediante Unity con objeto de crear los mundos virtuales para el simulador.

3.1 SISTEMA DE CAPTURA ÓPTICO

El proceso de integración del sistema de captura corporal óptico OptiTrack con Unity se ha realizado mediante el plugin que proporciona el fabricante [13] siguiendo los siguientes pasos:

1. Definición en Motive de un esqueleto, utilizando uno de los preconfigurados (*full body* de 27 marcadores).
2. Activación de la transmisión de datos en streaming desde Motive mediante protocolo Multicast.
3. Carga del plugin en Unity y asignación del script a un esqueleto de Unity que ha de tener una estructura jerárquica determinada, como la mostrada en la Figura 5.
4. Enlace entre el esqueleto Unity y el esqueleto Motive (se les debe asignar el mismo nombre).

3.1.1 Adaptación entre sistemas de referencia

Un paso fundamental para que la conexión entre ambos programas funcione es estudiar las relaciones entre los sistemas de coordenadas que usa cada uno y establecer un proceso de adaptación entre ambos.

El software de captura, dada la distribución física del sistema de cámaras, fija el origen del sistema de referencia en el centro del volumen de captura, Σ_{captura} (Figura 6(a)). Este punto se corresponde con la posición inicial del avatar, Σ_{avatar} , dentro del sistema de coordenadas de Unity (Figura 7).

En la aplicación que se plantea en este artículo ha de conseguirse que, una vez lanzada la simulación, si el usuario está en medio de la sala, en cualquier punto del volumen de captura de Optitrack, cuando se desplace físicamente sobre la silla de ruedas real, el avatar virtual que aparece en Unity ha de sentarse también justo encima de la silla virtual. Esto requiere de dos pasos fundamentales:

1. Cambio del origen de coordenadas del volumen de captura en Motive, situándolo en el centro de gravedad de la silla. Para ello, ha de medirse la distancia entre el centro de gravedad de las cámaras, Σ_{captura} , y el punto de la silla de ruedas real que coincide con el punto dónde se ubica en Unity el centro de gravedad de la silla de ruedas virtual, Σ_{silla} . Esta distancia es la se aplicará como offset al sistema de referencia de Motive (Figura 6(a)), con lo que el nuevo sistema de referencia estará ubicado donde se muestra en la Figura 6(b).
2. Como puede verse en la Figura 7(a), en Unity, inicialmente, avatar y silla de ruedas tienen sus respectivos centros de gravedad, Σ_{avatar} y Σ_{silla} ,

con respecto al sistema de referencia de Unity, Σ_{Unity} . En primer lugar, al avatar se le hará depender de la silla de ruedas, para que su sistema de referencia absoluto sea Σ_{silla} (Figura 7(b)). Seguidamente, se desplazará el avatar a su nuevo origen de coordenadas, dando lugar a que Σ_{avatar} y Σ_{silla} sean coincidentes (Figura 7(c)).

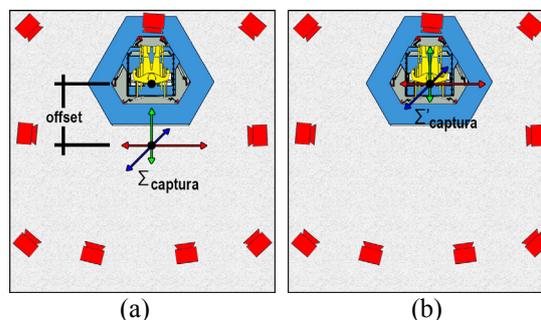


Figura 6: Desplazamiento del sistema de referencia en el programa de captura Motive: (a) Sistema de referencia inicial, Σ_{captura} , y distancia entre Σ_{captura} y el centro de gravedad de la silla de ruedas (Offset) (b) Nuevo sistema de referencia para el programa de captura, Σ'_{captura} (En rojo se representan las 9 cámaras del sistema de captura, en azul, la plataforma de movimiento y, en amarillo, el usuario sobre la silla de ruedas)

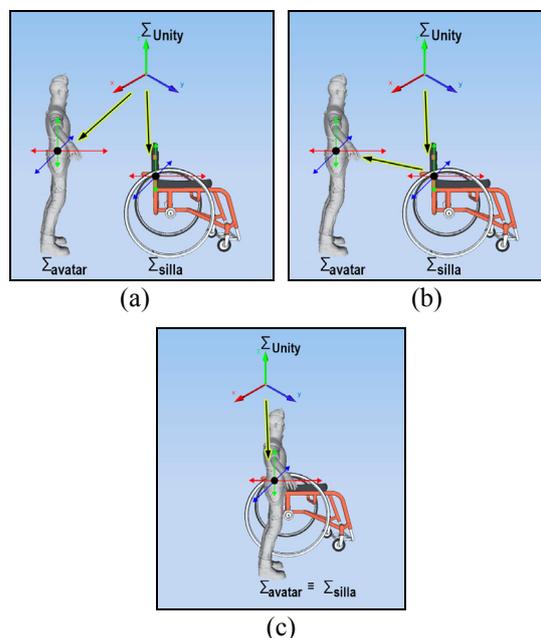


Figura 7: Asignación de sistemas de referencia en Unity: (a) Coordenadas del avatar, Σ_{avatar} , y de la silla de ruedas, Σ_{silla} , ubicados en sus centros de gravedad, con respecto al sistema de referencia de Unity, Σ_{Unity} (b) Asignación del centro de gravedad de la silla como sistema de referencia principal del avatar (c) Desplazamiento del avatar a su nuevo origen de coordenadas, Σ_{silla}

3.2 PLATAFORMA DE MOVIMIENTO Y SISTEMA HÁPTICO

A continuación, se va a describir el método para la integración de la plataforma y la silla de ruedas en el entorno de Unity.

3.2.1 Modelado de la plataforma en Unity

Unity incorpora un motor de físicas, basado en PhysX [18], que analiza en tiempo real las interacciones físicas entre los elementos debido al contacto entre ellos y la fuerza gravitatoria [17]. Para controlar la plataforma desde Unity, se ha desarrollado un script que permite la comunicación bidireccional entre Unity y la misma, de acuerdo con el esquema de la Figura 8, con dos funciones principales:

1. Detectar los movimientos que realiza la silla en Unity, así como las aceleraciones que experimente el modelo virtual y transmitirlos a la plataforma. A modo de ejemplo, si la silla está bajando una rampa de 30° de inclinación en Unity, la plataforma se inclinará 30° hacia delante en la realidad.
2. Capturar las órdenes de movimiento que da el usuario, es decir, el ángulo y la velocidad de giro de cada una de las ruedas, a través del sistema de rodillos de la plataforma. Estas órdenes son trasladadas automáticamente a la representación visual de Unity que, como es lógico, tiene directamente un efecto sobre el mundo que está procesando el motor de físicas de Unity.

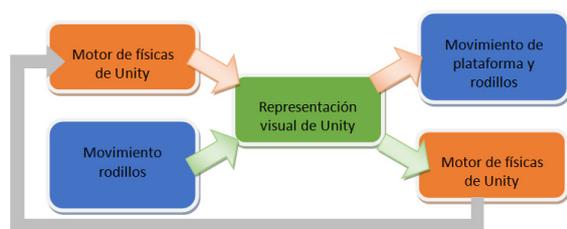


Figura 8: Esquema de la comunicación bidireccional entre la plataforma de movimiento y Unity

El script desarrollado permite la configuración de una serie de parámetros, tanto de la plataforma como del mundo virtual, entre los que cabe destacar:

- *'Platform Config File'*: archivo externo xml en el que se fijan los parámetros de configuración de la plataforma, tales como la velocidad de los motores.
- *'Right / Forward / Up Linear or Angular Scale'*: escala lineal o angular del eje derecho, delantero o superior, respectivamente.
- *'Factor 1'*: factor por el que se multiplica la velocidad de la silla cuando se desliza por una

pendiente. Valores positivos simulan una resistencia al movimiento baja, mientras que valores negativos, alta.

- *'Factor 2'*: factor por el que se multiplica la velocidad transmitida desde los dos rodillos hacia la silla virtual. Nótese que seleccionando valores negativos de este factor es posible invertir el sentido del movimiento, mientras que, si se elige un valor nulo, la silla virtual no se mueve.
- *'Factor 3'*: multiplicador de la velocidad de los rodillos. Para valores negativos, este factor puede usarse como factor de rozamiento de la silla sobre la superficie en la que se está desplazando. Al contrario, si se elige un valor positivo, podrá usarse como rozamiento negativo, como el que podría haber en el caso de una superficie helada.

Cabe resaltar que se ha creado un método para configurar la interacción entre el mundo virtual y el sistema de rodillos, mediante el cual se asignan diferentes valores a los factores 1, 2 y 3 para caracterizar diferentes tipos de superficies en el mundo virtual, tales como pista, hierba, arena y neutra, que básicamente se diferencian por tener diferentes coeficientes de rozamiento. Este método hace posible que, al paso de la silla de ruedas por cada tipo de suelo, el comportamiento de los rodillos emule el rozamiento de la silla con la superficie en cuestión. Por el momento, el ajuste de estos parámetros se ha hecho de forma empírica y con valores ilustrativos de suelos con grandes diferencias en sus coeficientes de rozamiento con el objeto de poder percibir las diferencias de comportamiento del sistema háptico.

Con respecto a la sincronización entre los movimientos virtuales y los reales de la plataforma, no se observan retardos en los tiempos de respuesta, incluso habiendo seleccionado una velocidad de los motores por debajo de la máxima en *'Platform Config File'*. Evidentemente, conviene señalar que, respecto a los movimientos de la plataforma, ésta simulará los de la silla de ruedas virtual con la limitación que imponen las dimensiones y relaciones entre los elementos mecánicos que la forman.

3.2.2 Modelado de la silla de ruedas en Unity

Para la representación de la silla de ruedas en Unity es necesario tener en cuenta dos cuestiones. Por un lado, es importante el modelado tridimensional de la silla de ruedas con sus correspondientes propiedades (dimensiones, materiales, centro de gravedad, material de contacto con el suelo), que tendrán su efecto dentro del motor de físicas de Unity. Por otro lado, cualquier diseño que se elija se ha de estructurar según el esquema básico representado en

la Figura 9. Como puede observarse, el modelo básicamente se divide en un chasis y las dos ruedas principales motrices. A cada uno de estos elementos se le ha de asociar la propiedad denominada *collider*, que hace que el objeto sea tenido en cuenta dentro del motor de físicas. En concreto, a cada *collider* se le ha de dar una forma y dimensiones, es decir, el *collider* define la envolvente del modelo 3D al que se le asocia, a partir de la cual se efectuarán los cálculos para las colisiones entre objetos.

En concreto, para las aplicaciones iniciales con este simulador se ha creado el modelo de la silla que se muestra en la Figura 10. Se ha definido un *collider* cúbico para el chasis y dos *colliders* específicos para ruedas de Unity.

3.3 CASCO DE REALIDAD VIRTUAL

Para el casco de realidad virtual, se ha instalado la versión 0.8 del kit de desarrollo de software (SDK en inglés) de Oculus Rift en la estación de trabajo. La integración del casco en Unity se ha hecho mediante la versión 1.13 del plugin proporcionado por Oculus Rift, disponible en [11].

Aunque este plugin soluciona perfectamente la integración del casco en Unity, conviene resaltar que para el posicionamiento absoluto del casco se ha decidido no utilizar la cámara externa que incorpora el Oculus DK2. Para la aplicación particular de este simulador, el rango de detección (distancia máxima con respecto a la cámara y ángulo de visión) que ofrece esta cámara es muy limitado. Por tanto, para el posicionamiento absoluto, se ha decidido utilizar el sistema de captura óptico. En concreto, se han adherido 6 marcadores ópticos al casco de realidad virtual, distribuidos asimétricamente, como se muestra en la Figura 4. Se decide emplear esta distribución con el objeto de que se pueda diferenciar perfectamente hacia dónde está mirando el usuario.

Los pasos seguidos para la integración del casco en Unity son los siguientes:

1. Carga del plugin de Oculus en la escena de Unity.
2. Cambio de la versión de DirectX a DirectX11 en las propiedades del proyecto de Unity, al tratarse de un casco con cierta antigüedad.
3. Asignación del script del controlador del casco a la cabeza del avatar.
4. Desactivación de la funcionalidad de posicionamiento absoluto.
5. Creación en Motive de un sólido rígido definido por los 6 marcadores adheridos al casco.
6. Activación de la transmisión de datos en streaming desde Motive.

7. Carga del plugin de Optitrack en Unity y asignación del script de sólido rígido a la cabeza del avatar.
8. Conexión del sólido de Unity con el sólido de Motive (se les debe asignar el mismo nombre).
9. Comprobación del seguimiento y visualización con el casco.



Figura 9: Estructura básica del modelo de la silla de ruedas en Unity



Figura 10: Modelo 3D de la silla de ruedas empleada en la aplicación desarrollada

4 EJEMPLO DE MUNDO VIRTUAL DESARROLLADO

En este apartado está dedicado a la aplicación que se ha desarrollado para el simulador a modo de ejemplo.

El ejemplo desarrollado se trata de una aplicación básica que resuelve el problema de la integración de todos los dispositivos del simulador y que puede servir como base para el diseño de entornos más complejos.

En primer lugar, se ha decidido añadir la funcionalidad de poder ejecutar la simulación con o sin captura de movimiento óptica y con pantalla o casco de realidad virtual, tal y como puede apreciarse en el menú inicial que aparece al lanzarse la aplicación, mostrado en la Figura 11.

Como se ha descrito anteriormente, el funcionamiento del simulador requiere la ejecución simultánea del software de captura óptico Motive y

de la simulación compilada a partir de Unity. La Figura 12 muestra una captura realizada durante la ejecución del simulador. En la Figura 12(a), puede verse cómo un usuario con el traje de captura y el casco de realidad virtual maneja el simulador, es decir, interacciona con la silla de ruedas real. Y en la Figura 12(b) y (c) se representa lo que ve el usuario en el casco de realidad virtual y el software Motive mientras captura los movimientos del usuario, respectivamente.

La aplicación básica que se ha diseñado se trata de un entorno pequeño de una ciudad con algunas calles y una pista con diversos obstáculos y rampas de subida y bajada. Además, en una sección de la pista, cuyo suelo tiene un coeficiente de rozamiento, se han introducido otros 3 tipos de suelo (Figura 13), con coeficientes de rozamiento dispares, para probar el efecto del tipo de suelo sobre los rodillos del simulador.



Figura 11: Menú principal de la aplicación desarrollada

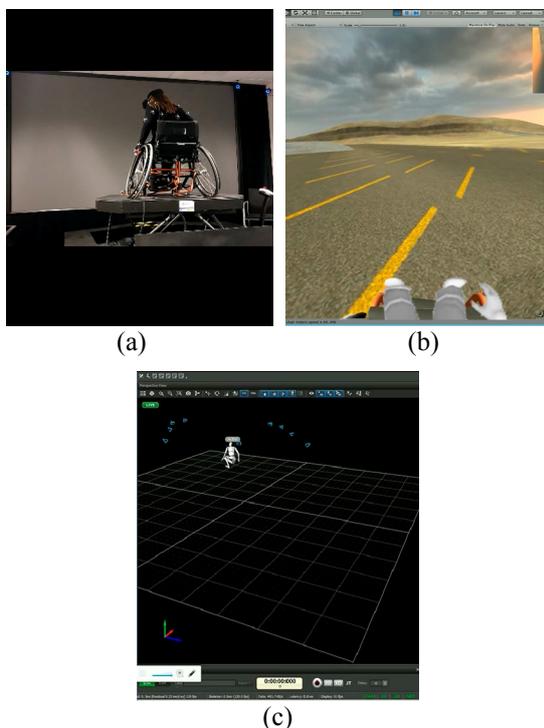


Figura 12: Simulador de movimiento en funcionamiento: (a) Usuario sobre la silla de ruedas del simulador con el traje de captura y casco de realidad virtual (b) Perspectiva del usuario del mundo virtual (c) Software captura transmitiendo datos



Figura 13: Diferentes tipos de suelo modelados en la aplicación desarrollada para el simulador

5 CONCLUSIONES

Este artículo ha descrito el proceso de integración de equipos de un simulador de movimientos para la asistencia a personas con movilidad reducida en silla de ruedas con el objeto de, en un futuro, mejorar su calidad de vida. En esencia, el simulador consta de una plataforma de movimiento con un sistema háptico de rodillos, un sistema de captura de movimientos y un casco de realidad virtual.

Se ha desarrollado una aplicación básica simple para el uso simultáneo de esas tecnologías. En esta aplicación se han modelado empíricamente diferentes tipos de suelo que afectan a la experiencia del usuario que se desplaza con la silla de ruedas sobre esos suelos virtualmente.

Como trabajos futuros se plantean los siguientes: 1) pruebas de rendimiento de las comunicaciones entre la estación de trabajo y el resto de equipos; 2) comprobación de las diferencias entre las transformaciones del mundo virtual y las aplicadas a la plataforma de movimiento; 3) creación de una tabla que sirva para relacionar las condiciones físicas de superficies con los valores de los parámetros 'Factor 1', 'Factor 2' y 'Factor 3' del script desarrollado y que permitan simular de forma precisa el rozamiento con esas superficies; y 4) integración de un guante de datos en el mundo virtual.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por Fondos FEDER (Programa Operativo FEDER de Extremadura 2014-2020), a través de la Ayuda a Grupos de la Junta de Extremadura con número de expediente GR15178, y por el Ministerio de Economía y Competitividad, a través del proyecto con referencia DPI2016-80547-R.

Parte del equipamiento utilizado en este trabajo fue adquirido gracias al Programa Operativo FEDER de I+D+i por y para el Beneficio de las Empresas-Fondo Tecnológico 2007-2013 del Ministerio de Economía y Competitividad a través del proyecto "Centro de Tecnificación del Deporte Paralímpico" (DEPATech).

Referencias

- [1] Abellard, P., Randria, I., Abellard, A., Ben Khelifa, M. M., Ramanantsizehena, P., (2010) "Electric Wheelchair Navigation Simulators: why, when, how?", *Mechatronic Systems Applications*, A. M. Donato Di Paola and G. Cicirelli (Ed.), InTech.
- [2] Advanced Multimodal Room for Interaction in Virtual Reality. Online: <https://www.lst.tfo.upm.es/virtual-reality-room/>
Consultado el día: 04/06/2016
- [3] Crichlow, L. R., Fernie, G. R., Campos, J. L., Grant, P. R., (2011) "A Full Motion Manual Wheelchair Simulator For Rehabilitation Research", *Proc. 2011 RESNA/ICTA Conference - Advancing Rehabilitation Technologies for an Aging Society*.
- [4] Fernández-Panadero, C., Cruz Barquero, V., Morán Núñez, D., Delgado Kloos, C., (2014) "PhyMEL-WS: Physically Experiencing the Virtual World. Insights into Mixed Reality and Flow State on Board a Wheelchair Simulator", *Journal of Universal Computer Science*, 20(12):1629-1648.
- [5] Fernández-Panadero, C., Cruz Barquero, V., Morán Núñez, D., Delgado Kloos, C., (2013) "PhyMEL-WS Wheelchair Simulator: A Preliminary Study to Increase Awareness about the Problems of Living the City in a Wheelchair", *Proc. 3rd European Immersive Education Summit*, pp. 210-221, UK.
- [6] Grant, M., (2003) "Wheelchair Simulation in Virtual Reality". Online: <https://pdfs.semanticscholar.org/a500/757b5624a69d9dd2901110554102a5109a70.pdf>
Consultado el día: 04/06/2016
- [7] Harrison, C. S. and Grant, P. M. and Conway, B. A., (2010) "Enhancement of a virtual reality wheelchair simulator to include qualitative and quantitative performance metrics", *Assistive Technology*, 22(1): 20-31.
- [8] John, N. W., Pop, S. R., Day, T. W., Ritsos, P. D., Headleand, C. J., (2017) "The Implementation and Validation of a Virtual Environment for Training Powered Wheelchair Manoeuvres", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, In Press.
- [9] Mahajan, H. P., Dicianno, B. E., Cooper, R. A., Ding, D., (2013) "Assessment of wheelchair driving performance in a virtual reality-based simulator", *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 36(4):322-332.
- [10] Niniss, H., Inoue, T., (2006) "Electric Wheelchair Simulator for Rehabilitation of Persons with Motor Disability", *Proc. National Rehabilitation Centre for Persons with Disabilities Conference*, Japón.
- [11] Oculus Rift. Online: <https://www.oculus.com/rift/>
Consultado el día: 04/06/2016
- [12] Onyango, S. O., Hamam, Y., Djouani, K., Daachi, B., Steyn, N., (2016) "A Driving Behaviour Model of Electrical Wheelchair Users", *Computational Intelligence and Neuroscience*, 7189267.
- [13] OptiTrack. Online: <http://optitrack.com>
Consultado el día: 04/06/2016
- [14] OptiTrack. Motive documentation. Online: http://wiki.optitrack.com/index.php?title=Motive_Documentation
Consultado el día: 04/06/2016
- [15] Pithon, T., Weiss, T., Richir, S., Klinger, E., (2009) "Wheelchair simulators: A review", *Technology and Disability*, 21(1):1-10.
- [16] Steyn, N., Hamam, Y., Monacelli, E., Djouani, K., (2015) "Modelling and design of an augmented reality differential drive mobility aid in an enabled environment", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 51:115-134.
- [17] Unity. Online: <https://unity3d.com/es>
Consultado el día: 04/06/2016
- [18] Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/PhysX>
Consultado el día: 04/06/2016