

ACTAS

DE LAS

XXXVIII Jornadas de Automática

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



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo



CEA
*Comité Español
de Automática*

Colabora

Gijón

Convention Bureau

Actas de

XXXVIII

Jornadas de Automática

© 2017 Universidad de Oviedo
© Los autores

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

DL AS 2749-2017

ISBN: 978-84-16664-74-0

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

Prefacio

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

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

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

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

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

Gijón, septiembre de 2017

Hilario López
Presidente del Comité Organizador

Program Committee

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

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

Revisores Adicionales

Al-Kaff, Abdulla

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

Cancela, Brais

Ferraz, Luis

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

Hernandez Ruiz, Alejandro
Hernandez, Daniel

Jardón Huete, Alberto

López, Amable

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

Nuñez, Luis Ramón

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

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

Torres, Jose Luis

Vaquero, Victor

Table of Contents

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Sistemas de Tiempo Real

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

Visión por Computador

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

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

VISUALIZACIÓN WEB INTERACTIVA PARA EL ANÁLISIS DEL CHATTER EN LAMINACIÓN EN FRÍO

Daniel Pérez López, Abel Alberto Cuadrado Vega, Ignacio Díaz Blanco
 Área de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Oviedo
 Campus Universitario de Gijón, s/n.
 {dperez, cuadrado}@isa.uniovi.es, idiaz@uniovi.es

Resumen

La laminación de productos de acero es un proceso dentro del campo de la metalurgia donde dos o más pares de rodillos reducen el espesor de una banda de acero para producir un material de espesor uniforme. A pesar de que se ha estudiado ampliamente durante muchos años, hay problemas impredecibles que pueden aparecer y afectar a la calidad del producto final. Uno de ellos es el denominado chatter, una potente vibración autoexcitada que aparece súbitamente y limita la productividad. En este artículo se considera un enfoque de analítica visual para el análisis del chatter que ayude a descubrir y entender los factores y condiciones en las cuales aparece el chatter. Se presenta una interfaz web interactiva que permite explorar una proyección de las condiciones dinámicas y visualizar detalles correspondientes a cada episodio de chatter. Se expone finalmente un caso de validación para probar la herramienta con datos reales, donde estados normales y de chatter se identificaron automáticamente.

Palabras clave: Modelos de datos, sistemas de soporte a la decisión, sistemas expertos.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de laminación transforma la forma de un material de acero por medio de una reducción del espesor haciéndolo pasar entre dos o más pares de rodillos alojados en una caja que les sirve de soporte. Este proceso es diferente dependiendo de la temperatura del material laminado. Precisamente, un tren de laminación en frío [12] produce productos acabados más finos con un grosor de salida uniforme, llevado a cabo comúnmente de manera continua a través de varias cajas en los trenes de laminación en frío de tipo tándem. A pesar de que éste es un proceso universal en la elaboración de metales, todavía existen problemas que causan pérdidas económicas en los trenes modernos de laminación en frío. Además, las condiciones bajo las cuales surgen estos problemas no se comprenden completamente, lo que dificulta su prevención.

Uno de los principales problemas que presentan es una vibración autoexcitada denominada *chatter*, que aparece en los procesos de laminación, provocando variaciones de espesor inadmisibles en la superficie final de la banda, tal como se explica en [16]. La disminución de la velocidad de laminación para mitigar este efecto implica una pérdida de productividad que hace que el chatter no solo sea un problema industrial, sino también un problema económico. El análisis de chatter requiere la comprensión de las condiciones que conducen a la inestabilidad del proceso. Las interacciones dinámicas entre los fenómenos estructurales en el tren y el propio proceso de deformación de la banda se han estudiado utilizando modelos teóricos [9, 1, 21, 10, 23]. Estos modelos pueden llegar a ser complejos de implementar, o bien basarse en ciertos supuestos que simplifican el problema real.

Las tecnologías recientes facilitan la adquisición de datos de cualquier proceso y su almacenamiento masivo en bases de datos. Un análisis apropiado puede revelar cierta intuición acerca de problemas complejos y servir de apoyo al analista en la adopción de estrategias de actuación. Los algoritmos de análisis inteligente de datos (IDA) extraen información automáticamente de los datos permitiendo descubrir conocimiento nuevo. Un enfoque particularmente interesante es la reducción de la dimensionalidad (DR). Las técnicas DR permiten encontrar estructuras latentes de baja dimensionalidad en espacios de datos de alta dimensión, definiendo un mapeo que permite proyectar puntos de alta dimensión en un espacio latente de baja dimensión -típicamente 2D o 3D- que puede visualizarse y permite la implementación de mecanismos de interacción. Se puede encontrar una revisión detallada de las técnicas DR en el libro [8].

La presentación visual de los resultados de estos algoritmos es una excelente forma de comunicación [19] que puede mejorar la comprensión del problema y sugerir una actuación más rápida. Los mecanismos de interacción introducen al humano en el proceso de análisis, permitiéndole incorporar conocimiento de dominio del problema durante la exploración de datos, en lugar de usar representa-

ciones estáticas. Los métodos de analítica visual (VA) permiten explotar la sinergia entre los algoritmos de análisis de datos inteligente, las técnicas de visualización y la interacción para apoyar al usuario en la consecución de un análisis eficiente. El enfoque VA se basa en el razonamiento analítico a través de interfaces interactivas, como se explica en [15] y [6].

En este artículo se propone un análisis del chatter utilizando el enfoque VA, permitiendo al usuario explorar las diferentes condiciones dinámicas del proceso. Esto se realiza a través de una interfaz web que permite el análisis de datos reales resultantes de algoritmos que separan comportamientos dinámicos de condiciones normales y de fallo (chatter). Los comportamientos dinámicos, caracterizados por vectores de características de alta dimensión son proyectados en un espacio latente 2D usando un algoritmo DR, y representados en una interfaz web interactiva sobre la que el usuario puede explorarlos y obtener detalles bajo demanda, como el espectrograma. El artículo está organizado como sigue: en la sección 2 se revisan trabajos previos que analizan el proceso de laminación; en la sección 3 se explica el análisis de datos para tratar el fallo del chatter; en la sección 4 se describe un caso de estudio real como método de validación; finalmente, en la sección 5 se exponen las conclusiones y se sugieren las líneas para el trabajo futuro.

2. TRABAJO RELACIONADO

Los fenómenos de vibración aparecen en procesos de laminación como resultado de las interacciones dinámicas producidas [16]. Hay dos modos principales de vibración vertical: el modo de tercera octava (120-250 Hz) y el modo de quinta octava (500-700 Hz), siendo el primero de ellos el más dañino, que ocurre de forma repentina acumulando una gran cantidad de energía en pocos segundos. Identificamos aquí al chatter con este modo de vibración de tercera octava.

Varios trabajos han estudiado este fenómeno previamente. Los primeros estudios sobre el tema [21, 10, 14] definen el chatter como un modo autoexcitado de vibración, y estudian las posibles causas a través de modelos. En [23], se recogen varios modelos para la estructura del tren y el proceso de laminación, los cuales se combinan para obtener modelos de chatter.

Los modelos estructurales clásicos están basados en un sistema masa-muelle, donde las fuerzas se representan en términos de rigidez y amortiguamiento. Dado que algunos de estos modelos asumen simetría respecto al hueco de los rodillos, so-

lo la parte superior se considera para el análisis. Los modelos del proceso de laminación son expresiones matemáticas relacionadas con los parámetros de laminación que ayudan a determinar, por ejemplo, la fuerza de laminación, el par, el punto neutro, la tensión, etc. Todas implican coeficientes tales como el límite elástico y la fricción.

Matemáticamente, puede representarse un modelo simplificado mediante una ecuación diferencial que contiene las dependencias entre variables expresadas en la ecuación 1 (omitiendo referencia explícita a las derivadas de diversos órdenes que puedan aparecer), donde el espesor de salida (h_s) depende de la fuerza de laminación (F), las tensiones de entrada y salida (σ_e y σ_s), las velocidades (v_e y v_s) y el espesor de entrada (h_e). El principal objetivo es el estudio de la función f y las variables que afectan internamente al sistema:

$$h_s = f(F, \sigma_e, \sigma_s, v_e, v_s, h_e) \quad (1)$$

Hay más elementos en el proceso que intervienen en el funcionamiento del sistema completo. En [20] se propone un modelo de caja única en espacio de estados, acoplado modelos del proceso dinámico de laminación, la estructura de la caja y el sistema servo hidráulico. Este sistema se simplifica para llevar a cabo un control robusto del espesor. También, el estudio de la estabilidad con respecto a los parámetros de laminación en [4] o el uso de modelos de múltiples cajas en trenes de laminación tipo tándem, como se explica en [24] o en [5], incrementan la complejidad del estudio. Por tanto, aún existen dificultades para una comprensión completa de las condiciones que conducen a la inestabilidad del sistema.

Los algoritmos de análisis de datos pueden utilizarse para estudiar las condiciones dinámicas. Por ejemplo, los mapas topológicos autoorganizados se han utilizado para explorar el comportamiento dinámico de procesos industriales, incluido el análisis de trenes de laminación [3]. También se ha descrito el uso de técnicas de *manifold learning* para generar mapas visuales de estados de vibración en máquinas rotativas [2] o comportamientos dinámicos de trenes de laminación en frío, proyectados en una visualización estática [11], que puede utilizarse como un mapa de estados de vibración del proceso. En [7] y en [17] se pueden encontrar referencias acerca de cómo los beneficios cognitivos de la visualización pueden ayudar a interpretar de forma eficiente la información.

Aunque estos trabajos aportan mapas para analizar comportamientos dinámicos, carecen de mecanismos de interacción que podrían mejorar drásticamente la exploración de datos. La interacción es

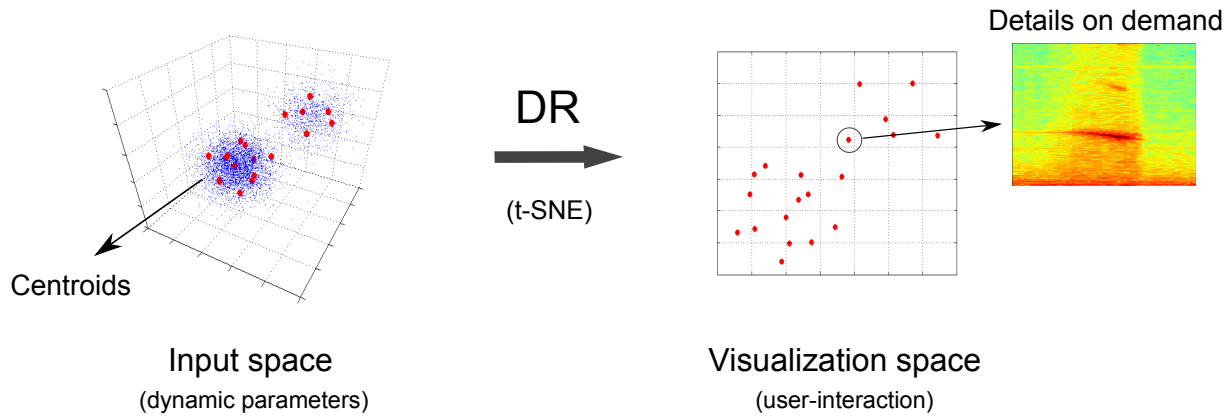


Figura 1: Esquema donde características dinámicas de los datos se proyectan en un espacio de visualización.

una parte clave en los interfaces visuales, porque permite la manipulación y el enfoque selectivo en la representación. Trabajos previos, como [13] o [22], describen taxonomías de los mecanismos de interacción. La combinación entre los algoritmos y los beneficios de la visualización sugieren soluciones basadas en el paradigma de analítica visual para abordar problemas complejos [6].

3. DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS

En esta sección se describe un procedimiento para el análisis de datos del chatter que permite aportar intuición al problema. Aquí se expone un método automático de identificación de condiciones de funcionamiento, una extracción de características y un método para obtener la proyección. En la Fig. 1 se muestra un esquema del enfoque propuesto.

3.1. IDENTIFICACIÓN DE CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

En primer lugar, se llevó una extracción de estados de funcionamiento para identificar condiciones normales y de chatter mediante algoritmos automáticos. Este proceso se lleva a cabo en dos fases:

3.1.1. Condiciones de chatter

El algoritmo de identificación de episodios de chatter se basa en el seguimiento del armónico de máxima amplitud de una señal $A(t)$, que puede ser la desviación de espesor de salida o la vibración de una caja, dentro de la banda de chatter usando “Short-Time Fourier Transform” (STFT) o espectrograma. Se considera la posibilidad de existencia de chatter cuando dicho armónico su-

pera cierto umbral A_c . Para confirmar la presencia de un episodio de chatter el algoritmo también se apoya en la identificación de bajadas de velocidad de laminación $v(t)$ presumiblemente realizadas por el sistema de detección de chatter existente en el tren. El funcionamiento del algoritmo depende del ajuste de un cierto número de parámetros, como por ejemplo los límites de la banda de chatter, el umbral para el armónico de máxima amplitud, y otros, hasta completar un número de alrededor de 16. La mayoría de esos parámetros se han ajustado de manera heurística. Una de las razones de hacerlo así es la falta de conocimiento exacto de los detalles del funcionamiento del propio sistema de detección de chatter instalado en el tren. Por tanto es de interés disponer de una herramienta que permita evaluar los resultados del algoritmo y ayudar a la selección de sus parámetros, como se verá más adelante.

En la Fig. 2 se muestra un esquema de este sistema de identificación automático. En el caso de detectarse una condición de chatter, se calcula un coeficiente α ajustando la evolución temporal del armónico analizado a la ecuación $A(t) = Ke^{\alpha t}$. Este parámetro puede utilizarse como una medida de la severidad de la inestabilidad producida por el fallo.

3.1.2. Condiciones normales

A partir de las bobinas que no contenían episodios de chatter, se implementó una identificación de condiciones normales detectando tramos constantes en la velocidad de laminación de la última caja, descartando todas las variaciones que pueden suceder tales como el aumento y descenso que suceden en inicio y el final del proceso de laminación respectivamente.

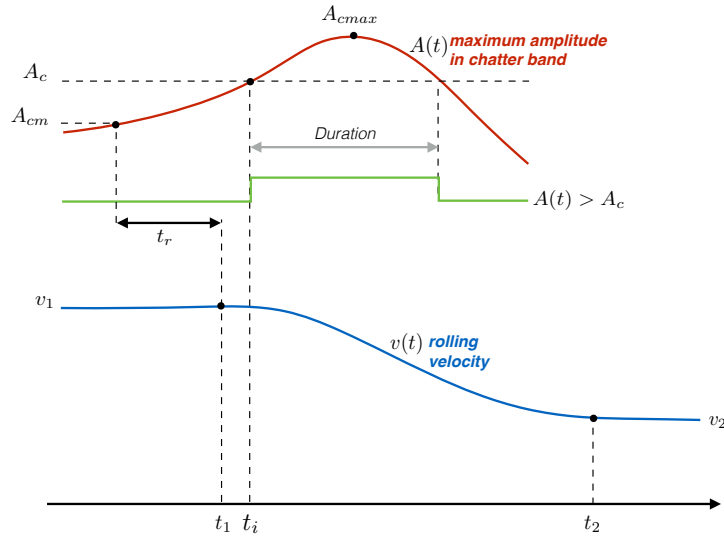


Figura 2: Esquema del método de identificación de chatter.

3.1.3. Extracción de características

Finalmente, una vez que ambos tipos de funcionamiento han sido detectados, se tomaron segmentos de 1 segundo para calcular ciertas características en cada condición, para varias variables.

3.2. MÉTODO DE PROYECCIÓN DE DATOS

Se implementó un sencillo método para obtener un conjunto manejable para calcular su proyección. En la Fig. 3 se muestra un diagrama de bloques del método implementado.

Dado que existen una gran cantidad de condiciones normales que pueden identificarse, se llevó a cabo un submuestreo, seguido de una etapa de cuantificación vectorial usando el método k -means, con el objeto de reducir el conjunto de datos para este tipo de condición. Los centroides resultantes son prototipos representativos de este tipo de funcionamiento del proceso, pero no describen puntos reales del proceso. Con el objeto de trabajar con situaciones reales, se consideraron, por tanto, los puntos más cercanos a los prototipos.

Reuniendo todos los vectores de condiciones normales y de chatter, se construyó una matriz de datos y se normalizó eliminando la media y escalándola de forma que tenga varianza unidad para cada variable.

Se obtuvo una proyección para visualizar las similitudes usando el algoritmo t -SNE [18]. Esta técnica es muy superior a las anteriores basadas en esquemas básicos de preservación de distancias. El t -SNE, por el contrario, considera la vecindad de

los puntos de entrada $\{\mathbf{x}_i\}_{i=1,\dots,N}$ siendo $\mathbf{x}_i \in \mathbb{R}^D$, por medio de una matriz de probabilidad P , donde:

$$p_{ji} = \frac{\exp(-\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2/2\sigma_i^2)}{\sum_{k \neq i} \exp(-\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_k\|^2/2\sigma_i^2)} \quad (2)$$

El algoritmo utiliza una transformación simétrica de dicha matriz. En paralelo, las probabilidades de los puntos de baja dimensión, $\{\mathbf{y}_i\}_{i=1,\dots,N} \in \mathbb{R}^d$ con $d < D$ son modelados mediante una distribución t -Student de un grado de libertad, definiéndose Q como:

$$q_{ij} = \frac{(1 + \|\mathbf{y}_i - \mathbf{y}_j\|^2)^{-1}}{\sum_{k \neq l} (1 + \|\mathbf{y}_k - \mathbf{y}_l\|^2)^{-1}} \quad (3)$$

Las diferencias entre las distribuciones de probabilidad P y Q son evaluadas utilizando la divergencia de Kullback-Leibler:

$$D_{KL}(P||Q) = \sum_j p_{ij} \log \frac{p_{ij}}{q_{ij}} \quad (4)$$

El cálculo de los puntos \mathbf{y}_i que minimizan esta divergencia permite obtener la proyección resultante.

4. CASO DE ESTUDIO

4.1. Análisis de datos reales

Para validar el análisis se utilizan datos reales de un tren tándem procedentes de un proceso de laminación en frío. Los algoritmos descritos en la sección 3 se desarrollaron en lenguaje Python utilizando paquetes como pandas, scipy o scikit-learn.

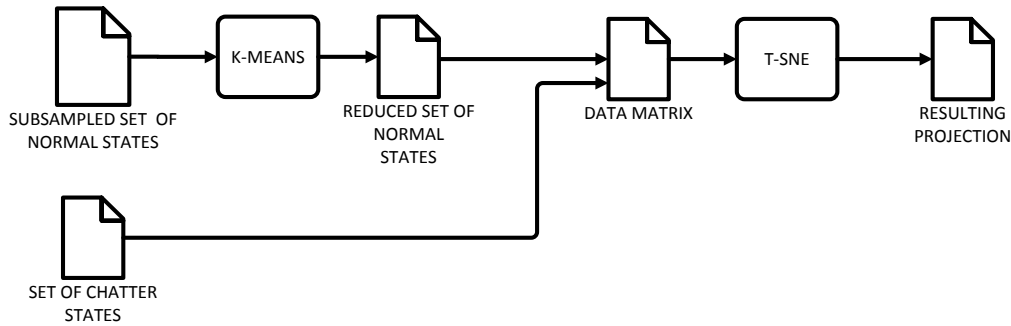


Figura 3: Flujograma para la obtención de la proyección.

Los datos recogidos de un tren tándem de laminación en frío corresponden a una producción de 4102 bobinas. Las variables seleccionadas para caracterizar las condiciones dinámicas incluyen magnitudes como fuerzas, tensiones, velocidades de laminación o reducciones estimadas $(r_i = 1 - \frac{v_{ie}}{v_{is}})$, siendo v_{ie} y v_{is} las velocidades de entrada y salida respectivamente en la caja i . Estas variables se describen de manera detallada en la Tabla 1. Para obtener la proyección, se consideran todas las variables de la tabla, excepto el número de identificación (1) y el tipo de material (2). Las características utilizadas son los valores medios de segmentos de la señal (de un segundo de duración), excepto en el caso de las vibraciones, para las que se calcularon los valores eficaces (RMS).

Tabla 1: Descripción de las variables.

#	Descripción	Unidades
1	Número de identificación	-
2	Tipo de material	-
3	Espesor objetivo de entrada	μm
4	Espesor objetivo de salida	μm
5	Ancho de la bobina	mm
6	Suma de fuerzas en caja 4	t
7	Suma de fuerzas en caja 5	t
8	Tensión entre cajas 3-4	t
9	Tensión entre cajas 4-5	t
10	Velocidad laminación caja 3	m/min
11	Velocidad laminación caja 4	m/min
12	Velocidad laminación caja 5	m/min
13	Vibración caja 4 (RMS)	g
14	Vibración caja 5 (RMS)	g
15	Desviación espesor de salida	%
16	Reducción caja 4	-
17	Reducción caja 5	-

A pesar de no utilizar en este caso características dinámicas realmente, las características escogidas pretenden discriminar entre diferentes puntos de

funcionamiento que, al tratarse de un sistema no lineal y variante, corresponderán a diferentes comportamientos dinámicos.

Se aplicó el método explicado en la Sección 3.2 a un conjunto de entrenamiento de condiciones normales con un tamaño de más de 1 millón de observaciones. La operación de submuestreo redujo el conjunto a 10000 muestras y con el algoritmo k -means resultan finalmente 1000 centroides, con los que se calculan sus puntos más cercanos. Por otra parte, las condiciones de chatter identificadas fueron 519 episodios, por lo que la matriz de datos resultante tiene unas dimensiones de 1519×15 . Para realizar la reducción de la dimensionalidad, se utilizó el algoritmo t -SNE de la librería scikit-learn, con una inicialización PCA, una velocidad de aprendizaje (*learning rate*) de 900 y una perplejidad (*perplexity*) de 30, ambas determinadas experimentalmente.

Para calcular los espectrogramas se utilizó la señal de la desviación de espesor de salida, con un segmento de tamaño 1024 y ventana Tukey. Para facilitar su comparación, todos los espectrogramas se calcularon en la misma banda de frecuencias, comprendida entre 0 y 400 Hz y con la misma escala de color para las amplitudes. Asimismo, se calculó la mayor duración de un episodio de chatter (que resultó ser de 10 segundos) para establecer un rango de tiempos común para todos los espectrogramas.

4.2. Aplicación web

La aplicación debería permitir al usuario identificar estados dinámicos similares rápidamente en una vista general donde se puedan identificar las condiciones de fallo fácilmente. Esto se obtiene por medio de la proyección t -SNE de los vectores dinámicos, la cual proporciona un mapa de los estados dinámicos donde puntos cercanos representan condiciones dinámicas similares. La evaluación de estos episodios se puede realizar fácilmente

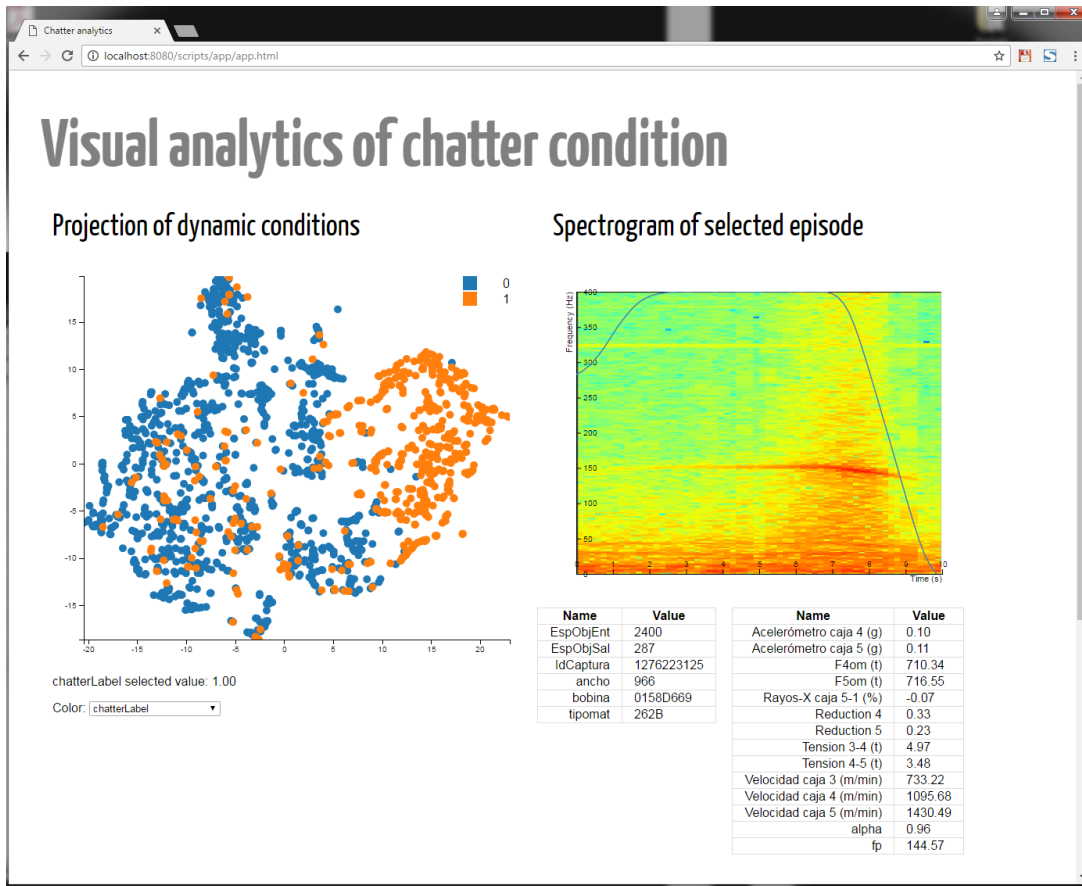


Figura 4: Captura de pantalla de la aplicación mostrando la proyección de los estados dinámicos (izda.), el espectrograma (dcha.) y las tablas.

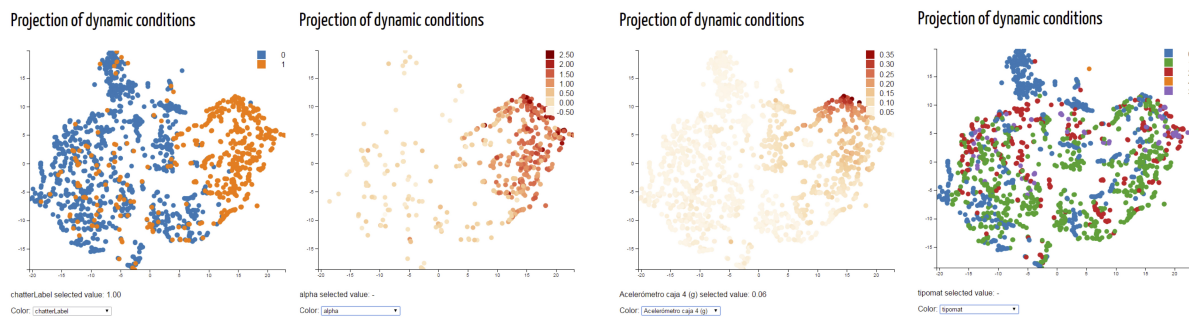


Figura 5: Proyección usando varias escalas de color (de izda. a dcha.): estado normal/chatter, parámetro α , vibración en la 4ª caja y tipo de material.

a través de los espectrogramas, que aportan una representación tiempo-frecuencia detallada de cada episodio. Esto se puede hacer bajo demanda, estableciendo conexiones entre ambas vistas.

En la Fig. 4 se muestra una captura de pantalla del prototipo web diseñado. La representación de puntos muestra la proyección t-SNE de los estados dinámicos donde el color de los puntos muestra el valor de una determinada variable, con una escala de color predefinida. El usuario puede cambiar esa variable por medio de un selector. Mecanismos de interacción adicionales, como zoom o pan, están disponibles para facilitar la exploración en la proyección.

Gracias al principio de especialización proporcionado por el algoritmo t-SNE (cercano similar), los estados de chatter parecen estar más aislados que el resto de las condiciones normales de operación, haciéndolos visualmente identificables por el usuario. Sin embargo, algunas excepciones de episodios que fueron etiquetados como chatter en etapas previas, se situaron en el área del mapa de condición normal, donde evaluaciones más detalladas pueden llevarse a cabo utilizando esta aplicación.

Moviendo el puntero del ratón sobre los puntos de la proyección, se resalta el punto seleccionado y el valor exacto de la variable del color se muestra en un texto debajo. Además, si es un episodio de chatter, el espectrograma calculado se muestra a la derecha. La línea azul sobre el espectrograma indica la velocidad de laminación de la última caja. Todos los espectrogramas, se calcularon con las mismas especificaciones, entre 0 y 400 Hz y un rango de tiempo de 10 segundos, como se indicó previamente. Los mismos mecanismos de zoom y pan se pueden aplicar al espectrograma, permitiendo al usuario navegar en los detalles de la imagen. Esto ayuda al usuario a confirmar, de manera visual, la existencia de un episodio de chatter identificado de manera automática previamente.

Debajo de la imagen del espectrograma hay dos tablas que muestran los detalles del punto elegido. La tabla de la izquierda incluye parámetros característicos de la bobina, como el ancho, tipo de material, o espesor objetivo. La tabla de la derecha muestra valores de la condición dinámica como los valores medios.

Mientras el usuario navega por los puntos proyectados, el espectrograma y los valores de las tablas se actualizan de manera instantánea. Esto permite una rápida exploración de las condiciones dinámicas y la evaluación de los detalles de cada episodio de chatter, previamente identificado, que el usuario seleccione.

En la Fig. 5 se muestra la proyección con diferentes

escalas de color representando varias variables (de izquierda a derecha): el estado de normal/chatter, parámetro α , vibración en caja 4 y tipo de material. La comparación entre las distintas representaciones permite encontrar relaciones entre variables. Por ejemplo, puede apreciarse cómo la figura muestra al usuario visualmente que el parámetro α tiene valores más altos para los estados de chatter dentro del área de chatter o que la mayor vibración de la caja 4 corresponde a parte de los estados de chatter.

5. CONCLUSIONES

En este artículo se propone un enfoque basado en el paradigma de *analítica visual* para un análisis exploratorio de condiciones de chatter. Se procesaron datos reales procedentes de un proceso de laminación en frío para identificar condiciones de funcionamiento normales y de chatter de forma automática. Se calcularon vectores compuestos por 15 descriptores del proceso para caracterizar ambos tipos de estados dinámicos. A partir de estos vectores se realizó una proyección 2D utilizando el algoritmo t-SNE, que aporta una visualización eficaz de los estados y a la vez permite mostrar de forma rápida los espectrogramas correspondientes a los estados de chatter, mediante eventos tipo *hover*.

Se desarrolló una aplicación web para exploración interactiva de datos que ayuda al usuario a obtener una vista general de las condiciones normales y de chatter en el proceso, que al mismo tiempo aporta detalles bajo demanda de cualquier episodio de chatter identificado. De esta manera, se han revisado visualmente episodios previamente detectados como chatter de manera automática que resultan dudosos, pudiéndose evaluar el grado de severidad del episodio. Por tanto, esto puede ser utilizado como herramienta para una validación visual del fallo del chatter, así como método de apoyo para el refinado experimental de los parámetros involucrados en el algoritmo de detección automática de chatter.

Las líneas de trabajo futuro incluyen el desarrollo de vistas coordinadas, dotadas de nuevos mecanismos de interacción como el filtrado, que permitan al usuario seleccionar las partes interesantes de los datos para descubrir conocimiento nuevo acerca de los fallos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO), Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) “Una manera de hacer

Europa”, bajo el proyecto de referencia DPI2015-69891-C2-2-R.

Referencias

- [1] J. Alexander. On the theory of rolling. In *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, volume 326, pages 535–563. The Royal Society, 1972.
- [2] I. Díaz, A. A. Cuadrado, A. B. Díez, and M. Domínguez. Manifold learning for visualization of vibrational states of a rotating machine. In *ICANN (2)*, pages 285–292, 2011.
- [3] I. Díaz, M. Domínguez, A. A. Cuadrado, and J. J. Fuertes. A new approach to exploratory analysis of system dynamics using som. applications to industrial processes. *Expert Systems with Applications*, 34(4):2953–2965, 2008.
- [4] A. Heidari and M. R. Forouzan. Optimization of cold rolling process parameters in order to increasing rolling speed limited by chatter vibrations. *Journal of Advanced Research*, 4(1):27–34, Jan. 2013.
- [5] P.-H. Hu and K. F. Ehmann. Stability analysis of chatter on a tandem rolling mill. *Journal of Manufacturing Processes*, 2(4):217–224, 2000.
- [6] D. A. Keim, F. Mansmann, J. Schneidewind, J. Thomas, and H. Ziegler. *Visual analytics: Scope and challenges*. Springer, 2008.
- [7] J. H. Larkin and H. A. Simon. Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive science*, 11(1):65–100, 1987.
- [8] J. A. Lee and M. Verleysen. *Nonlinear dimensionality reduction*. Springer, New York; London, 2007.
- [9] E. Orowan. The calculation of roll pressure in hot and cold flat rolling. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 150(1):140–167, 1943.
- [10] D. L. Paton and S. Critchley. Tandem mill vibration: Its cause and control. In *Mechanical Working; Steel Processing XXII, Proceedings of the 26th Mechanical Working; Steel Processing Conference.*, pages 247–255, Chicago, IL, USA, 1985. Iron and Steel Soc Inc.
- [11] D. Pérez, F. García-Fernández, I. Díaz, A. Cuadrado, D. Ordonez, A. Díez, and M. Domínguez. Visual analysis of a cold rolling process using a dimensionality reduction approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(8):1865–1871, 2013.
- [12] W. L. Roberts. *Cold rolling of steel*. Marcel Dekker, Inc., New York, 1978.
- [13] B. Shneiderman. The eyes have it: A task by data type taxonomy for information visualizations. In *Visual Languages, 1996. Proceedings., IEEE Symposium on*, pages 336–343. IEEE, 1996.
- [14] T. Tamiya, K. Furui, and H. Iida. Analysis of chattering phenomenon in cold rolling. In *International Conference on Steel Rolling.*, volume 2, pages 1191–1202, 1980.
- [15] J. J. Thomas and K. A. Cook. *Illuminating the path: The research and development agenda for visual analytics*. IEEE Computer Society Press, 2005.
- [16] J. Thusty, G. Chandra, S. Critchley, and D. Paton. Chatter in cold rolling. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 31(1):195–199, 1982.
- [17] E. R. Tufte and P. Graves-Morris. *The visual display of quantitative information*, volume 2. Graphics press Cheshire, CT, 1983.
- [18] L. Van der Maaten and G. Hinton. Visualizing data using t-SNE. *Journal of Machine Learning Research*, 9:2579–2605, 2008.
- [19] C. Ware. *Information visualization: perception for design*. Elsevier, 2012.
- [20] X. Yang and C.-n. Tong. Coupling dynamic model and control of chatter in cold rolling. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 134(4):041001, 2012.
- [21] I. Yarita. Analysis of chattering in cold rolling for ultra-thin gauge steel strip. *Trans. Iron Steel Inst. Jpn.*, 18(1):1–10, 1978.
- [22] J. S. Yi, Y. ah Kang, J. T. Stasko, and J. A. Jacko. Toward a deeper understanding of the role of interaction in information visualization. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 13(6):1224–1231, 2007.
- [23] I. S. Yun, W. R. D. Wilson, and K. F. Ehmann. Review of chatter studies in cold rolling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 38(12):1499–1530, 1998.
- [24] H. Zhao and K. F. Ehmann. Stability analysis of chatter in tandem rolling mills?part 1: single-and multi-stand negative damping effect. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 135(3):031001, 2013.