

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>	

Modelado de micro-central hidráulica para el diseño de controladores con aplicación en regiones aisladas de Honduras

A. Tapia, P. Millán, F. Gómez-Estern, C. Ierardi, A. R. del Nozal
 Universidad Loyola Andalucía, {atapia,pmillan,fgestern,cierardi,arodriguez}@uloyola.es

Resumen

Este artículo trata el modelado de una planta de micro-generación destinada al abastecimiento eléctrico de regiones aisladas en países en vías de desarrollo. El objetivo del modelo es caracterizar fielmente el comportamiento de estas microcentrales ante acciones externas como la actuación sobre la válvula de admisión y la conexión o desconexión repentina de cargas. Este modelo permitirá el desarrollo de estrategias de control eficientes, robustas y sencillas, adaptadas al contexto de precariedad de este tipo de instalaciones.

1. Introducción

En 2012 [11] un 20 % de la población hondureña no disponía de acceso a electricidad y en las zonas rurales la cobertura llegaba al 50 % de la población, con desigual distribución según departamentos. De la producción eléctrica total (con un consumo de energía eléctrica de 711.1 kWh y 721 kWh per capita, en 2012 y 2013), el 43.7 % provenía de fuentes de energía renovables, en un país con un alto índice de vulnerabilidad (0.92) al cambio climático [10].

Los datos anteriores ilustran la relevancia al proyecto que aquí se presenta. La iniciativa en que se enmarca este trabajo, hereda la experiencia de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) en la instalación de micro-turbinas Pelton rudimentarias para la provisión de energía hidroeléctrica en zonas sin acceso al tendido eléctrico nacional. La tradicional turbina Pelton empleada por FHIA genera entre 7.5 y 15 kW y provee energía eléctrica limpia para entre 20 y 50 familias por comunidad, mejora las condiciones de vida de la población y logra preservar el medio ambiente, evitando talas para la quema de leña. La Universidad Loyola Andalucía y la Fundación ETEA están colaborado con FHIA en la mejora de sus sistemas de generación, así como del proceso de diseño e instalación en las comunidades. Como aplicación práctica, este proyecto se desarrolla en una planta piloto en la comunidad hondureña de San Miguelito, Departamento de Santa Bárbara.

Este trabajo, que constituye el primer paso en el desarrollo de nuevas soluciones encaminadas a mejorar los sistemas de generación, consiste en el modelado completo de una planta de generación micro-hidráulica, de forma que se caracterice de forma fiel el comportamiento de la misma ante variaciones de los agentes externos, como son la carga conectada y la válvula de admisión de caudal. Este modelo garantizará el testeo de los diferentes esquemas de regulación que se desarrollen en el mismo marco.

Para el modelado del sistema se ha utilizado un modelo de Bernouilli no estacionario para caracterizar el comportamiento del flujo de agua a lo largo de la tubería forzada, un modelo de interacción mecánica para determinar la dinámica del conjunto chorro-turbina-eje y un modelo de generador trifásico para obtener la evolución de las variables eléctricas en función del régimen de funcionamiento del generador. Gracias al modelo resultante de acoplar estos sub-modelos se ha permitido simular, utilizando el entorno Matlab®, el sistema completo, caracterizando tanto los puntos de operación como su evolución, así como las necesidades de control para la estabilización del suministro.

2. Descripción del sistema

En la planta estudiada, representada en la figura 1, pueden distinguirse dos partes: el sistema de conducción y el de generación:

- El sistema de conducción, formado por la presa, la tubería forzada y el inyector, está formado por los elementos destinados a la obtención del flujo de agua y la conversión de la energía potencial de éste en energía cinética.
- En el sistema de generación, formado por la turbina, el eje y el generador, la energía cinética es transformada en eléctrica.

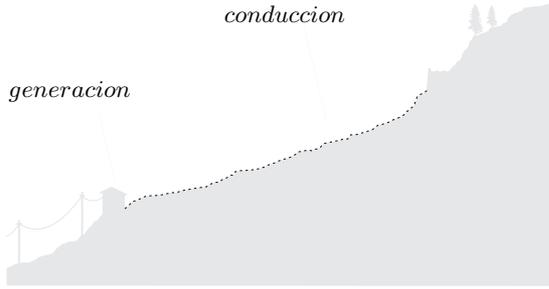


Figura 1: Esquema de la planta

3. Modelado

A continuación se presenta el desarrollo de las ecuaciones que gobiernan el comportamiento de cada una de las partes del sistema, cuya estructura se muestra en la figura (2), donde las variables de control son: la apertura de la válvula de entrada u (que determina el caudal q inyectado en la turbina), el ciclo de trabajo del chopper α (que determina el valor de la tensión de la excitación V_{fn}) y la carga conectada R . Las salidas de interés (las que requieren ser controladas) son la tensión de salida V_{fn} y la velocidad de giro de la turbina n , viniendo ésta determinada por el equilibrio de momentos en el eje, entre el momento motor provocado por la turbina M_m y el resistente M_{res} , provocado por el generador y la fricción.

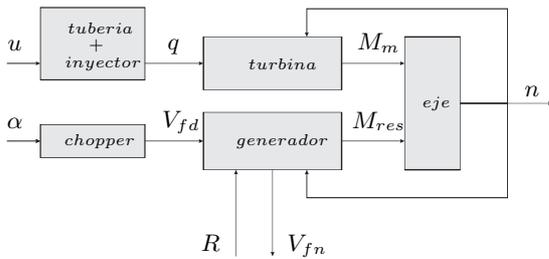


Figura 2: Esquema del sistema completo

3.1. Presa y tubería forzada

Para analizar la variación del caudal q a través de la tubería forzada se ha asumido la hipótesis de líquido incompresible. Con esta hipótesis, el principio de Bernoulli para flujos no estacionarios [3] se puede expresar como:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{L_p}{gA_p}(H_g - h_{jet} - h_{fric}), \quad (1)$$

donde (H_g representa la altura bruta de la instalación (definida como la diferencia de cota entre la presa y la turbina), la altura del agua en la inyección (definida como la energía cinética del chorro en la entrada de la turbina de acción) y las

pérdidas de altura provocadas por la fricción a lo largo de la tubería. Introduciendo la constante de tiempo $T_w = L_p/gA_p$, la ecuación anterior puede expresarse como:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{1}{T_w}(H_g - h_{jet} - h_{fric}). \quad (2)$$

El término de fricción de la expresión 1 puede estimarse según diferentes expresiones experimentales de la literatura. Utilizando la expresión de Hazen-Williams [1] para flujo completamente desarrollado en tuberías, el término puede expresarse como el producto de una constante de la tubería por el cuadrado del caudal, según:

$$h_{fric} = K_p q^2, \quad (3)$$

donde la constante K_p se puede definir como:

$$K_p = 0,2787CD^{2,63}S^{0,54}q^2, \quad (4)$$

donde D es el diámetro de la tubería forzada y C es una constante propia del material y del proceso de fabricación de la misma.

3.2. Inyector

El comportamiento del caudal q al atravesar el inyector puede asumirse ideal. La altura del chorro de agua al final de la tubería forzada es igual a la altura a la salida del inyector, donde se convierte íntegramente en energía cinética, según

$$h_{jet} = \frac{v_{jet}^2}{2g}. \quad (5)$$

Assumiendo que el flujo está completamente desarrollado, la velocidad del chorro v_{jet} puede determinarse como el caudal dividido por el área de salida S_{jet} :

$$v_{jet} = \frac{q}{S_{jet}}. \quad (6)$$

El área de salida es variable, y depende de la posición de la válvula u , de manera que debe establecerse una relación entre S_{jet} y u . Generalmente, la geometría de los inyectores implica relaciones no lineales entre estas variables, y se pueden encontrar diferentes propuestas no lineales en la literatura [2] [7]. Por simplificación, en el presente trabajo se asumirá la linealidad entre la actuación y el área de salida, de forma que la posición de la válvula sea directamente proporcional al caudal q , quedando que $S_{jet} = S_{noz}u$. Sustituyendo esta expresión en (6) se tiene:

$$v_{jet} = \frac{q}{S_{noz}u}, \quad (7)$$

donde la posición de la válvula u puede variar entre 0 (completamente cerrada) y 1 (completamente abierta). Sustituyendo el valor de v_{jet} en la

expresión (5), se obtiene que la altura entregada por el chorro es:

$$h_{jet} = \frac{q^2}{2gS_{noz}^2 u^2}. \quad (8)$$

3.3. Turbina Pelton

Debido a las características de gran altura bruta y bajo caudal, la turbina estudiada para esta aplicación es de acción tipo Pelton [6]. En estas turbinas, el agua impacta, a presión atmosférica, sobre una serie de cucharas dispuestas radialmente en el rodete, como se muestra en la figura 3.

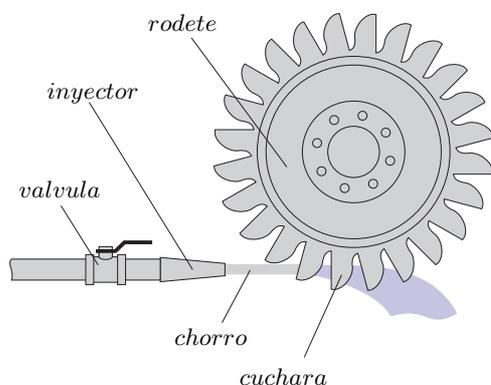


Figura 3: Esquema de funcionamiento de la turbina Pelton

Asumiendo un comportamiento ideal, al impactar en las cucharas el chorro se divide simétricamente y recorre el interior de las mismas (figura 4), saliendo de ellas en la misma dirección y sentido contrario que la entrada. Utilizando u , v y w

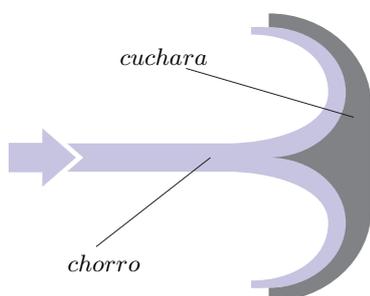


Figura 4: Impacto del chorro sobre una cuchara de la turbina

para denominar, respectivamente, a la velocidad de la cuchara, la velocidad del chorro y la velocidad relativa de éste respecto a la cuchara, queda claro que, mediante composición de velocidades, $w = v - u$. Utilizando los subíndices 1 y 2 para la entrada y la salida, respectivamente, los triángulos de velocidades de la turbomáquina quedan como se muestra en la figura 5.

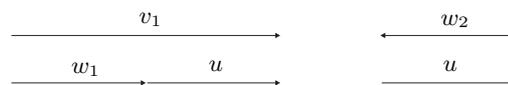


Figura 5: Triángulos de velocidad a la entrada (arriba) y a la salida (abajo)

La ecuación fundamental de las turbomáquinas [9] [8] permite detener la energía específica intercambiada gH_t en función de las velocidades anteriormente descritas, según:

$$gH_t = u_1 v_{u1} - u_2 v_{u2},$$

donde el subíndice u indica la proyección sobre la velocidad tangencial de la cuchara. Sustituyendo los valores deducidos de los triángulos de velocidades de la figura 5, la expresión anterior queda:

$$gH_t = 2u(v_1 - u). \quad (9)$$

la velocidad de la cuchara u se puede expresar en función de la velocidad angular del rodete n como $u = nR$, y la velocidad de entrada v_1 no es más que la velocidad del chorro calculada anteriormente, v_{jet} . La potencia intercambiada se puede obtener como el producto de la energía específica por la densidad del flujo ρ y por el caudal volumétrico q , quedando:

$$P = \rho g q H_t,$$

donde el término gH_t está definido en (9). La potencia, asimismo puede definirse como el momento que ejerce el chorro sobre el rodete (momento motor), M_m , multiplicado por el radio del mismo, R_p . De esta manera, se puede obtener el momento motor como:

$$M_m = 2\rho q \left(\sqrt{2gh_{jet}} - nR_p \right) R_p \quad (10)$$

Sustituyendo aquí la expresión (8), queda:

$$M_m = 2\rho R_p \left[\frac{q}{S_{noz} u} - nR_p \right] q \quad (11)$$

3.4. Rodete

El comportamiento del conjunto turbina-eje-generador puede determinarse aplicando el equilibrio de momentos sobre el mismo, como se muestra en la figura 6. Denominando con J la inercia total del conjunto, la ecuación de equilibrio queda:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{1}{J} (M_m - M_{res}), \quad (12)$$

donde M_m está definido en (11), M_{res} representa el momento total resistente, que involucra tanto al

par eléctrico provocado por la carga conectada al generador, M_e , como al par de fricción M_f de los cojinetes, según:

$$M_{res} = M_e + M_f. \quad (13)$$

El efecto del rozamiento viscoso de los cojinetes puede expresarse como un momento lineal con la velocidad de giro del eje n , tal que:

$$M_f = K_s n, \quad (14)$$

siendo K_s una constante del conjunto mecánico.

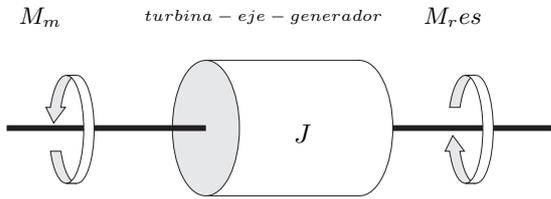


Figura 6: Esquema de la planta

3.5. Generador

Para determinar el valor del par eléctrico resistente M_e , se utilizará un modelo dinámico del generador. Se considera una máquina síncrona de polos salientes, cuyo esquema se muestra en la figura 7.

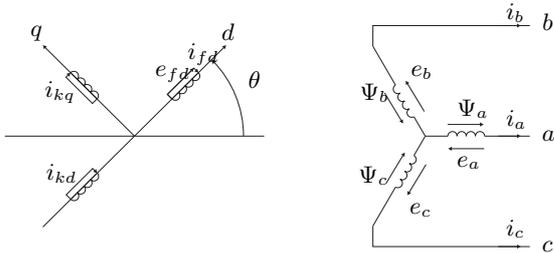


Figura 7: Esquema del generador síncrono: rotor (izq.) y estator (dcha)

Se harán además las siguientes hipótesis, :

1. Se despreciará la saturación e histéresis del núcleo magnético
2. Las inductancias propias y mutuas del rotor no varían con la posición del mismo.
3. Las inductancias propias y mutuas del estator varían sinusoidalmente con la posición del mismo.

4. Los flujos magnéticos provocados por las corrientes en los enrollados son sinusoidales en el entrehierro.

Partiendo de estos supuestos, se desarrolla el modelo del generador planteando las ecuaciones en los circuitos eléctricos y magnéticos de cada uno de los 6 enrollados del esquema de la figura 7. Para el enrollado de la fase a , las ecuaciones de tensión y de flujo magnético quedan:

$$e_a = \frac{d\psi_a}{dt} - R_a i_a, \quad (15)$$

$$\psi_a = -l_{aa}i_a + l_{ab}i_b + l_{ac}i_c - l_{afd}i_{fd} - l_{akd}i_{kd} - l_{akq}i_{kq}, \quad (16)$$

siendo análogas las expresiones correspondientes a las fases b y c .

Por otra parte, las ecuaciones de tensión en los enrollados del rotor quedan:

$$\begin{aligned} e_{fd} &= \frac{d\psi_{fd}}{dt} - R_{fd}i_{fd}, \\ 0 &= \frac{d\psi_{kd}}{dt} - R_{kd}i_{kd}, \\ 0 &= \frac{d\psi_{kq}}{dt} - R_{fd}i_{kq}. \end{aligned} \quad (17)$$

Y las ecuaciones de enlace de flujo de los enrollados del rotor son:

$$\begin{aligned} \psi_{fd} &= L_{ffd}i_{fd} + L_{fkd}i_{kd} + L_{afd}i_a + L_{bfd}i_b + L_{cfd}i_c \\ \psi_{kd} &= L_{kkd}i_{kd} + L_{fkd}i_{fd} + L_{akd}i_a + L_{bkd}i_b + L_{ckd}i_c \\ \psi_{kq} &= L_{kkq}i_{kq} + L_{akq}i_a + L_{bkq}i_b + L_{ckq}i_c \end{aligned} \quad (18)$$

Es importante notar que, mientras las inductancias propias L_{ffd} , L_{kkd} y L_{kkq} y la inductancia mutua L_{fkd} son constantes, las inductancias mutuas entre rotor y estator l_{afd} , l_{akd} y l_{akq} , junto con las correspondientes a las fases b y c , varían sinusoidalmente con el ángulo θ .

Para evitar la complejidad que implica la dependencia de las inductancias con la posición del rotor (que a su vez depende del tiempo), el modelo se desarrollará con las variables abc transformadas en los ejes rotatorios $dq0$, utilizando el procedimiento conocido como la transformación de Park:

$$\begin{pmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{pmatrix} = [T] \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix}, \quad (19)$$

donde la matriz T de la transformación es:

$$T = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\text{sen}(\theta) & -\text{sen}(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\text{sen}(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}.$$

De esta manera, en términos de las nuevas variables las inductancias son invariables con la posición del rotor θ . La corriente i_d puede interpretarse como la corriente instantánea que circula por un enrollado de armadura ficticio ubicado en el mismo eje d del rotor, girando a su misma velocidad (figura 8). Análogamente, la corriente i_q se puede interpretar como la que circula por un enrollado dispuesto con 90° de adelanto al anterior. La corriente i_0 se corresponde a la corriente de secuencia cero asociada a las componentes simétricas. Evidentemente, el campo magnético resultante de las corrientes i_d , i_q e i_0 deben ser igual al correspondiente a las corrientes originales.

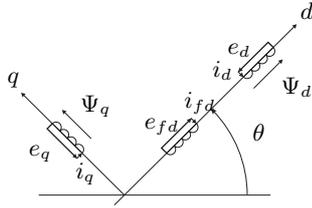


Figura 8: Esquema del generador síncrono: rotor (izq.) y estator (dcha)

Aplicando ahora la matriz de transformación de Park a los enlaces de flujo y corrientes de la expresión (16) y sus análogas para las fases b y c , se obtienen las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}\psi_d &= -L_d i_d + L_{afd} i_{fd} + L_{akd} i_{kd} \\ \psi_q &= -L_q i_q + L_{akq} i_{kq} \\ \psi_0 &= -L_0 i_0\end{aligned}\quad (20)$$

Expresando (18) en términos de las corrientes en ejes rotatorios $dq0$ se tiene:

$$\begin{aligned}\psi_{fd} &= L_{ffd} i_{fd} + L_{fk d} i_{kd} - \frac{3}{2} L_{afd} i_d \\ \psi_{kd} &= L_{kkd} i_{kd} + L_{fk d} i_{fd} - \frac{3}{2} L_{akd} i_d \\ \psi_{kq} &= L_{kkq} i_{kq} - \frac{3}{2} L_{akq} i_q\end{aligned}\quad (21)$$

Haciendo lo mismo con las ecuaciones de tensión, se tiene:

$$\begin{aligned}e_d &= \frac{d\psi_d}{dt} - \psi_q \frac{d\theta}{dt} - R_a i_d \\ e_q &= \frac{d\psi_q}{dt} + \psi_d \frac{d\theta}{dt} - R_a i_q \\ e_0 &= \frac{d\psi_0}{dt} - R_a i_0\end{aligned}\quad (22)$$

El valor del par eléctrico resistente se puede obtener en función de las variables estudiadas (REFERENCIA) como:

$$M_e = \frac{3}{2} (\psi_d i_q - \psi_q i_d) \frac{pf}{2}, \quad (23)$$

con ψ_d , i_q , ψ_q , i_d definidos anteriormente.

Por último, la ecuación de tensión (15), junto con las correspondientes a las fases b y c se mantienen iguales que en la formulación en variables abc :

$$\begin{aligned}e_{fd} &= \frac{d\psi_{fd}}{dt} + R_{fd} i_{fd} \\ 0 &= \frac{d\psi_{kd}}{dt} + R_{kd} i_{kd} \\ 0 &= \frac{d\psi_{kq}}{dt} + R_{kq} i_{kq}\end{aligned}\quad (24)$$

El acoplamiento de las variables eléctricas con la posición del rotor viene dado por la relación existente entre la velocidad de giro del eje n , y θ , según:

$$n = \frac{2}{p_f} \frac{d\theta}{dt}, \quad (25)$$

expresión con la cual queda completamente definido el comportamiento del generador. Con el fin de simplificar el modelo, se asumirán cargas puramente resistivas, simétricas y equilibradas, de manera que las expresiones (20) quedan:

$$\begin{aligned}e_d &= R i_d \\ e_q &= R i_q\end{aligned}$$

Además, ya que el sistema está destinado a funcionar en una red aislada, no aparecerán corrientes inducidas en el rotor por la diferencia de velocidad mecánica y del campo magnético producido por las corrientes de armadura, por lo que se despreciarán los enrollados amortiguadores en el modelo.

Se despreciarán además las tensiones por variación de flujo magnético, como suele ser habitual en los estudios dinámicos de sistemas eléctricos de potencia [12] [13]. Así, las expresiones de tensión del estator (24) pasan a ser:

$$\begin{aligned}e_d &= -\psi_q \frac{d\theta}{dt} - R_a i_d \\ e_q &= \psi_d \frac{d\theta}{dt} - R_a i_q\end{aligned}\quad (26)$$

Por último, se asumirá que la corriente de armadura i_d es constante, despreciando las componentes alternas que se puedan producir en condiciones transitorias, ya que son despreciables. Con esta simplificación, el enrollado de campo se reduce al circuito mostrado en la figura 9. de manera que las ecuaciones (24) se reducen a la siguiente expresión:

$$e_{fd} = L_{ffd} \frac{di_{fd}}{dt} + R_{fd} i_{fd}, \quad (27)$$

donde le tensión de excitación e_{fd} es una variable controlada según:

$$e_{fd} = \alpha V_{cc}, \quad (28)$$

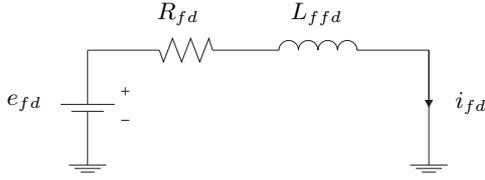


Figura 9: Circuito equivalente del enrollado de campo

siendo V_{cc} la tensión continua de entrada a chopper, y α el ciclo de trabajo del chopper, que puede variar entre 0 y 1. Con esta expresión queda completo el modelo simplificado del generador síncrono. Cabe recordar que, aunque al haberse formulado el modelo en ejes rotatorios dq las variables del estátor son una transformación ficticia de las reales, el valor efectivo de la tensión fase-neutro se puede expresar a partir de las tensiones en estos ejes, puesto que se ha considerado una carga simétrica y equilibrada. El valor de esta tensión es:

$$V_{fn} = \frac{\sqrt{e_d^2 + e_q^2}}{\sqrt{2}}. \quad (29)$$

Aunque el efecto de la saturación magnética no se ha tenido en cuenta (se asume que la relación entre la corriente y el flujo magnético por un enrollado es lineal), para asumir este efecto se propone para el modelo una aproximación lineal, en la forma:

$$L_{afd}i_{fd} \approx L_{afd_sat}i_{fd} + \psi_{adf_0}, \quad (30)$$

siendo necesario asumir la hipótesis de que el generador no operará a más de un tercio de su corriente nominal.

Se introducirá también al par eléctrico un término de par resistente provocado por las pérdidas de potencia en el núcleo magnético. Estas pérdidas se consideran como la suma de las pérdidas por histéresis, pérdidas por corrientes de Eddy y pérdidas anómalas [5] [4]. Estas últimas se suelen despreciar, resultando la potencia perdida como:

$$P_{Fe} = k_{Fe}n\dot{i}_{fd}^\beta + k_e n^2 e_{fd}^2,$$

siendo β el exponente de pérdida en el núcleo y k_{Fe} una constante de pérdidas en el núcleo, ambos parámetros constantes del generador. En esta expresión, el segundo puede despreciarse frente al primero, puesto que en el rango de velocidades nominales la intensidad i_{fd} es suficientemente pequeña como para despreciar su cuadrado. De esta forma, la expresión del par resistivo por pérdidas en el núcleo queda:

$$M_{Fe} = k_{Fe}i_{fd}^\beta. \quad (31)$$

Añadiendo el momento torsor M_{Fe} definido en (31) al valor del momento eléctrico de la expresión (23), se tiene que, finalmente:

$$M_e = \frac{3}{2}p_f^2 n (R + R_a) (\varphi_{afd_sat} + L_{afd_0} i_{fd})^2 \frac{L_q^2 p_f^2 n^2 + 4(R + R_a)^2}{\left[L_q L_d p_f^2 n^2 + 4(R + R_a)^2 \right]^2} \quad (32)$$

4. Ecuaciones de estado

Finalmente, las ecuaciones de estado correspondientes al caudal (2), a la velocidad de giro de la turbina (12) y a la corriente de excitación (27), quedan:

$$\begin{aligned} \frac{dq}{dt} &= \frac{1}{T_w} \left(H_g - K_p q^2 - \frac{1}{2g S_{noz}} \left(\frac{q}{u} \right)^2 \right) \\ \frac{dn}{dt} &= \frac{1}{J} (M_m - M_e - M_f) \\ \frac{i_{fd}}{dt} &= \frac{1}{L_{ffd}} (\alpha V_{cc} - R_{fd} i_{fd}) \\ V_{fn} &= R \frac{p_f n}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{L_q^2 P_f n^2 + 4(R + R_a)^2}}{L_q L_d P_f^2 n^2 + 4(R + R_a)^2} (\varphi_{afd_sat} + L_{afd_0} i_{fd}) \end{aligned} \quad (33)$$

donde M_m , M_e y M_f están definidos, respectivamente, en (11), (32) y (14).

Se ha llevado a cabo además una linealización del sistema, en la forma:

$$\dot{x} = Ax + Bu_c,$$

donde:

$$x = (q \quad n \quad i_{fd})^T, \quad u = (u \quad R \quad \alpha),$$

cuya adecuación al sistema real será de interés para el desarrollo de estrategias de control lineales.

5. Simulación

Tras completar el modelo completo del sistema continuo, se implementa numéricamente utilizando el software Matlab® para validar cualitativamente el funcionamiento del mismo. El valor de las constantes se resume en la tabla 1.

Se han realizado tres simulaciones, correspondientes a variaciones en las tres variables actuables:

- Apertura/cierre de la válvula de entrada u .
- Conexión/desconexión de carga R .
- Variación del ciclo de trabajo del chopper α .

Parámetro	Valor
g : aceleración de la gravedad, m/s^2	9.8
ρ : densidad del agua, Kg/m^3	1000
H_g : altura bruta, m	80
L_p : longitud de la tubería forzada, m	300
D_p : diámetro de la tubería forzada, m	0.20
D_{noz} : diámetro del inyector, m	0.022
p_f : número de polos del generador	4
V_{cc} : tensión continua del chopper, V	35
L_d : inductancia de eje directo, H	0.163
L_q : inductancia de eje en cuadratura, H	0.18
R_a : resistencia de armadura, ohm	3.87
L_{ffd} : inductancia de campo, H	0.5
R_{fd} : resistencia de campo, ohm	7.17
L_{afd_sat} : nductancia mutua saturada, H	0.094
ψ_{afd_sat} : enlace de flujo fijo, $W vueltas$	0.745
β : exponente de pérdida en el núcleo	0.7725
J : momento de inercia del conjunto	0.0588

Cuadro 1: Constantes del modelo simulado

En el primero de los casos, cuya evolución se muestra en la figura 10 para las variables de interés, se simula el cierre parcial brusco de la válvula de entrada (disminución correspondiente al 10% del valor inicial). Se comprueba de forma cualitativa que la consecuencia es una disminución del caudal inyectado en la turbina, y por tanto la evolución a un nuevo punto de equilibrio de la velocidad de giro y la tensión en la salida hacia valores inferiores. Se aprecia cómo el modelo linealizado es capaz de representar fielmente este comportamiento.

En el segundo caso, mostrado en la figura 11, se ha simulado una desconexión repentina del 50% de la carga conectada. Como se aprecia en la evolución de las variables de interés, la variable de caudal no se ve afectada ante variaciones de carga, evolucionando la tensión en la salida del generador y la velocidad de giro del rodete a valores superiores a los iniciales en un nuevo punto de equilibrio. Al igual que en el caso anterior, se puede comprobar cómo el sistema linealizado representa adecuadamente el comportamiento del sistema real.

En el tercer y último caso, se ha simulado una disminución del ciclo de trabajo del chopper en un 10%, lo que provoca la disminución de la tensión a la salida del generador y de la velocidad de giro del rodete, manteniéndose inalterado el caudal, ya que es una variable desacoplada del sistema eléctrico. Se comprueba cómo en este caso el sistema linealizado, a pesar de representar adecuadamente el transitorio de las variables de interés, difiere de forma más notable en el valor del nuevo

equilibrio.

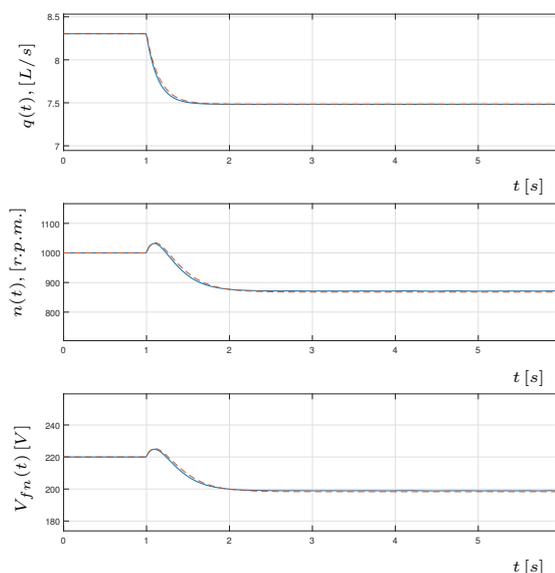


Figura 10: Evolución de las variables de interés ante un cierre parcial (10%) brusco de la válvula en $t = 1s$ para el sistema real (continuo) y linealizado (discontinuo)

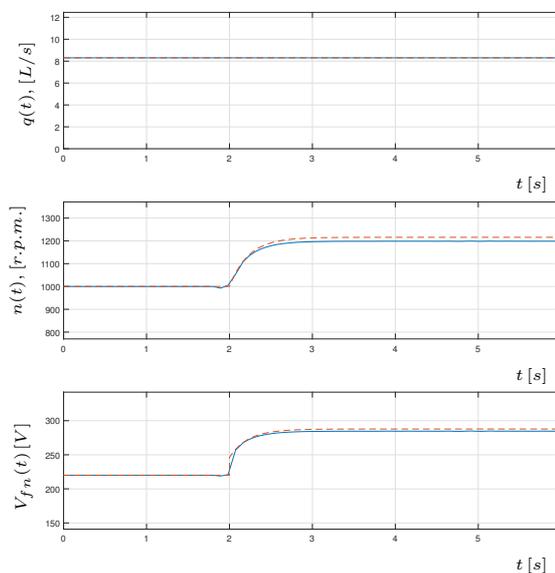


Figura 11: Evolución de las variables de interés ante una desconexión repentina de carga (50%) en $t = 2s$ para el sistema real (continuo) y linealizado (discontinuo)

6. Conclusiones

En el presente documento se ha planteado el esquema básico de funcionamiento de una microcentral hidráulica. Asimismo, se ha llevado a cabo la formulación completa de las ecuaciones que gobiernan el comportamiento de cada uno de los subsistemas que lo componen, así como la

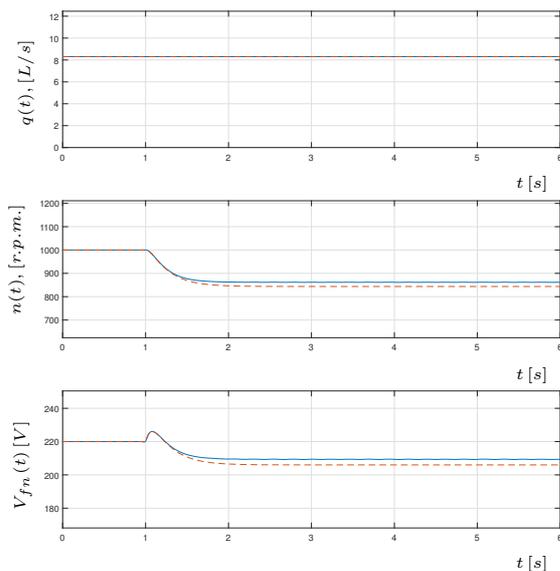


Figura 12: Evolución de las variables de interés ante una disminución brusca (10%) del ciclo de trabajo del chopper en $t = 1s$ para el sistema real (continuo) y linealizado (discontinuo)

relación entre éstos, permitiendo caracterizar el comportamiento real de la planta. A continuación, se ha llevado a cabo una linealización del sistema, llevándose a cabo la implementación numérica de ambos sistemas. Por último, se han realizado simulaciones de variaciones en las variables de entrada del sistema, permitiéndose así un análisis cualitativo sobre la bondad del sistema lineal como herramienta para el diseño de futuros controladores.

Este trabajo, enmarcado en el proyecto de mejora de micro-centrales hidráulicas para el abastecimiento de comunidades aisladas, se verá complementado por una validación experimental del sistema mediante las simulaciones empíricas de un sistema real en un banco de ensayos, constituyendo el estudio la herramienta fundamental para el desarrollo de estrategias de control, siendo éste el objetivo de la siguiente etapa del proyecto.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Agencia Estatal de Investigación y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (AEI / FEDER, UE):

Proyectos: DPI-75294-CS-2-R (AEI / FEDER, UE) y (DPI-75294-CS-2-R, TEC2016-80242-P).

Referencias

- [1] Robert H. Perry Don W. Green. *Perry's Chemical Engineers' Handbook, Eighth Edition*. McGraw-Hill, 2008.
- [2] Benzon D. et al. Numerical investigation of the spear valve configuration on the performance of pelton and turgo turbine injectors and runners. *Journal of Fluids Engineering*, 137, 2015.
- [3] Monika Soni et al. Modeling of hydraulic turbine for analyzing effect of penstock parameter variation on mechanical power. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 3, 2015.
- [4] Nam H. et al. On the variation with ux and frequency of the core loss coefficients in electrical machines. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2006.
- [5] Popescu M. et al. A study of the engineering calculations for iron losses in 3-phase ac motor models. *Industrial Electronics Society. 33rd Annual Conference of the IEEE*, 2007.
- [6] Williamson S.J. et al. Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis. *Renewable Energy*, 61, 2014.
- [7] Zidonis A. et al. State of the art in numerical modelling of pelton turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 2015.
- [8] Thake J. *Micro-hydro Pelton Turbine Manual*. Practical Action, 2000.
- [9] Nogueira J.I. Lecuona A. *Turbomáquinas. Procesos, análisis y tecnología*. Editorial Ariel, 2000.
- [10] Maplecroft. índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de américa latina y el caribe. 2014.
- [11] Banco Mundial. 2012.
- [12] Kundur P. *Power System Stability and Control*. Mc Graw-hill, 1991.
- [13] Palma Behnke R. *Los Sistemas Eléctricos de Potencia*. 2008.