

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 Politécnica 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
MiguelÁngel 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	
<hr/>	
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>	

TÚNEL DE AGUA PARA PRUEBAS Y CARACTERIZACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES DE TURBINAS HIDROCINÉTICAS

Eduardo Álvarez Álvarez ⁽¹⁾, Aitor Fernández Jiménez ⁽¹⁾, Manuel Rico-Secades ⁽²⁾, Antonio Javier Calleja Rodríguez ⁽²⁾, Joaquín Fernández Francos ⁽¹⁾, Mario Álvarez Fernández ⁽²⁾, Samuel Camba Fernández ⁽²⁾

⁽¹⁾Área de Ingeniería Hidráulica, Campus de Mieres, Calle Gonzalo Gutiérrez Quirós s/n, 33600 Mieres
edualvarez@uniovi.es; jffrancos@uniovi.es; UO216958@uniovi.es

⁽²⁾ Grupo ce3i2-EPI Gijón. Campus de Gijón. Calle Pedro Puig Adam. Edif. 3, 33204 Gijón
mrico@uniovi.es; calleja@uniovi.es; mario.alvarezfdez96@gmail.com; samu_laluz@hotmail.com

Resumen

Este artículo describe el diseño de una infraestructura de tipo túnel de agua que ha sido construida y puesta en marcha en la Escuela Politécnica de Mieres (EPM, Universidad de Oviedo). El túnel ha sido concebido como un equipamiento que permite realizar ensayos de distintos prototipos de turbinas hidrocínéticas.

Incluye un sistema hidráulico calculado para, mediante una recirculación entre dos tanques, lograr velocidades de agua elevadas en un canal, y un sistema de control (hardware y software) que permite ajustar distintos parámetros hidráulicos (velocidad y cota de la lámina de agua) y realizar el control de funcionamiento de la microturbina a ensayar.

Mediante la utilización del túnel se podrán caracterizar distintos diseños de turbina y estrategias de control de las mismas.

Palabras Clave: Túnel de agua, turbina hidrocínética, Electrónica de potencia, Generador de imanes permanentes (PMG).

1 INTRODUCCIÓN

Las turbinas hidrocínéticas generan potencia eléctrica sin precisar de presas u otra estructura, aprovechando directamente las corrientes de agua en ríos, canales o en el mar. Dicha potencia es función de la densidad del agua, sección transversal al flujo del área barrida por las palas, la velocidad de la corriente al cubo y la eficiencia del equipo (Khan et al., 2009).

Para su funcionamiento estas turbinas precisan de un mínimo de velocidad y profundidad de agua, siendo la energía que generan predecible, y por tanto de elevada fiabilidad, por cuanto las corrientes de agua no fluctúan de manera tan intensa como lo hace el viento (Yuce and Muratoglu, 2015).

Las pequeñas unidades de turbinas hidrocínéticas o microturbinas (potencias del orden de Watios o kWatios), instaladas en lugares próximos al consumo eléctrico (corrientes de agua de ríos o estuarios) se presentan como una alternativa viable de generación distribuida para el futuro próximo (Vermaak et al., 2014).

La intensa investigación que actualmente se desarrolla en el ámbito de las microturbinas hidrocínéticas ha impulsado la utilización distintas infraestructuras específicas para evaluación de funcionamiento de pilotos tanto a gran escala (e.j. Centro Europeo de Energía Marina, EMEC en Orkney, Escocia (“The European Marine Energy Centre Ltd,” n.d.)), como a escala de laboratorio (e.j. Emeson cavitation tunnel en la Universidad de Newcastle, Inglaterra (“Emerson Cavitation Tunnel,” n.d.))

En este artículo se presenta una descripción del túnel de agua construido en la Escuela Politécnica de Mieres de la Universidad de Oviedo (Figura 1(a) y (b)) y que ha sido diseñado específicamente para realizar pruebas experimentales de prototipos de microturbinas hidrocínéticas de eje vertical a escala de laboratorio.

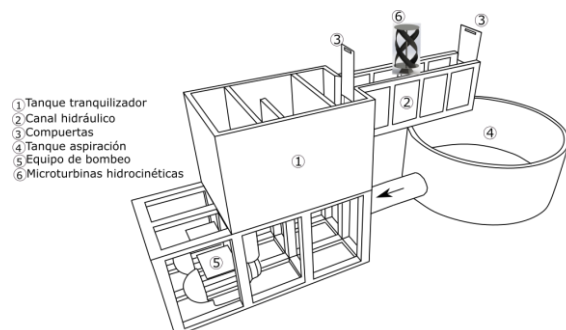


Figura 1(a): Esquema de diseño del túnel de agua



Figura 1(b): Túnel de agua instalado

El diseño del túnel se ha previsto para evaluar microturbinas de eje vertical al ser posible obtener aprovechamientos optimizados de energía mediante disposiciones matriciales de turbinas de este tipo (Alvarez et al., 2016).

El túnel consta de un sistema hidráulico compuesto por canal de flujo rápido, tanque de tranquilización, tanque de aspiración, compuertas de regulación, equipo de bombeo para recirculación (ver Figura 1); y un sistema de control que incluye tanto equipamiento hardware como software que permitirá monitorizar variables, implementar las distintas estrategias de control y realizar distintas pruebas de caracterización de las turbinas. En concreto se describe el procedimiento diseñado para la realización de las pruebas de caracterización del coeficiente de potencia de una microturbina.

El túnel dispone adicionalmente de un sistema que permite la adaptación rápida de distintos componentes del conjunto de la microturbinas de eje vertical.

2 DISEÑO DEL TÚNEL

Para su descripción el túnel de agua se ha dividido en dos sistemas: sistema hidráulico y sistema de control.

2.1 SISTEMA HIDRÁULICO

En la Figura 1(a) se muestra el esquema del sistema hidráulico del túnel identificando sus componentes, que se detallan a continuación.

- 1) Tanque de tranquilización. Este tanque es de acero inoxidable y rectangular, de 1 m³ de capacidad. Recibe agua de las bombas de recirculación y está provisto de un conjunto de deflectores de flujo para rotura de turbulencia, generando un reservorio de agua a velocidad nula antes de su incorporación al canal.
- 2) Canal hidráulico de sección rectangular de 0,5m de alto, 0,3 m ancho y una longitud de 1,5 m. El canal se ha construido mediante cristal transparente sobre estructura de acero,

permitiendo realizar filmaciones de los distintos ensayos a realizar.

- 3) Conjunto de dos compuertas de acero inoxidable planas, rectangulares, que se deslizan sobre guías. Permiten regular tanto el caudal a circular por el canal como la curva de remanso en la finalización del mismo.
- 4) Tanque de aspiración de equipo de bombeo. Este tanque tiene 2 m³ de capacidad y está construido en fibra de vidrio. Recoge el agua proveniente del canal, permitiendo la aspiración del equipo de bombeo.
- 5) Equipo de bombeo. El equipo está compuesto por dos bombas hidráulicas de 300 m³/h y 15 kW de potencia cada una. Estas bombas que aspirarán el agua del tanque de fibra de vidrio enviándolo al tanque metálico situado por encima de su boca de impulsión. Cada una de ellas está alimentada por un variador electrónico (OMRON 3G3Rx-A4220-E1F) que permite el apagado, encendido y la regulación del caudal aportado mediante la variación de frecuencia de alimentación.
- 6) Sistema para colocación de microturbinas hidrocinéticas (ver Figura 2). Está basado en un conjunto de piezas que permiten la adaptación de distintos elementos mecánicos que componen los prototipos de microturbina de eje vertical. Ha sido construido utilizando fundamentalmente metacrilato lo cual permite filmar el flujo desde distintas posiciones.

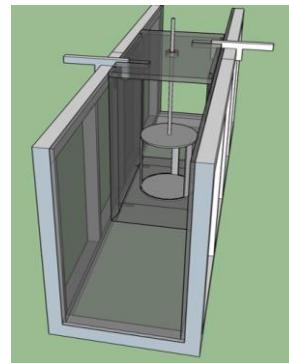


Figura 2: Sistema de colocación de microturbinas en canal

2.2 MONITORIZACIÓN Y CONTROL

El túnel de agua ha sido dotado de un sistema de monitorización y control, denominado Sistema TURTLE (Turbine Test Laboratory Equipment). El sistema permite ajustar automáticamente la velocidad del flujo a un valor requerido, y mantener la cota del agua en el canal en el valor necesario para realizar las pruebas de cada turbina. Asimismo, el sistema realiza el control de los equipos electrónicos encargados de

la producción de energía eléctrica de las turbinas ensayadas. Permite, por tanto, implementar y evaluar distintas estrategias de control y caracterizar el comportamiento de la turbina ante distintas condiciones de flujo.

a) Principio básico de funcionamiento del sistema TURTLE

La Figura 3 recoge el principio básico de funcionamiento del sistema TURTLE. Este consiste en controlar la velocidad del agua en la salida del tanque tranquilizador (v_s), y por tanto la utilizada como referencia en la prueba de la turbina, manteniendo cota de la lámina de agua en un nivel que asegure las pruebas de la turbina.

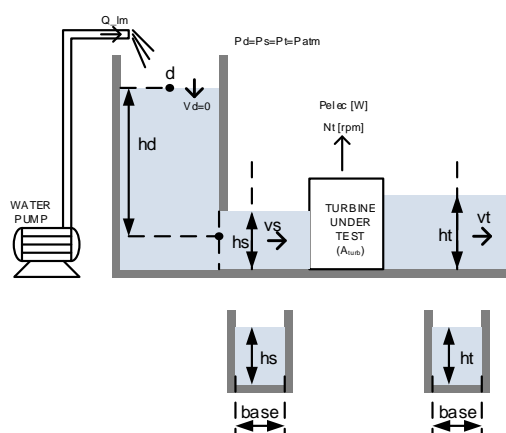


Figura 3: Principio básico de funcionamiento del sistema TURTLE.

Mediante un sistema cerrado de agua se bombea agua desde el tanque de aspiración (referencia 4 de la Figura 1) al tanque tranquilizador (referencia 1 de la Figura 1). Las variaciones de niveles en los tanques donde las bombas aspiran o impulsan prácticamente no afectan al caudal que impulsa cada bomba, fijándose este, mediante ajuste de la frecuencia de alimentación en cada variador.

Conocida la cota del agua en el tanque de tranquilización respecto al punto medio de la profundidad del canal en la boca de salida (hd), es posible calcular la velocidad de salida (ecuación de Torricelli),

$$v_s = \sqrt{hd \cdot g} \tag{1}$$

Donde el valor de g es la aceleración de la gravedad.

Asimismo, se ha de verificar la ecuación de continuidad en el canal:

$$Q = b \cdot h_s \cdot v_s = b \cdot h_t \cdot v_t \tag{2}$$

Donde b es el ancho del canal, h_s y h_t son las alturas del agua antes y después del punto de ensayo de la

turbina y donde v_s y v_t son las velocidades del agua en esos puntos.

Por tanto, la velocidad (v_s) puede ser regulada según dos opciones: utilizando el valor de altura en el depósito de tranquilización (h_d) o utilizando el caudal circulante (Q) y la cota de la lámina de agua antes de la turbina (h_s).

Conocida la dinámica del sistema en distintas pruebas, se decide que la regulación de velocidad se realizará utilizando la compuerta en la descarga del canal para mantener constante la altura h_s (al valor necesario para prueba de turbinas), realizando el ajuste de velocidad mediante variación del caudal circulante (Q).

Así, con un caudal de $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ($5 \text{ m}^3/\text{min}$), un ancho del canal de 0.3 m y una altura de la lámina de agua (h_s) de 0.3 m , se obtendría una velocidad de salida de 0.926 m/s . La relación entre caudal en m^3/min y velocidad de salida en m/s se ha representado en la siguiente Figura 4.

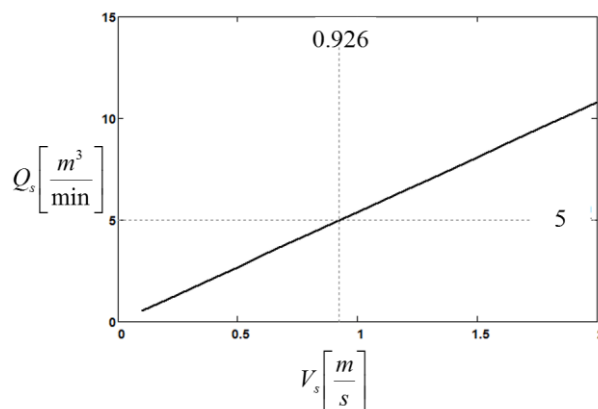


Figura 4: Relación entre caudal en las bombas y velocidad de salida (v_s).

Para la velocidad anteriormente mencionada de 0.926 m/s la altura estimada del depósito de agua respecto a la salida utilizando la ecuación (1) es de 4.371 cm . Al igual que en el caso anterior se muestra una gráfica (Figura 5) que relaciona la altura del depósito (hd) con la velocidad de salida del agua.

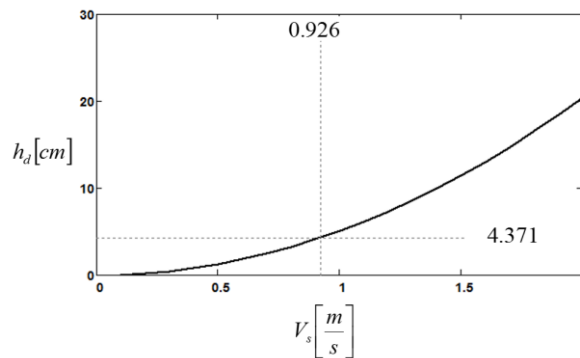


Figura 5: Relación entre la altura de agua del depósito en cm (hd_cm) con la velocidad de salida del agua.

b) Elementos del sistema TURTLE

Para realizar todas las medidas y caracterizaciones indicadas en el apartado anterior, el sistema TURTLE consta de distintos elementos tanto software y hardware indicados en la Figura 6.

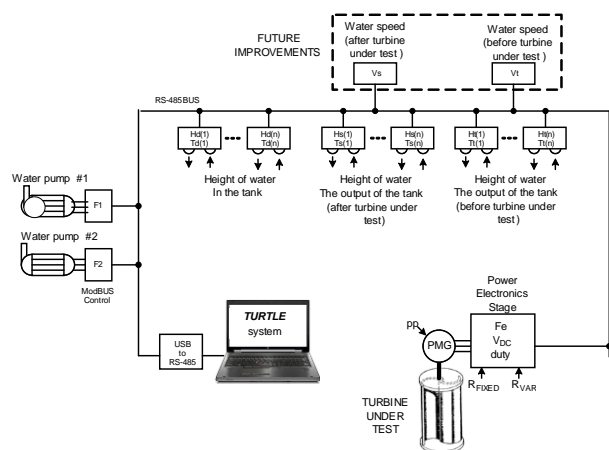


Figura 6: Componentes del sistema TURTLE

Se dispone de sensores ultrasónicos para la medida de nivel de agua tanto en tanque tranquilizador (punto d), como en el canal hidráulico antes del punto de ensayo de la turbina (punto s) como en el mismo canal hidráulico después del punto de ensayo de la turbina (punto t).

En cada punto se realizarán varias medidas para aumentar la precisión en la estimación de la altura de la lámina de agua y promediar las fluctuaciones y turbulencias que se produzcan en esta durante el proceso de ensayo. Las medidas se han denotado como hd (1) hasta hd (n), hs (1) hasta hs (n) y ht (1) hasta ht (n), respectivamente para los puntos d, s y t anteriormente mencionados. Los sensores utilizados permiten también la medida de temperatura ambiental que también estará disponible en distintos puntos del banco de ensayo por si fueran precisas para futuras estimaciones o trabajos.

El sistema también dispone del equipamiento de electrónica de potencia necesario para realizar pruebas a distintos tipos de turbinas; así como conexión con los variadores de velocidad de bombas para ajuste de caudales y medidas de parámetros de funcionamiento de las mismas.

Todos los elementos del sistema TURTLE están conectados a un bus de comunicaciones RS-485 que permite la recogida y procesado de los datos desde un programa informático desarrollado a medida

(TURTLE software) en un entorno IDE de Visual Studio y programado en C#.

3 ENSAYO DE OBTENCIÓN DE LA CARACTERÍSTICA DEL COEFICIENTE DE POTENCIA

El sistema TURTLE permitirá la obtención de la característica del coeficiente de potencia utilizando medidas de parámetros hidráulicos y eléctricos sirviendo ambas medidas de contraste y verificación. Para ambos casos ha de considerarse la potencia hidráulica máxima teórica que puede ser extraída por la turbina y la definición del Coeficiente de Potencia (C_p):

$$P_{teo} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_{turb} \cdot v_s^3 \quad (3)$$

$$C_p = \frac{P_{elec}}{P_{teo}} \quad (4)$$

Siendo, P_{teo} la máxima potencia hidráulica teórica obtenida por la turbina, P_{elec} es la potencia eléctrica generada por la turbina, C_p el Coeficiente de Potencia, A_{turb} el área barrida por las palas de la turbina en dirección transversal al flujo de agua.

Por otro lado, la característica del coeficiente de potencia ha de expresarse para distintas velocidades específicas (Tip Speed Ratio-TSR),

$$TSR = \frac{\omega \cdot R_{tur}}{v_s} \quad (5)$$

Donde ω es la velocidad angular de la turbina, R_{tur} es el radio de la turbina y v_s es la velocidad del fluido en el punto de ensayo.

Para completar pruebas con distintos valores de TSR estos se obtienen variando (mediante el sistema de control) la velocidad angular de giro de la turbina durante el ensayo, manteniendo constante la velocidad del fluido. Esto se realizará utilizando los equipos de electrónica de potencia que dentro de TURTLE realizan el control de la turbina.

La turbina bajo test estará conectada a un generador de imanes permanentes (PMG) de un número de polos conocido. Por tanto, la velocidad angular de giro de la turbina se obtiene, mediante la medida de la frecuencia eléctrica de la señal de tensión del generador, teniendo en cuenta la expresión,

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot Fe}{pp} \quad (6)$$

Donde pp es el número de polos del PMG, y Fe es la frecuencia eléctrica de la señal de tensión.

La tensión trifásica producida por este generador estará conectada al sistema electrónico de potencia de control de turbina. Este está conectado al bus de comunicaciones RS-485 y permite enviar al software de control información relativa a las medidas de potencia y velocidad angular en la turbina bajo ensayo.

a) Medida del coeficiente de potencia mediante parámetros hidráulicos

En este caso se aplica el teorema de Bernoulli y la ecuación de continuidad en los puntos anteriores (s) y posteriores (t) al ensayo de la turbina y, suponiendo que durante el ensayo se extrae una potencia eléctrica ($Pelec$) se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot b \cdot hs \cdot vs^3 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot b \cdot ht \cdot vt^3 + \frac{Pelec}{\eta} \quad (7)$$

$$b \cdot hs \cdot vs = b \cdot ht \cdot vt \quad (8)$$

Donde η representa el rendimiento electro mecánico de la microturbina.

Sustituyendo la ecuación (7) en la (8) y despejando la potencia eléctrica ($Pelec$) se obtiene,

$$Pelec = \eta \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \left(\frac{hs}{ht} \right)^2 \right) \cdot \rho \cdot b \cdot hs \cdot vs^3 \quad (9)$$

La potencia eléctrica podremos pues calcularla a partir de las cotas de las láminas de agua, anchura del canal, la velocidad de salida del depósito tranquilizador, el rendimiento electro mecánico de la misma.

Asimismo, sustituyendo (9) y (3) en (4) se obtiene,

$$Cp = \frac{\eta \cdot b \cdot hs}{A_{turb}} \cdot \left(1 - \left(\frac{hs}{ht} \right)^2 \right) \quad (10)$$

Se puede por tanto calcular el coeficiente de potencia a partir de las cotas de las láminas de agua en el canal, su anchura, el área barrida por las palas de la turbina y su rendimiento.

A modo de ejemplo, en la Figura 7 se muestra la evolución de la potencia eléctrica en vatios generada en la turbina de $A_{turb}=0.04 \text{ m}^2$, para la velocidad calculada en el apartado anterior de 0.926 m/s , suponiendo una altura de entrada en la lámina de agua (hs) de 0.3 m .

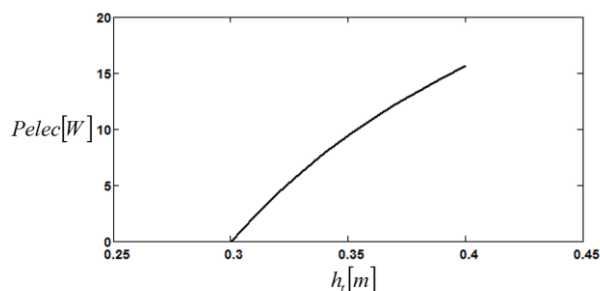


Figura 7: Potencia eléctrica extraída en la turbina bajo ensayo, en función de la altura de la lámina de agua a la salida del ensayo.

De igual forma, en la Figura 8 se muestra la evolución del Coeficiente de Potencia (Cp), en valores por unidad, para los mismos datos anteriores.

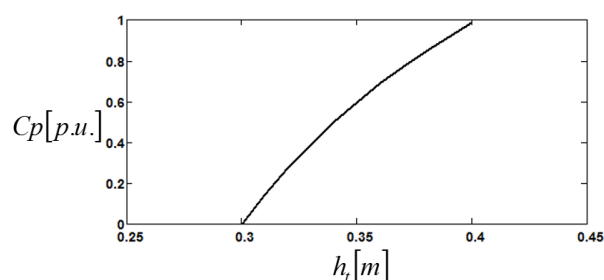


Figura 8: Evolución del coeficiente de potencia (Cp) en función de la altura de la lámina de agua a la salida del ensayo.

b) Medida del coeficiente de potencia mediante parámetros eléctricos

Esta medida se basa en obtener mediante parámetros eléctricos la medida potencia eléctrica ($Pelec$) durante el ensayo.

El sistema de potencia realizará su ensayo utilizando una carga de potencia fija (R_{FIXED}) y una variable (R_{VAR}). El ciclo de trabajo (d) del circuito de potencia y la medida de la tensión continua de trabajo (V_{DC}) en el circuito de potencia permitirá fijar la potencia eléctrica extraída en la turbina en el nivel deseado durante el ensayo.

$$P_{elec} = \frac{V_{DC}}{R_{FIXED}} + \frac{V_{DC}}{R_{VAR}} \cdot d \quad (11)$$

La etapa electrónica de potencia estará conectada al sistema informático (TURTLE software) permitiendo a este la recogida de datos eléctricos durante el ensayo o modificar la potencia eléctrica extraída en la turbina, ambas operaciones en tiempo real durante el ensayo. A modo de ejemplo, se muestran en la Figura 9 diferentes ensayos que se pueden realizar para obtener el coeficiente de potencia (Cp) de una turbina bajo ensayo y extraer el punto de máxima eficiencia (MPP) que servirá como base para el

diseño del circuito electrónico que optimizará la extracción de energía eléctrica (MPPT-Maximum Power Point Tracking).

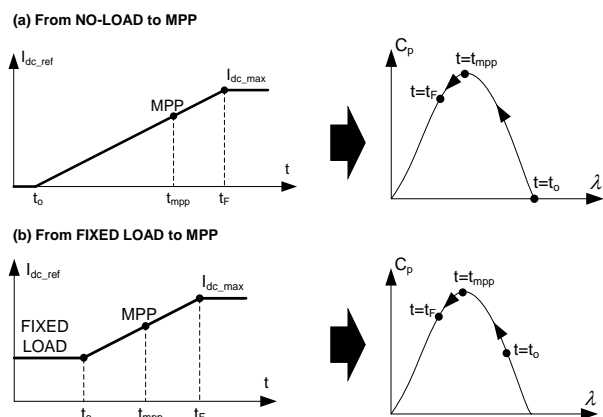


Figura 9: Ensayos para obtención del coeficiente de potencia (C_p) de la turbina bajo ensayo.

c) Descripción de la etapa de potencia para el ensayo de la turbina.

La Figura 10 recoge de manera simplificada la etapa de potencia utilizada para el ensayo de la turbina bajo test.

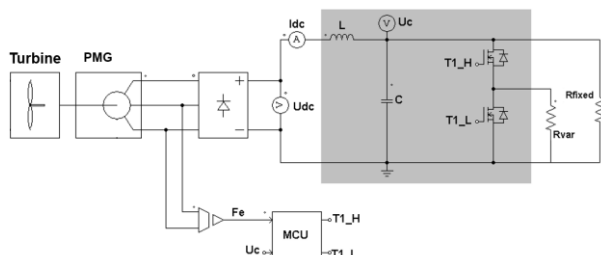


Figura 10: Esquema eléctrico simplificado de la etapa de potencia.

La etapa de potencia consta de un rectificador trifásico, un filtro LC y una rama de transistores Mosfet que conmutan a alta frecuencia (50 kHz). En el trabajo se utiliza su ciclo de conducción (d) como variable de control del sistema.

Una resistencia fija (R_{fixed}) conectada directamente al bus de continua generado por el filtro LC (tensión U_c) y una resistencia (R_{var}) que conectaremos a la rama de transistores Mosfet y que nos permitirá modificar la corriente extraída del rectificador trifásico (I_{dc}).

El análisis dinámico detallado de esta etapa de potencia no ha sido incluido en este trabajo, pero de él se han obtenido los siguientes resultados.

El punto de funcionamiento del sistema está caracterizado por las ecuaciones (12) y (13), que permiten la prealimentación del sistema para llevarlo

de una forma cómoda al entorno del punto de funcionamiento.

$$I_{DC} = \left(\frac{D}{R_{var}} + \frac{1}{R_{fixed}} \right) \cdot U_{DC} \tag{12}$$

$$U_{DC} = U_C \tag{13}$$

La Figura 11 recoge el esquema de regulación completo de la etapa de potencia, que nos permitirá realizar los ensayos de la turbina de una manera precisa.

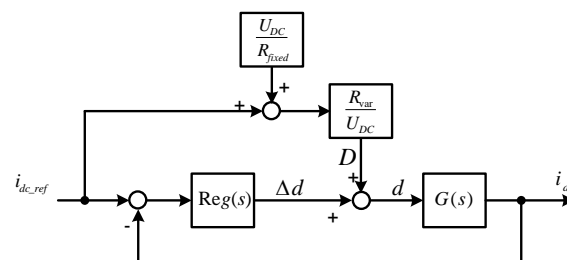


Figura 11: Esquema de regulación de la etapa de potencia.

La función de transferencia del sistema está recogida en la ecuación (14), correspondiendo a un sistema de segundo orden

$$G(s) = \frac{U_{DC}}{L \cdot C \cdot s^2 + L \cdot \left(D + \frac{R_{var}}{R_{fixed}} \right) \cdot s + R_{var}} \tag{14}$$

Para los ensayos, se ha utilizado un regulador digital tipo PI que ha sido implementado en un microcontrolador del Microchip dsPIC30F3012.

Un prototipo de laboratorio de la etapa de potencia está recogido en la figura 12, donde se han rotulado todos los elementos anteriormente descritos.

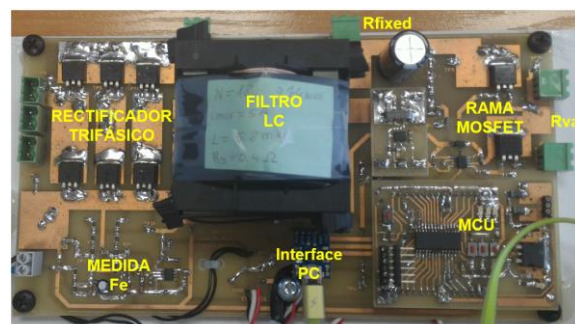


Figura 12: Prototipo de laboratorio de la etapa de potencia.

4 CONCLUSIONES

Se ha presentado y descrito el Túnel de agua recientemente puesto en marcha en la Escuela

Politécnica de Mieres (EPM). Esta infraestructura incluye un sistema hidráulico y un sistema de control, denominado sistema TURTLE.

El túnel ha sido diseñado para poder trabajar con distintos prototipos de turbinas hidrocínicas, permitiendo su caracterización mediante tests automáticos y la implementación/evaluación de distintas estrategias de control de las mismas.

Asimismo, se ha descrito el test automático que permite la obtención de la característica de coeficiente de potencia de una microturbina.

Referencias

Alvarez, E.A., Rico-Secades, M., Suárez, D.F., Gutiérrez-Trashorras, A.J., Fernández-Francos, J., 2016. Obtaining energy from tidal microturbines: A practical example in the Nalón River. *Appl. Energy* 183, 100–112. doi:10.1016/j.apenergy.2016.08.173

Emerson Cavitation Tunnel [WWW Document], n.d. URL <http://research.ncl.ac.uk/cavitation/> (accessed 7.29.17).

Khan, M.J., Bhuyan, G., Iqbal, M.T., Quaicoe, J.E., 2009. Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review. *Appl. Energy* 86, 1823–1835. doi:10.1016/j.apenergy.2009.02.017

The European Marine Energy Centre Ltd [WWW Document], n.d. URL http://www.emec.org.uk/wave_energy_devices.asp (accessed 1.4.17).

Vermaak, H.J., Kusakana, K., Koko, S.P., 2014. Status of micro-hydrokinetic river technology in rural applications: A review of literature. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 29, 625–633. doi:10.1016/j.rser.2013.08.066

Yuce, M.I., Muratoglu, A., 2015. Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 43, 72–82. doi:10.1016/j.rser.2014.10.037