

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	
<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. Zamarreño, Cristian Pablos, Alejandro Merino, L. Felipe Acebes and De Prada César</i>	
<hr/>	
Automar	
<hr/>	
INFRAESTRUCTURA PARA ESTUDIAR ADAPTABILIDAD Y TRANSPARENCIA EN EL CENTRO DE CONTROL VERSÁTIL.....	203
<i>Juan Antonio Bonache Seco, José Antonio Lopez Orozco, Eva Besada Portas and Jesús Manuel de La Cruz</i>	
ARQUITECTURA DE CONTROL HÍBRIDA PARA LA NAVEGACIÓN DE VEHÍCULOS SUBMARINOS NO TRIPULADOS.....	211
<i>Francisco J. Lastra, Jesús A. Trujillo, Francisco J. Velasco and Elías Revestido</i>	

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

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

Dynamic simulation applied to refinery hydrogen networks

Aníbal Galán

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Valladolid, Calle Real de Burgos, Sede Mergelina – EII, Valladolid, 47011, anibalsantiago.galan@uva.es

César De Prada

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Valladolid, Calle Real de Burgos, Sede Mergelina – EII, Valladolid, 47011, prada@autom.uva.es

Gloria Gutierrez

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Valladolid, Calle Real de Burgos, Sede Mergelina – EII, Valladolid, 47011, gloria@autom.uva.es

Daniel Sarabia

Departamento de Ingeniería Electromecánica, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Burgos, Avda. Cantabria s/n, Burgos, 09006, dsarabia@ubu.es

Rafael González

Petroleos del Norte, S.A, Petronor, Muskiz 48550, rgonzalezm@repsol.com

Abstract

This study analyses the usefulness of process network dynamics simulation for decision-making in refinery hydrogen networks. A theoretical hydrogen network of three desulphurisation plants is modelled, and three case scenarios discussed: baseline, high demand, and low demand.

Discussion focuses on how the information from the simulation is interpreted and its usefulness for debottlenecking, scheduling and what-if analysis. Stress is put on dynamics of the system and their consequences in process operation throughout the network. Hydrogen purity is highlighted as the most affected variable, and discussed its network wide effect. In addition, the responses of inflows, outflows and headers are analysed.

Although the model used is a simplified representation of the actual processes, the simulation analysis showed potential as decision-making support not provided with steady state models. Further researches based on real case-studies should be conducted to better conclude on the efficient usage of simulation in aiding refinery hydrogen networks operational decisions.

Keywords: network simulation, process dynamics, decision-making.

1 INTRODUCTION

Hydrogen (H₂) is an essential utility in refineries, due to its use as reactant in desulphurisation process

units. Furthermore, environmental regulations limit sulphur content in fuels forcing refineries to produce low sulphur fuels [2, 5, 11-12].

Although less than 10% of the time process units are under transition states, most of the operational deviations, including process safety issues occur then [3]. Hence, simulation of transitions is of key importance in process networks in general and H₂ networks in particular. Interest in the study of transient conditions could minimise the overlooking of process safety. It could lead to unexpected scheduling bottlenecks, for example by delaying on specification products. Other negative effects due to variable H₂ purity could be: high purge rates, reduced catalyst lifecycle and increased rotating machineries malfunction. Simulation can be used for analysis of scenarios, supporting decisions at different levels of operation, aiding in the decision-making process. In fact, increased focus on dynamic modelling and simulation of transition states is seen [1-3, 15]. For instance, in scheduling, process debottlenecking, what-if analysis, flowsheet design, being most of them simulations combined with optimisation [1, 3, 5-8, 10-11, 14-16].

Refinery H₂ networks main components are: gas headers (e.g.: high purity header – HPH -, low purity header – LPH - and fuel gas header – FGH -), hydrotreating plants and their components (e.g.: hydrodesulphurisation plant – HDS -), and H₂ source (e.g.: typically a steam reforming unit). In Figure 1 the arrangement of the network considered in this work is shown. Basically, the network has a H₂ source that serves the consumer plants. However, H₂ should be well in excess to minimise catalyst early decay and suffice compressors safe operation region.

Therefore, reactors outflows are recycled through recycle compressors and consumed gas is fed to comply with units' pressure control. A typical desulphurisation plant is shown in Figure 2.

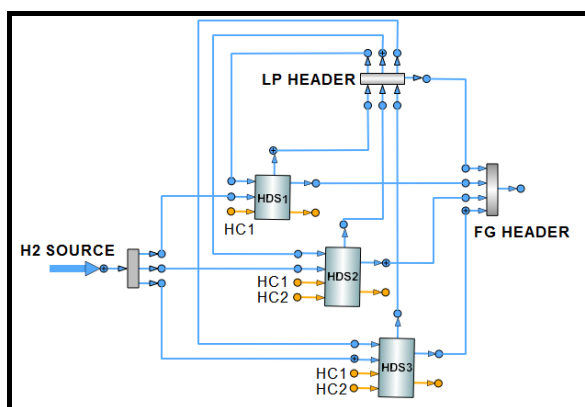


Figure 1: Network topology.

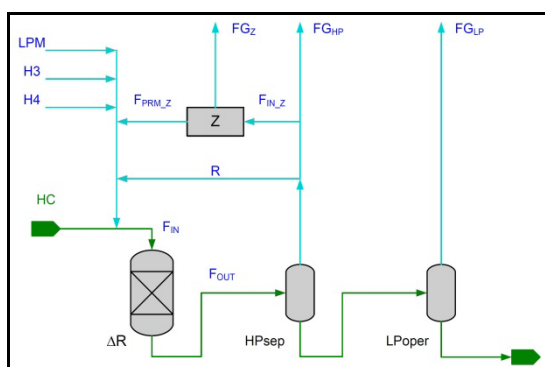


Figure 2: Schematic of a representative hydrotreating unit [5].

This work aims at studying the usefulness of simulation for decision support of refinery hydrogen (H_2) networks during transition states incorporating simplified process dynamics. This is approached through studying three case scenarios of a representative theoretical network with different process condition transitions. Then discussing which are the main variables and how are they affected. Additionally, the main limitations of this methodology are pointed out, as well as some ideas of future research on this topic.

2 METHODOLOGY

2.1 NETWORK TOPOLOGY

A hypothetical network flowsheet was modelled (see Figure 1), comprising the components listed in Table 1. These components were modelled using first principles and specific mass and chemical equations

where applicable (i.e.: reactors and separation drums).

Table 1: Network components modelled. *Components coded within each HDS. **Only in HDS3.

#	Component
1	H_2 source (HP)
1	HP make-up header (HPMU)
1	LPH (Low Purity Header)
1	FGH (Fuel Gas Header)
3	HDS1/2/3
3	Reactor (R1)*
3	HP drum (SHP)*
3	LP drum (SLP)*
3	Amine column (ACL)*
3	Recycle compressor (RC)*
3	Make-up compressor (C MU)*
1	H_2 purification membrane (PERM)**

Flow diagrams of the HDSs modelled are shown in Figure 3.

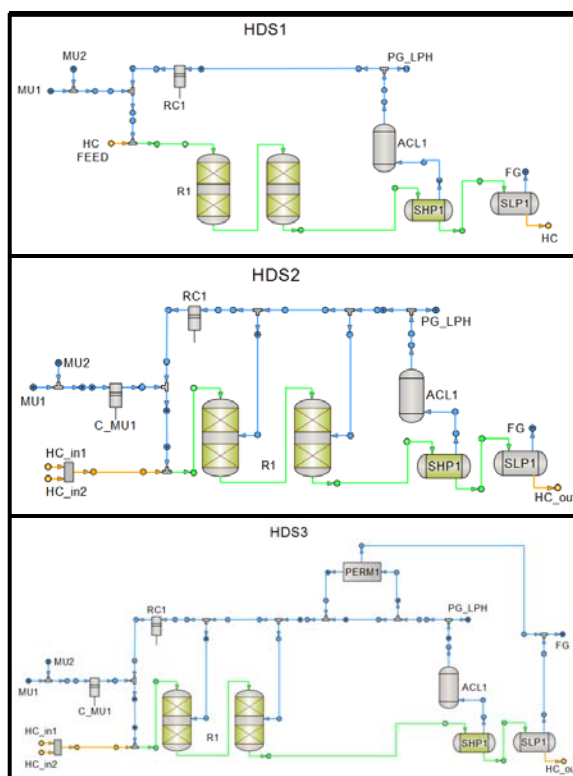


Figure 3: Flow diagram of HDSs 1-3.

2.2 MATHEMATICAL MODEL

Equations used are basically mass and gaseous component balances. In fact, both represented with the general form shown in equations 1-2, meaning that input equals output (except in reactors).

$$\Sigma F_{IN} = \Sigma F_{OUT} \quad (1)$$

$$\Sigma(F_{IN} \times y[H_2]_{IN}) = \Sigma(F_{OUT} \times y[H_2]_{OUT}) \quad (2)$$

Where: F is the volumetric flow (IN / OUT of the system), y[H₂] is the molar fraction of H₂ (IN / OUT of the system)

In reactors, H₂ consumption (H_{2CON}) and LIG generation (LIG_{GEN}) are calculated proportional to HC (see equations 3-4, where: k_{LIGHC} and k_{H₂HC} are the first order reaction constants). In addition, four terms were considered to account for H₂ consumption and LIG generation with their corresponding effect on mass balances, see equations 5-8. Where: H_{2CON} and LIG_{GEN} are H₂ consumed and light ends generated through reactions, G is the HC liquid flow (IN / OUT of the system), LIG_{MW} is the molecular weight of LIGsand

$$H_{2CON} = k_{H2HC} \times HC_{IN} \quad (3)$$

$$LIG_{GEN} = k_{LIGHC} \times HC_{IN} \quad (4)$$

$$\Sigma F_{IN} - H_{2CON} + LIG_{GEN} = \Sigma F_{OUT} \quad (5)$$

$$\Sigma(F_{IN} \times y[H_2]_{IN}) - H_{2CON} = \Sigma(F_{OUT} \times y[H_2]_{OUT}) \quad (6)$$

$$\Sigma G_{IN} - LIG_{GEN} \times LIG_{MW} = \Sigma G_{OUT} \quad (7)$$

$$\Sigma(F_{IN} \times y[LIG]_{IN}) - LIG_{GEN} = \Sigma(F_{OUT} \times y[LIG]_{OUT}) \quad (8)$$

Separation drums (HP/LP drums) have specific additional equations (9-10) that represent how they split their mixed gas and liquid inlet (G_{IN}) streams into a gas outlet (F_{OUT}) and mixed gas and liquid outlet (G_{OUT}). The latter containing the gases that remain solubilised from the G_{IN}. A solubility constant for: gas in HC and H₂ in HC, should be considered for this behaviour to be useful [6, 13]. In the particular case of LP drums G_{OUT} is free of gases.

$$G_{ASL} = k^s_{GHC} \times HC_{IN} \quad (9)$$

$$G_{OUT} \times y[H_2]_{OUT} = k^s_{H2HC} \times HC_{IN} \quad (10)$$

Where k^s_{GHC} and k^s_{H₂HC} are the solubilities of gas and H₂ in HC respectively, HC_{IN} is the HC inlet to the drum.

Rather than applying a rigorous model to represent chemical consumption and generation of gases, a simplified empirical first order dynamic is imposed. The same simplification is used to account for solubility dynamics (k^s_{H₂HC}, k^s_{GHC}). Therefore, changes in coefficients k^s_{GHC}, k^s_{H₂HC}, k_{H₂HC} and k_{LIGHC}, are modelled using equation 11 that represents the generic form of them all. Time constants (τ_i) used were: 0.45 h (τ_{R1}) and 0.65 h (τ_{SHP}), for reactions and separators respectively. These values were deemed sensible for typical HDS processes reaching steady state after 2 h in reactors and 3 h in separation drums [12-13]. One hour delay is included between reactors and downstream drums to account for fluid hydraulic time.

$$Y(t) + \tau_i \times Y'(t) = k \quad (11)$$

Where: Y is a derivable function of time (t) with value k at t = ∞, and first derivative Y'. Therefore: k^s_{GHC}, k^s_{H₂HC}, k_{H₂HC} and k_{LIGHC} were represented as time dependent coefficients with known steady state values. Transitions were computed applying equation 11 with τ_{R1} = 0.45 h, τ_{SHP} = 0.65 h.

General statistics of the system from PROSIS[®] [4] are shown in Figure 3.

GENERAL STATISTICS	
INFO	#
Number of equations:	629
Number of boxes (coupled subsystems of equations):	2
Number of linear boxes:	1
Number of nonlinear boxes:	1
Number of input DATA:	22
Number of input BOUNDARY:	47
Number of output EXPLICIT :	611
Number of output DYNAMIC/DERIVATIVE:	12
Number of output ALGEBRAIC:	6
Size of Jacobian matrix (DYNAMIC+ALGEBRAIC):	18x18
Sparsity factor in Jacobian matrix (% of zeros):	62.962962962962962
Default integration method:	DASSL

Figure 3: General statistics of the system. Source: PROOSIS[®] [4].

2.3 CASES STUDIED

Two state transitions from a baseline case (case1) were simulated: high H₂ demand case (case2) and low H₂ demand case (case3). Process conditions of cases 1-3 are shown in Table 2.

Table 2: Cases process conditions.

	Case 1: Baseline			
	k _{H₂HC}	k _{LIGHC}	k ^s _{GHC}	k ^s _{H₂HC}
	Nm ³ /m ³	Nm ³ /m ³	Nm ³ /m ³	Nm ³ /m ³
HDS1	30	1.5	10	6
HDS2	60	5	13	14
HDS3	70	6	14	8
	Case 2: High H ₂ demand			
	k _{H₂HC}	k _{LIGHC}	k ^s _{GHC}	k ^s _{H₂HC}
	Nm ³ /m ³	Nm ³ /m ³	Nm ³ /m ³	Nm ³ /m ³
HDS1	35	2	11	7
HDS2	60	4.8	13	9
HDS3	75	6	15	9
	Case 3: Low H ₂ demand			
	k _{H₂HC}	k _{LIGHC}	k ^s _{GHC}	k ^s _{H₂HC}
	Nm ³ /m ³	Nm ³ /m ³	Nm ³ /m ³	Nm ³ /m ³
HDS1	25	1	8	4
HDS2	50	4	10	6
HDS3	63	5	13	8

	HC conditions		
	F_{HC}	ρ_{HC}	$m_{w_{HC}}$
	m^3/h	kg/m^3	$kg/kmol$
HDS1			
HC1	150	800	150
HDS2			
HC1	130	800	150
HC2	30	850	170
HDS3			
HC1	105	800	150
HC2	45	850	170

Conversely with reaction and solubility coefficients, network flowrates were fixed (i.e.: set as boundaries) and are shown in Table 3. Therefore, system responses were deemed entirely due to HC properties change rather than operating conditions, such as: feed flowrates, gas purge, etc.

Table 3: Fixed process conditions of the cases studied.

Boundary	Units	HDS1	HDS2	HDS3
MU1.F (from LPH)	km^3/h	3.0	4.0	1.0
RC1.F (recycle)	km^3/h	70	70	70
PG.F (purge to LPH)	km^3/h	3.0	5.0	2.0
Q1.F (Quench 1)	m^3/h		1.0	1.0
Q2.F (Quench 2)	m^3/h		1.0	1.0
Z.F (PERM inlet)	km^3/h			9.0
Z.PG (PERM purge)	km^3/h			2.0

2.4 SIMULATION

The simulation experiment consisted in running the network at: baseline conditions first, then case2 and case3. The sequence is shown in Table 4.

Table 4: Simulation sequence

Case	Start time (h)	End time (h)
1	0	3
2	3	8
1	8	14
3	14	20
1	20	24

3 RESULTS

3.1 Global mass balance

The mass balance of the network was divided into four terms for ease of understanding.

The first term is the H_2 consumption occurring in reactors due to chemical demand of H_2 (see Figure 4).

The second is H_2 from outside being fed to the network (source) and H_2 purged to FG header. This term is shown in Figure 5.

Similarly, two additional terms referring to LIG fed to the network and purged to FG complete the global mass balance. Figures 6-7 show LIG flow rates for the global balance.

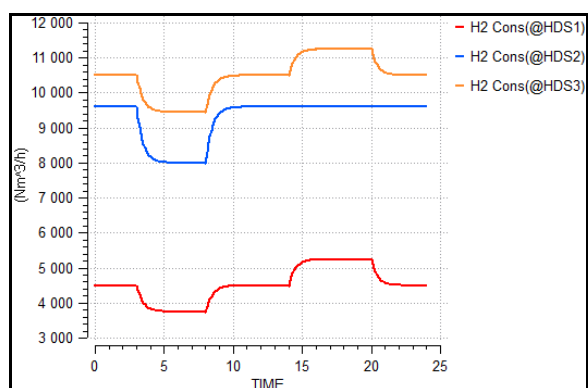


Figure 4: H_2 consumption in reactors.

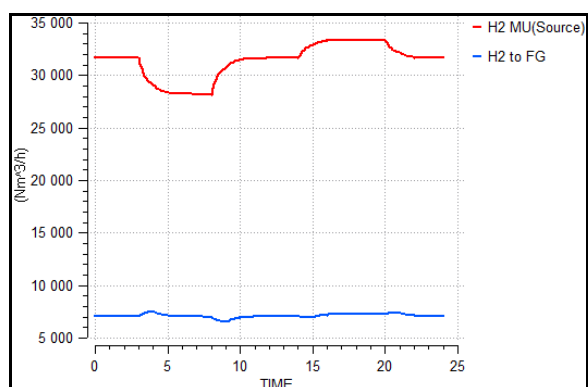


Figure 5: Network H_2 in make-up and purge to FG.

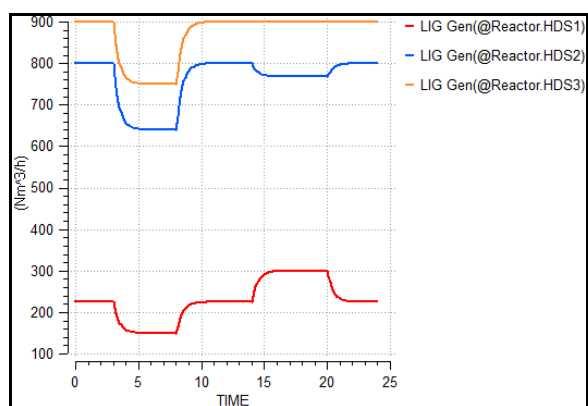


Figure 6: LIG generated in reactors.

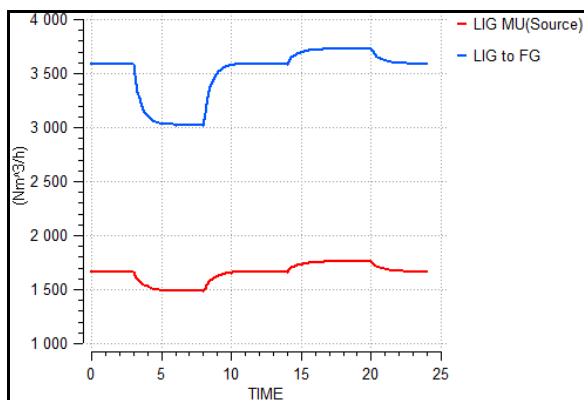


Figure 7: Network LIG in make-up and purge to FG.

3.2 Solubility coefficients in separation drums

Gas and H₂ solubility coefficients are shown in Figure 8.

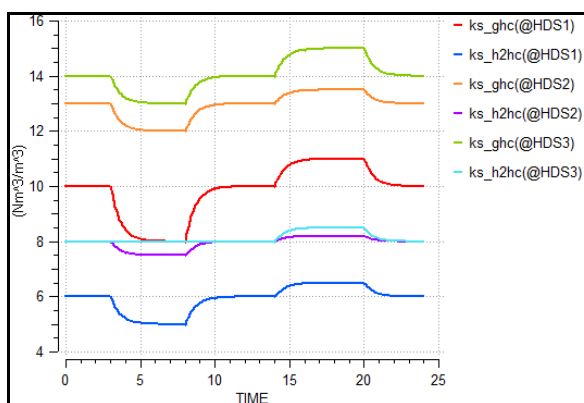


Figure 8: Gas and H₂ solubility in HC at separation drums.

3.3 Hydrogen purity

H₂ purity is of key importance in desulphurisation processes, especially to maximise catalyst lifecycle [2, 12-13]. Therefore, is important to control H₂ purity in the network. Figures 9-10 show H₂ purity in the network and its values in reactors.

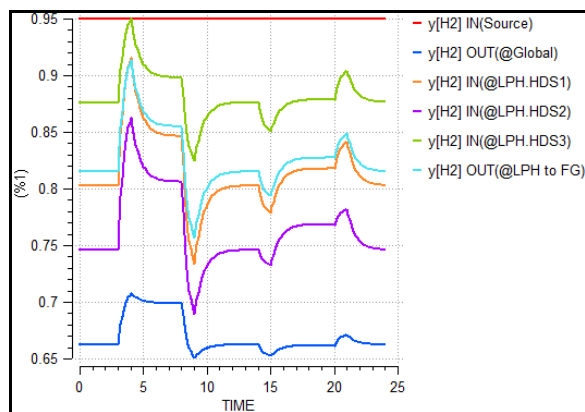


Figure 9: Network H₂ purities. H₂ purities of: source, purge to FG, LPH inflows and outflow.

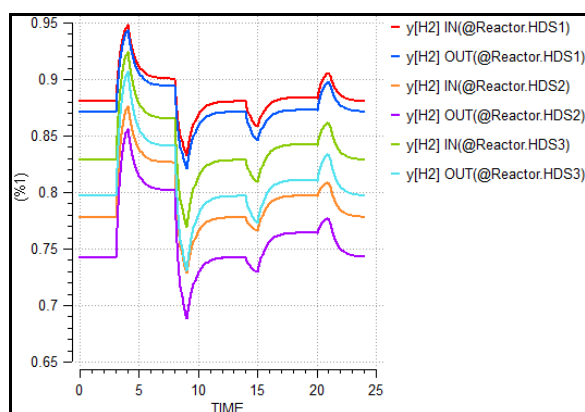


Figure 10: Reactors' H₂ purities.

4 DISCUSSION

It is seen how H₂CON and LIGGEN affect H₂ make-up from the source (Figures 4-5), since the network closes its global mass balance with the make-up gas. Therefore, transitions from case1-2 and case3-2 imply diminutions of make-up flow to the network. The opposite happens with transitions from case2-1 and case1-3. However, H₂ purity (y[H₂]) within the network changes in the opposite direction (see Figure 9) due to gas and H₂ solubility dependence (k^s_{GHC} and k^s_{H₂HC}, equations 9-10), whose changes are seen in Figure 8. In fact, separators hold responsibility for recycle gas composition in each plant, and consequently within the network. Their influence is due to equations 9-10 which determine the separation in terms of composition and flow rates applying the model proposed by Gomez (2016) [6]. The same response is seen in LIGs, although at different rates (see Figures 6-7). An analogous reasoning explains this behaviour.

A similar analysis can be applied to gas headers, from which LPH and FGH are of particular interest. This is because, the former works as a gas recycle

sink, receiving plants' LPH purges and providing low purity make-up back into the plants (MU1 inflow and PG_LPH outflow, see Figure 3). In the LPH the FG purge to the FGH takes care of the pressure control of the header, closing its mass balance against the FGH. Since three inflows to LPH are boundaries (purges to LPH) and three outflows are boundaries as well (MU1 to HDS1-3), LPH outflow to FGH is fixed by the mass balance in $3000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (expressed in volume in equation 1). In addition, FGH receives plants' purges to FG and from LPH, and again, its pressure control is achieved by purging gas off the network as shown in Figure 11. See Figure 1 for LPH and FGH inflows and outflows diagrams within the network. In overall, LPH gas is a component of actual make-up and FGH outflow is the network's purge, usually to flare header.

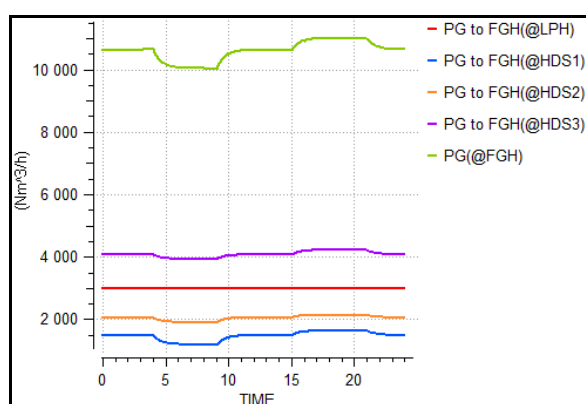


Figure 11: Fuel gas header inflows (PG to FGH) and purge (PG).

H_2 purity in the plants show significant dependence with reactors' specific consumptions (i.e.: $k_{\text{H}_2\text{HC}}$ and k_{LIGHC}) and their dynamics. In fact, from case1-2 an increment of around 20% is seen for HDS1-2 and around 12% for HDS3 (Figure 10). Smaller variations are shown in the rest of the transitions. Therefore the simulation predicts and presents clearly the dynamics of H_2 purity in all streams (see Figures 9-10), being this an asset for plant operators, production scheduling team. For instance, H_2 purity sharp drops and peaks affect negatively scheduling since it may take longer to comply with expected crude processing timetables. Operators will need to smooth down transitions either by feeding lower rates to the units (least likely) or purging more to LPH (most likely). In any case the process will be constrained and will not meet the optimum scheduling unless transition states were known beforehand. In addition, simulation of the network may aid: in debottlenecking (when H_2 is scarce), or in undertaking what-if analysis, due to its ease of setting different scenarios. For example, purity affects (Figures 9-10): compressors performance and catalysts lifecycle. Therefore, it may be challenging

for compressors to deal with transitions from case1-2 and back. Using the network simulation this will be predicted and operators will be able to act in consequence. In overall, simulation of the network holds potential use as support tool in any decision-making process where prediction of network streams' status is utilised. In this theoretical network is seen that case1-2 and case2-1 transitions lead to the most extreme H_2 purities. Although their steady states do not show extreme values, in the transitions H_2 purities reach values that are usually far below minimum required (typical minimum bound: 60%). Therefore, schedulers and operators can anticipate and consider more realistic transition times and how to mitigate their effects. Similar advantages will be seen when studying different scenarios and how the network is likely to respond.

It is important to highlight the limitations of the model and their extent. The results shown rely on the dynamics of the H_2 consumption and LIG generation in the reactors, and gases solubility in the separation drums (equations 3-4, 9-11). Therefore, a proper and specific determination of: $k_{\text{H}_2\text{HC}}^s$, k_{GHC}^s , $k_{\text{H}_2\text{HC}}$, k_{LIGHC} , τ_i would be essential in any actual network case study. In this work only theoretical and sensible values were applied to probe usefulness of the methodology. In addition, the previous parameters are linked to HC composition in actual processes, especially to the sulphur content. This was not modelled.

5 CONCLUSIONS

A first principle refinery hydrogen network that considered empirical first order dynamics on: H_2 consumption, LIG generation, and solubility in separation drums, was modelled. The simulation of the three cases studied showed transient properties along the network that differ significantly from steady states, bringing essential information for operation. In particular the simulation presented an effective analysis of network dynamics in a simplified and empirical-based fashion. The gas purities were the most significantly affected variables with up to 10% difference between transient and steady state responses. This knowledge is useful for: processing schedule development and normal operation. Other potential usage is identified in minimising compressors operation outside their allowed working region.

Further research on real cases of study should be conducted to validate this methodology, and its utility in the decision-making process in actual refinery hydrogen networks.

Acknowledgements

Financial support is gratefully acknowledged from the Marie Curie Horizon 2020 EID-ITN project "PROcess NeTwork Optimization for efficient and sustainable operation of Europe's process industries taking machinery condition and process performance into account – PRONTO", Grant agreement No 675215. The authors are grateful to Petronor and its management for supporting this study.

References

- [1] Aho M., Bergman S., Hammarström L., Yli-Opas K., Pelkola A., Sourander M., (2009) Closed Loop Dynamic Optimization of a Petroleum Refinery Process, IFAC Proceedings Volumes, Volume 42, Issue 2, pp 257-262, ISSN 1474-6670, <http://dx.doi.org/10.3182/20090506-3-SF-4003.00048>.
- [2] Aydin E., Celebi A., Sildir H., Arkun Y., Canan U., Is G., Erdogan M., (2015) Dynamic modeling of an industrial diesel hydroprocessing plant by the method of continuous lumping, Computers & Chemical Engineering, Volume 82, pp 44-54, ISSN 0098-1354, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.06.005>.
- [3] Chakrabarty A., Mannan S., Cagin T., (2016) Chapter 6 - Dynamic Simulation, Chaos Theory, and Statistical Analysis in Process Safety, In Multiscale Modeling for Process Safety Applications, Butterworth-Heinemann, Boston, pp 289-308, ISBN 9780123969750, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396975-0.00006-1>.
- [4] EAI (2017) PROOSIS® 64 bits ENTERPRISE, Madrid, Spain, Empresarios Agrupados Internacional SA.
- [5] Fonseca A., Sá V., Bento H., Tavares M., Pinto G., Gomes L., (2008) Hydrogen distribution network optimization: a refinery case study, Journal of Cleaner Production, Volume 16, Issue 16, pp 1755-1763, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.11.003>.
- [6] Gomez E., 2016, A study on modelling, data reconciliation, and optimal operation of hydrogen networks in oil refineries, Doctoral thesis, University of Valladolid, Spain
- [7] Jia N., Zhang N., (2011) Multi-component optimisation for refinery hydrogen networks, Energy, Volume 36, Issue 8, pp 4663-4670, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.03.040>.
- [8] Kumar A., Gautami G., Khanam S., (2010) Hydrogen distribution in the refinery using mathematical modeling, Energy, Volume 35, Issue 9, pp 3763-3772, ISSN 0360-5442, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.025>.
- [9] Moro L., (2009) Optimization in the Petroleum Refining Industry – I The Virtual Refinery, Computer Aided Chemical Engineering, Volume 27, pp 41-46, ISSN 1570-7946, [http://dx.doi.org/10.1016/S1570-7946\(09\)70227-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1570-7946(09)70227-5).
- [10] Liu S., Rong G., (2013) Analysis on Refinery System as a Complex Task-resource Network, Chinese Journal of Chemical Engineering, Volume 21, Issue 3, pp 253-262, ISSN 1004-9541, [http://dx.doi.org/10.1016/S1004-9541\(13\)60485-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1004-9541(13)60485-1).
- [11] Micheletto S., Carvalho M., Pinto J., (2008) Operational optimization of the utility system of an oil refinery, Computers & Chemical Engineering, Volume 32, Issue 1, 2008, pp 170-185, ISSN 0098-1354, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2007.05.013>.
- [12] Navia D., Sarabia D., Gutiérrez G., Cubillos F., De Prada C., (2014) A comparison between two methods of stochastic optimization for a dynamic hydrogen consuming plant, Computers & Chemical Engineering, Volume 63, pp 219-233, ISSN 0098-1354, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2014.02.004>.
- [13] Sarabia D., de Prada C., Gómez E., Gutierrez G., Cristea S., Sola J., Gonzalez R., (2012) Data reconciliation and optimal management of hydrogen networks in a petrol refinery, Control Engineering Practice, Volume 20, Issue 4, pp 343-354, ISSN 0967-0661, <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2011.06.009>.
- [14] Pitty S., Li W., Adhitya A., Srinivasan R., Karimi I., (2008) Decision support for integrated refinery supply chains, Computers & Chemical Engineering, Volume 32, Issue 11, pp 2767-2786, ISSN 0098-1354, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2007.11.006>.

- [15] Tran M., Varvarezos D., Nasir M., (2005) The importance of first-principles, model-based steady-state gain calculations in model predictive control—a refinery case study, *Control Engineering Practice*, Volume 13, Issue 11, pp 1369-1382, ISSN 0967-0661, <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2004.11.015>.
- [16] Zhao H., Feng Y., Dong X., Rong G., (2014) Integration Optimization of Production and Utility System for Refinery-wide Planning, *IFAC Proceedings Volumes*, Volume 47, Issue 3, pp 9599-9604, ISSN 1474-6670, <http://dx.doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.02128>.