

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento
Ambiental, Cultural
e Socioeconômico

Xosé Somoza Medina
(organizador)

VOL V

 EDITORA
ARTEMIS
2024

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento
Ambiental, Cultural
e Socioeconômico

Xosé Somoza Medina
(organizador)

VOL V

 EDITORA
ARTEMIS
2024



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Editora Chefe	Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizador	Prof. Dr. Xosé Somoza Medina
Imagem da Capa	peacestock/123RF
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México*, México
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.^a Dr.^a Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal
Prof.^a Dr.^a Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF, Brasil
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil
Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará, Brasil
Prof.^a Dr.^a Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México
Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo (USP), Brasil
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil
Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México



Prof.ª Dr.ª Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*
Prof.ª Dr.ª Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca, Espanha*
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República, Uruguay*
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara, México*
Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal, Canadá*
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
Prof.ª Dr.ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis, Argentina*
Prof.ª Dr.ª Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*
Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara, México*
Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg, Suécia*
Prof.ª Dr.ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil
Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura, Peru*
Prof.ª Dr.ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío, Chile*
Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College, Estados Unidos*
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha, Espanha*
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil
Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*
Prof. Dr. José Cortez Godinez, Universidad Autónoma de Baja California, México
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, Instituto Politécnico Nacional, México
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid, Espanha*
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colômbia*
Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yañez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México*
Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil
Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodríguez, *Universidad Santiago de Compostela, Espanha*
Prof. Dr. Manuel Simões, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal
Prof.ª Dr.ª Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil
Prof.ª Dr.ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
Prof.ª Dr.ª María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil
Prof.ª Dr.ª Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I, Espanha*

Prof.^ª Dr.^ª Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal
Prof.^ª Dr.^ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.^ª Dr.^ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil
Prof.^ª Dr.^ª M^ªGraça Pereira, Universidade do Minho, Portugal
Prof.^ª Dr.^ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.^ª Dr.^ª María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara, México*
Prof.^ª Dr.^ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
Prof.^ª Dr.^ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba*
Prof.^ª Dr.^ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del País Vasco, Espanha
Prof.^ª Dr.^ª Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México
Prof.^ª Dr.^ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil
Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru*
Prof.^ª Dr.^ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof.^ª Dr.^ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sérgio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof.^ª Dr.^ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*
Prof.^ª Dr.^ª Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil
Prof.^ª Dr.^ª Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University, Russia*
Prof.^ª Dr.^ª Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha
Prof.^ª Dr.^ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
Prof.^ª Dr.^ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil
Prof.^ª Dr.^ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
Prof.^ª Dr.^ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colômbia*
Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León, Espanha*

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciência e tecnologia para o desenvolvimento ambiental, cultural e socioeconômico V [livro eletrônico] / Organizador Xosé Somoza Medina. – Curitiba, PR: Artemis, 2024.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-81701-31-4

DOI 10.37572/EdArt_281024314

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Tecnologia – Aspectos ambientais. I. Somoza Medina, Xosé.

CDD 363.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PRÓLOGO

La publicación de los avances en la investigación que presentamos a continuación, es un mérito en el currículo de las autoras y autores de estos capítulos. Una meta que se persigue desde el momento en que iniciamos, como miembros de la academia universal una investigación concreta, sea ésta en el campo científico o tecnológico que sea. Si el proyecto de investigación que ha generado este texto ha sido financiado por alguna institución pública, difundir los resultados es además una obligación contraída cuando se acepta esa subvención.

Publicar el fruto de un trabajo honesto, como los que conforman este volumen, que ha significado un esfuerzo considerable y que ha obligado a las autoras y autores a un buen número de sacrificios es también un motivo de orgullo personal, compartido con amistades y familiares.

Pero bajo mi punto de vista, publicar el resultado de una investigación es sobre todo un acto necesario de transferencia del personal académico a la sociedad. Al publicar el fruto de nuestro trabajo lo que buscamos los investigadores es que los colectivos próximos a nuestro campo de estudio, pero también empresas, organismos o personas individuales, puedan beneficiarse de nuestros descubrimientos, hayan sido estos obtenidos desde cualquier ámbito de la ciencia o de la tecnología.

Por todo ello, felicito sinceramente a las autoras y autores de los trabajos incluidos en este volumen V de la serie “**Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Ambiental, Cultural e Socioeconômico**” de la Editora Artemis, pues al hacer públicos sus trabajos consiguen un nuevo mérito curricular, cumplen sus obligaciones como investigadores, tienen un motivo legítimo con el que alimentar su orgullo personal y además están transfiriendo a la sociedad nuevos conocimientos. En esta obra se incluyen once capítulos de valía contrastada, seis en el bloque de Ciencia y cinco en el de Tecnología, que suponen una nueva aportación académica para seguir verificando que la investigación científica es la base del avance de nuestra sociedad.

El primer capítulo del bloque Ciencia se corresponde con el trabajo del Dr. Saúl Robles Soto y Wendy Pacheco Martínez titulado “La tecnología y la innovación como determinante en las regiones de México, periodo 2023-2026”, en el que se estudian estas variables como condicionantes del desarrollo regional buscando proponer soluciones para mejorar el bienestar. Víctor Jiménez Arguelles, Luis Antonio Rocha Chiu, José Anselmo Pérez Reyes y Luis Fernando Casales Hernández firman el segundo capítulo, titulado “Análisis de riesgos laborales en trabajos de reconstrucción de edificios dañados por sismos en la ciudad de México”, en el que realizan un estudio de caso sobre los efectos

en las edificaciones dañadas por el sismo de 19 de septiembre de 2017. “El Mapundungun, interculturalidad e inclusiva en el sistema educativo chileno” es el título del cuarto capítulo, del Dr. José Manuel Salum Tomé, en el que promueve la revitalización de la lengua del pueblo mapuche a través de su uso en la enseñanza oficial. Seguidamente tenemos el trabajo de Mtra. Elia Esperanza Ayora Herrera, Dra. Juanita de la Cruz Rodríguez Pech y Lic. Jorge Aldair Anguas Romero, “Consideraciones conceptuales para la formación de profesionistas con habilidades de gestión intercultural, con énfasis en la cultura maya”, que también estudia la importancia de una lengua indígena en la enseñanza, en este caso la del pueblo maya en los estudios universitarios. El trabajo titulado “La educación ambiental proactiva en el campo de la odontología”, de María Dolores Carlos-Sánchez, María Guadalupe Zamora-Gutiérrez, Martha Patricia Delijorge-González, Martha Patricia De La Rosa-Basurto, José Ricardo Gómez-Bañuelos, Manuel Alejandro Carlos-Félix y Jesús Rivas Gutiérrez expone las posibilidades actuales de incluir de forma transversal en el currículo de carreras técnicas cuestiones tan importantes como la educación ambiental. Por último, en el bloque de Ciencia, el sexto capítulo está firmado por José Luis Gutiérrez Liñán, Carmen Aurora Niembro Gaona, Alfredo Medina García y Jorge Eduardo Zarur Cortés y se titula “La formación práctica de los ingenieros agrónomos en producción a través del desarrollo de prácticas de campo” en el que, desde las ciencias de la educación se realiza una investigación sobre las denominadas prácticas de campo, el nexo de unión entre las enseñanzas teóricas del aula y los saberes prácticos del campo.

El Bloque de Tecnología contiene cinco capítulos, el primero proviene de las aplicaciones de la biotecnología a la medicina y es el estudio titulado “Desarrollo de técnicas moleculares basadas en PCR para la detección de *Campylobacter Fetus*”, firmado por Edgar Iván González Jiménez, Lily Xóchitl Zelaya Molina, Saúl Pardo Melgarejo, José Herrera Camacho, Marcelino Álvarez Silva y Carlos Alberto Ramos Jonapa. El segundo capítulo se titula “El rol de *Trichoderma Asperellum* MT044384 en la sustentabilidad del maíz criollo (*Zea Mays*) frente al cambio climático” y los autores son M.C. José Israel Rodríguez Barrón, Ing. Brenda Bermúdez, M.C. Víctor Manuel Mata Prado y Ramón Rodríguez Blanco. A continuación, Francisco Alberto Hernández de la Rosa y María Teresa Fernández Mena emplean la simulación Monte Carlo bidimensional para desarrollar un trabajo de econometría y analizar la rentabilidad del yacimiento petrolífero oceánico de Ku-Maloob-Zaap, en la Sonda de Campeche, en el trabajo titulado “Análisis sobre la utilidad monetaria por producción de petróleo crudo en el yacimiento Ku-Maloob-Zaap de PEMEX usando simulación Monte Carlo bidimensional”. En el trabajo firmado por José Germán Flores-Garnica, Daniel Alejandro Cadena-Zamudio y Ana Graciela Flores-

Rodríguez, titulado “Efecto del fuego sobre la diversidad de especies forestales en selva mediana subperennifolia de México”, se analizan los efectos de los incendios en los ecosistemas tropicales a través de un análisis empírico y se presentan recomendaciones para mejorar la gestión de la resiliencia vegetal. Finalmente, el capítulo de ingeniería eléctrica que cierra este volumen lo firman Juan Anzures Marín, Juan Manuel De la Torre Caldera y Salvador Ramírez Zavala y lleva por título “Modelado convexo Takagi-Sugeno de sistemas no lineales: sistema de nivel de líquido de dos tanques interconectados”.

Xosé Somoza Medina
Universidad de León, España

SUMÁRIO

CIÊNCIA

CAPÍTULO 1..... 1

LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN COMO DETERMINANTE EN LAS REGIONES DE MÉXICO, PERÍODO 2023-2026

Saúl Robles Soto

Wendy Pacheco Martínez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2810243141

CAPÍTULO 2..... 14

ANÁLISIS DE RIESGOS LABORALES EN TRABAJOS DE RECONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DAÑADOS POR SISMOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Victor Jiménez Arguelles

Luis Antonio Rocha Chiu

José Anselmo Pérez Reyes

Luis Fernando Casales Hernández

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2810243142

CAPÍTULO 3.....32

EL MAPUDUNGUN, INTERCULTURALIDAD E INCLUSIVA EN EL SISTEMA EDUCATIVO CHILENO

José Manuel Salum Tomé

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2810243143

CAPÍTULO 4..... 48

CONSIDERACIONES CONCEPTUALES PARA LA FORMACIÓN DE PROFESIONISTAS CON HABILIDADES DE GESTIÓN INTERCULTURAL, CON ÉNFASIS EN LA CULTURA MAYA

Elía Esperanza Ayora Herrera

Juanita de la Cruz Rodríguez Pech

Jorge Aldair Anguas Romero

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2810243144

CAPÍTULO 5..... 59

LA EDUCACIÓN AMBIENTAL PROACTIVA EN EL CAMPO DE LA ODONTOLOGIA

María Dolores Carlos-Sánchez
María Guadalupe Zamora-Gutiérrez
Martha Patricia Delijorge-González
Martha Patricia de la Rosa-Basurto
José Ricardo Gómez-Bañuelos
Manuel Alejandro Carlos-Félix
Jesús Rivas-Gutiérrez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2810243145

CAPÍTULO 6.....71

LA FORMACIÓN PRÁCTICA DE LOS INGENIEROS AGRÓNOMOS EN PRODUCCIÓN A TRAVÉS DEL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE CAMPO

José Luis Gutiérrez Liñán
Carmen Aurora Niembro Gaona
Alfredo Medina García
Jorge Eduardo Zarur Cortés

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2810243146

TECNOLOGIA

CAPÍTULO 7..... 81

DESARROLLO DE TÉCNICAS MOLECULARES BASADAS EN PCR PARA LA DETECCIÓN DE *CAMPYLOBACTER FETUS*

Edgar Iván González Jiménez
Lily Xóchitl Zelaya Molina
Saúl Pardo Melgarejo
José Herrera Camacho
Marcelino Álvarez Silva
Carlos Alberto Ramos Jonapa

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2810243147

CAPÍTULO 8..... 89

EL ROL DE *TRICHODERMA ASPERELLUM* MT044384 EN LA SUSTENTABILIDAD DEL MAÍZ CRIOLLO (*ZEA MAYS*) FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

José Israel Rodríguez Barrón
Brenda Bermúdez

Víctor Manuel Mata Prado

Ramón Rodríguez Blanco

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2810243148

CAPÍTULO 9.....97

ANÁLISIS SOBRE LA UTILIDAD MONETARIA POR PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO CRUDO EN EL YACIMIENTO KU-MALOOB-ZAAP DE PEMEX USANDO SIMULACIÓN MONTE CARLO BIDIMENSIONAL

Francisco Alberto Hernández de la Rosa

María Teresa Fernández Mena

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2810243149

CAPÍTULO 10..... 108

EFFECTO DEL FUEGO SOBRE LA DIVERSIDAD DE ESPECIES FORESTALES EN SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA DE MÉXICO

José German Flores-Garnica

Daniel Alejandro Cadena-Zamudio

Ana Graciela Flores-Rodríguez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28102431410

CAPÍTULO 11..... 120

MODELADO CONVEXO TAKAGI-SUGENO DE SISTEMAS NO LINEALES: SISTEMA DE NIVEL DE LÍQUIDO DOS TANQUES INTERCONECTADOS

Juan Anzures Marín

Juan Manuel de la Torre Caldera

Salvador Ramírez Zavala

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28102431411

SOBRE O ORGANIZADOR.....139

ÍNDICE REMISSIVO 140

CAPÍTULO 11

MODELADO CONVEXO TAKAGI-SUGENO DE SISTEMAS NO LINEALES: SISTEMA DE NIVEL DE LÍQUIDO DOS TANQUES INTERCONECTADOS

Data de submissão: 14/09/2024

Data de aceite: 04/10/2024

Juan Anzures Marín

División de Estudios de Posgrado y de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Morelia, Michoacán, México
<https://orcid.org/0000-0002-6686-3277>

Juan Manuel de la Torre Caldera

División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Morelia, Michoacán, México

Salvador Ramírez Zavala

Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Morelia, Michoacán, México
<https://orcid.org/0000-0001-5480-6593>

RESUMEN: En el presente trabajo se muestra la metodología y los resultados obtenidos al aplicar el modelado difuso del tipo Takagi-Sugeno, para una clase de sistema no lineal; en este caso un sistema de nivel de líquido de dos tanques interconectados. El modelado se realiza en espacio de estados reescribiendo al

sistema no lineal, considerando cuatro puntos de operación del rango total de operación del sistema, para generar subsistemas lineales. El sistema está formado por dos tanques en serie donde el flujo de salida del primer tanque entra al segundo tanque. Para validar el modelo diseñado se comparan los resultados del modelo del sistema de simulación con los datos reales del mismo.

PALABRAS CLAVE: Modelado difuso. Sistema no lineal. Espacio de estados. Sistemas de nivel de líquido. Takagi-Sugeno.

TAKAGI-SUGENO CONVEX MODELING OF NONLINEAR SYSTEMS: TWO-TANK INTERCONNECTED LIQUID LEVEL SYSTEM

ABSTRACT: This paper presents the methodology and results obtained by applying Takagi-Sugeno fuzzy modeling for a class of nonlinear systems; in this case, a liquid level system of two interconnected tanks. The modeling is performed in state space by rewriting the nonlinear system, considering four operating points of the total operating range of the system, to generate linear subsystems. The system consists of two tanks in series where the output flow from the first tank enters the second tank. To validate the designed model, the results of the simulation system model are compared with the actual data of the system.

KEYWORDS: Fuzzy modeling. Nonlinear system. State space. Liquid level systems. Takagi-Sugeno.

1 INTRODUCCIÓN

La obtención de modelos de sistemas reales es cada vez más demandada en diversas áreas de la ciencia y la técnica. Tal es el caso de los procesos industriales y biotecnológicos, los cuales son considerados como sistemas complejos, y de los cuales, por lo general, sólo existe conocimiento parcial obtenido por experiencia operativa (Castillo, 2007).

La obtención de un modelo matemático es necesaria en cualquier proceso que se lleve a cabo para analizar el comportamiento del sistema. Aunque el modelo matemático no es único, se debe garantizar que sea confiable, puesto que la mayoría de las propuestas modernas de control están basadas en un modelo del proceso bajo análisis, por esta razón el modelado es una etapa importante en el diseño de sistemas de control. Para satisfacer los requerimientos de calidad de los productos, el sistema de control debe garantizar altos requerimientos de calidad sobre un rango amplio de condiciones de operación. Cuando se considera la totalidad del rango de operación, la mayoría de los procesos exhiben un comportamiento fuertemente no lineal y no pueden ser descritos empleando modelos lineales convencionales. Una técnica útil para atender la problemática anterior se introdujo en 1965 (Zadeh, 1965) con la teoría de conjuntos difusos, la cual ha encontrado aplicaciones en un amplio rango de disciplinas. El modelado de sistemas dinámicos pertenecen a los campos donde estas técnicas han recibido gran atención, no sólo de la comunidad científica, sino también de la industria en general. Los modelos basados en la lógica difusa, manejan las no linealidades a través de la descomposición del sistema dentro de regiones difusas y mediante el empleo de un modelo lineal simple en cada región.

En Takagi (1985) utilizan modelos difusos desarrollados por Takagi y Sugeno (T-S) para modelar un sistema no lineal mediante un conjunto de modelos locales lineales definidos por un conjunto de reglas difusas de la forma SI-ENTONCES, donde cada regla expresa un comportamiento significativo del sistema expresado como un modelo lineal. En este documento se presenta una herramienta matemática para construir un modelo difuso de un sistema donde se utilizan implicaciones difusas y razonamiento. En este mismo trabajo se muestra el método de identificación de un sistema utilizando sus datos de entrada-salida. También se discuten dos aplicaciones del método a procesos industriales: un proceso de limpieza de agua y un convertidor en un proceso de fabricación de acero.

De acuerdo a esto, en este trabajo se muestra la descripción en espacio de estado del sistema linealizado y se desarrolla una representación del Modelo Difuso Takagi-Sugeno (MDT-S) para el sistema de nivel de líquido de dos tanques interconectados en serie donde el flujo de salida del primero es el flujo de entrada del segundo tanque. El modelo o representación se realiza en espacio de estado, usando cuatro puntos de operación para generar subsistemas lineales, los cuales se determinan basados en la experiencia del funcionamiento del sistema.

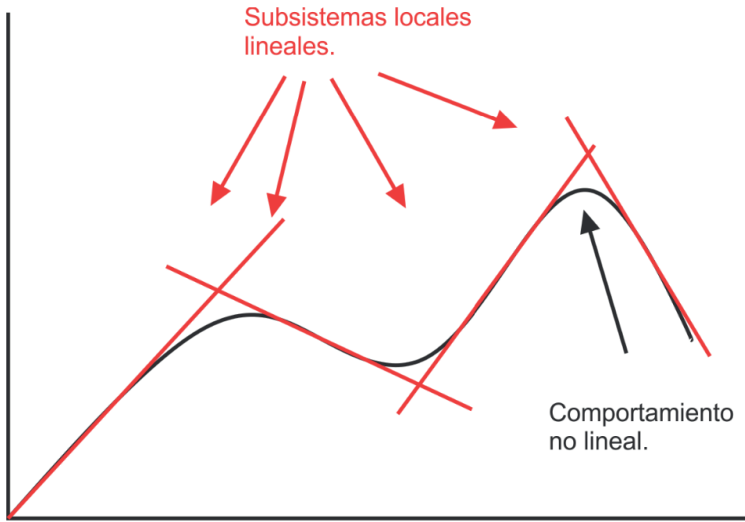
2 DESCRIPCIÓN DEL METODO

2.1 CONJUNTOS DIFUSOS Y MODELADO TAKAGI-SUGENO (T-S)

El autor Lofti Asker Zadeh (1965) de la Universidad de Berkeley introduce la idea de “Conjuntos Difusos”. En este trabajo describe a un conjunto difuso como una clase de objetos con un continuo grado de membresía. Tal conjunto se caracteriza por una función de pertenencia (característica) que asigna a cada objeto un grado de pertenencia que varía entre cero y uno. Se amplían las nociones de inclusión, unión, intersección, complemento, relación, convexidad, etc. a tales conjuntos. En particular, se prueba un teorema de separación para conjuntos difusos convexos sin requerir que los conjuntos difusos sean disjuntos.

El modelo difuso desarrollado por Takagi y Sugeno (T-S) tiene como objetivo describir el comportamiento no lineal de un sistema en un número finito de subsistemas locales lineales en distintas regiones de operación del mismo, tal como se muestra en la Figura 1. Este modelo propuesto por Tomohiro Takagi y Michio Sugeno (Takagi, 1985) es descrito mediante un conjunto difuso de reglas de la forma SI-ENTONCES, que representan relaciones lineales de entrada-salida de un sistema no lineal. La cualidad principal de un modelo difuso de T-S es la capacidad de expresar la dinámica local de cada implicación difusa (regla) por medio de un subsistema lineal. El modelo completo difuso del sistema se obtiene de la combinación difusa de los modelos lineales. Los consecuentes individuales son sistemas lineales que pueden ser analizados mediante la teoría de sistemas lineales.

Figura 1. Gráfica de sistema no lineal y subsistemas lineales.



Así, sea el sistema no lineal descrito por la ecuación (1). (Takagi, 1985, Farfán et al, 2007)

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= f(x(t), u(t)) \\ y(t) &= h(x(t)) \end{aligned} \quad (1)$$

donde: $x(t) \in R^n$ es el vector de estado del sistema, $u(t) \in R^m$ es el vector de entrada, $y(t) \in R^p$ es el vector de salida.

El cual se puede reescribir mediante un modelo difuso T-S con la capacidad de expresar la dinámica local de cada implicación difusa (regla) por medio de un subsistema lineal. Entonces, el modelo difuso completo del sistema no lineal se obtiene mediante la suma convexa de los submodelos lineales.

Entonces, la i -ésima regla del modelo para un sistema continuo está dada por (2).

$$\begin{aligned} &\text{Si } \varphi_1(t) \text{ es } M_{n1} \text{ y } \dots \text{ y } \varphi_p(t) \text{ es } M_{np} \\ \text{ENTONCES } &\begin{cases} \dot{x}(t) = A_i x(t) + B_i u(t) \\ y(t) = C_i x(t) \end{cases} \quad \text{con } i = 1, 2, 3, \dots, \eta \end{aligned} \quad (2)$$

donde: $\varphi_1(t), \dots, \varphi_p(t)$ son variables premisas medibles que pueden ser funciones de variables de estado o tiempo; M_{np} es un conjunto difuso y η es el número de reglas; $x(t) \in R^n$ es el vector de estado; A_i, B_i, C_i son matrices constantes conocidas de dimensión apropiada. Cada ecuación lineal representada por $\dot{x}(t) = A_i x(t) + B_i u(t)$ es llamada subsistema.

Para $(x(t), u(t))$ dadas, el modelo difuso completo se obtiene mediante el uso de un fuzificador tipo singleton, inferencia tipo producto y centro de gravedad como defuzificador; como resultado las salidas finales del sistema difuso se expresan como una suma convexa (3).

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= \sum_{i=1}^{\eta} h_i(\varphi)(A_i x(t) + B_i u(t)) \\ y(t) &= \sum_{i=1}^{\eta} h_i(\varphi) C_i x(t) \end{aligned} \quad (3)$$

donde

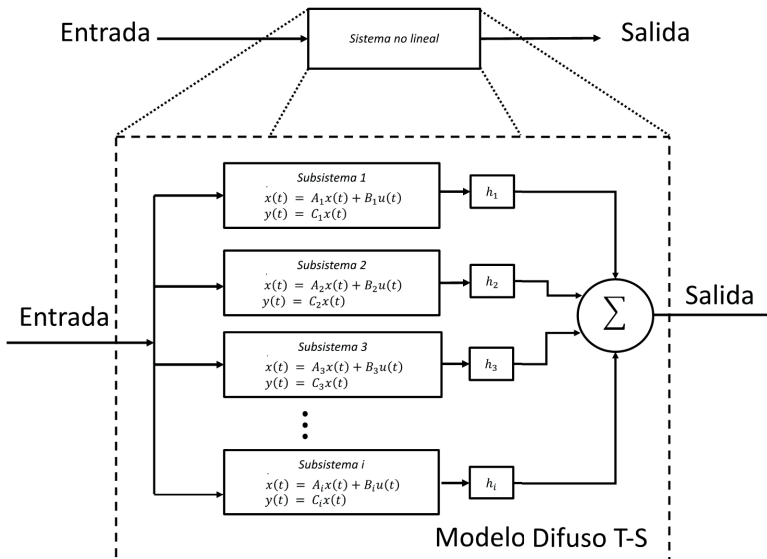
$$\varphi = [\varphi_1 \ \varphi_2 \ \dots \ \varphi_p], \quad h_i(\varphi) = \frac{\omega_i(\varphi)}{\sum_{i=1}^{\eta} \omega_i(\varphi)}, \quad \omega_i(\varphi) = \prod_{j=1}^p M_{ij}(\varphi)$$

y $h_i(\varphi)$ es el peso normalizado para cada una de las reglas calculado a partir de la función de membresía para $\varphi_i(t)$ en M_{ij} y satisface las condiciones:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{\eta} h_i(\varphi_i(t)) = 1 \\ 0 \leq h_i(\varphi_i(t)) \leq 1 \quad \text{con } i = 1, 2, 3, \dots, \eta \end{cases}$$

de forma compacta, la representación de la ecuación (1) se ilustra en la Figura 2.

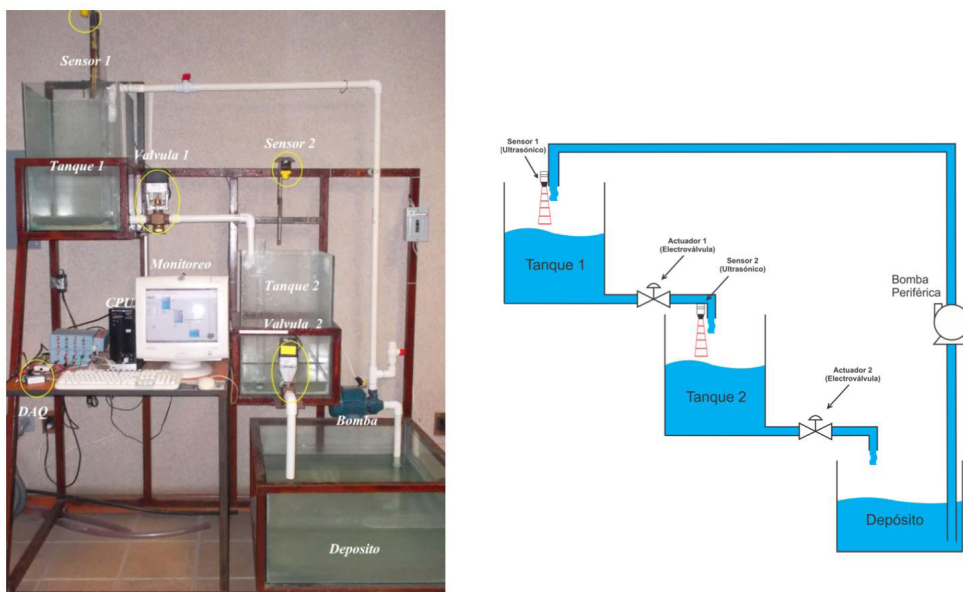
Figura 2. Esquema ilustrativo del sistema difuso T-S.



2.2 MODELADO DE UN SISTEMA DE NIVEL DE LÍQUIDO

El ejemplo de aplicación considerado para mostrar el modelado difuso T-S, es un sistema hidráulico no lineal de dos tanques interconectados mostrado en la Figura 3. El sistema podría representar a un sistema de nivel de líquido en la industria, por ejemplo, la industria petroquímica, fabricación de papel y las de tratamiento de agua. En estos procesos industriales en ocasiones el líquido es procesado por tratamientos químicos en los tanques, pero siempre el nivel de los tanques debe ser controlado y el flujo entre ellos regulado (Barajas, 2011).

Figura 3. Fotografía y diagrama representativo del Sistema de nivel de líquido de dos tanques interconectados.

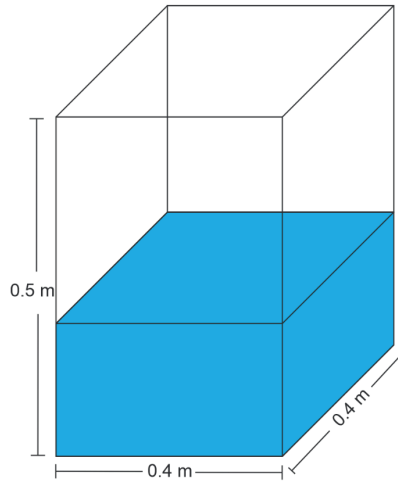


Este sistema de nivel de líquido es alimentado mediante una bomba periférica desde un contenedor de agua, el líquido es llevado desde este contenedor mediante tubería de PVC hasta el primer tanque (tanque superior), de este tanque, el líquido pasa a través de la primera electroválvula hasta depositarse en el segundo tanque (tanque inferior), de ahí, pasa a través de una segunda electroválvula para depositarse en el contenedor y así cerrar el ciclo.

Los tanques tienen dimensiones de 0.4 m de ancho, 0.4 m de fondo y 0.5 m de alto (como se muestra en la Figura 4). El sistema cuenta con dos sensores ultrasónicos de la marca Banner (Q45U) seleccionados para la detección sin contacto ni desgaste, de gran variedad de objetos mediante ondas en frecuencia y dos actuadores proporcionales

industriales de marca Honeywell (modelo ML6984), uno en cada tanque como se muestra en la Figura 3.

Figura 4. Dimensiones del tanque.



El modelo matemático no lineal del sistema se encuentra descrito por las ecuaciones (4) (Maldonado, 1999).

$$\dot{h}_1(t) = \frac{f_e}{A_t} - \frac{w_1(t)\sqrt{h_1(t)}}{A_t} \quad (4)$$

$$\dot{h}_2(t) = \frac{w_1(t)\sqrt{h_1(t)}}{A_t} - \frac{w_2(t)\sqrt{h_2(t)}}{A_t}$$

$$\dot{w}_1(t) = \frac{K_{e1}}{T} v_1(t) - \frac{1}{T} w_1(t)$$

$$\dot{w}_2(t) = \frac{K_{e2}}{T} v_2(t) - \frac{1}{T} w_2(t)$$

donde: donde h_i , w_i y v_i ; $i = 1, 2$, son los niveles del i -ésimo tanque, el factor de apertura de la i -ésima electroválvula y el voltaje de entrada a la i -ésima electroválvula respectivamente; A_t es el área de sección transversal de cada tanque; T , Ke_1 , Ke_2 son las constantes de tiempo y las ganancias estáticas de las válvulas respectivamente; f_e es el flujo de entrada constante al tanque 1.

2.3 MODELADO DIFUSO TAKAGI-SUGENO DE UN SISTEMA DE NIVEL DE LÍQUIDO

A partir del modelo no lineal del sistema hidráulico (4) se construye su representación convexa T-S (3), para lo cual se obtiene su modelo lineal “equivalente” por medio de la serie de Taylor dado por (5).

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (5)$$

$$y(t) = Cx(t)$$

donde $x(t) \in \mathbb{R}^n$ es el vector de estado, $y(t) \in \mathbb{R}^m$ es el vector de salida, $u(t) \in \mathbb{R}^l$ es el vector conocido de entrada y A, B, C son matrices conocidas.

y obteniendo las matrices lineales A, B, C de acuerdo a Ogata, (2001), y Maldonado, (1999) se obtiene las expresiones (6).

$$A_i = \begin{bmatrix} -\frac{w_1}{2A_t\sqrt{h_1}} & -\frac{\sqrt{h_1}}{A_t} & 0 & \mathbf{0} \\ 0 & -\frac{1}{T_1} & \mathbf{0} & 0 \\ \frac{w_1}{2A_t\sqrt{h_1}} & \frac{\sqrt{h_1}}{A_t} & -\frac{w_2}{2A_t\sqrt{h_2}} & -\frac{\sqrt{h_2}}{A_t} \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_2} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$B_i = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{K_{e1}}{T_1} & 0 \\ 0 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \frac{K_{e2}}{T_2} \end{bmatrix}; \quad C_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \mathbf{0} \\ 0 & 0 & 1 & \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

donde: w_1 y w_2 factores de apertura de electroválvulas; h_1 y h_2 alturas deseadas en los tanques; T_1 y T_2 constantes de tiempo de apertura de electroválvulas; K_{e1} y K_{e2} constantes de proporcionalidad de electroválvulas; A_t área transversal de cada tanque, $A_t = 0.16 \text{ m}^2$ (tanques iguales); $i=1, 2, 3$ y 4 .

Cuando se modela un sistema no lineal mediante una representación tipo T-S, el número de reglas normalmente es determinado por la exactitud requerida. En general un mayor número de reglas lleva a una exactitud mayor; sin embargo, entre mayor número de reglas el modelo resultante se transforma en uno más complejo. Para evaluar la técnica

de modelado difuso T-S dada por (3), se consideran cuatro reglas difusas (cuatro puntos de operación), que representan los subsistemas lineales que modelan al sistema no lineal (4). (Anzures, 2016).

Punto de operación 1: nivel tanque 1 bajo, nivel tanque 2 bajo.

Punto de operación 2: nivel tanque 1 bajo, nivel tanque 2 alto.

Punto de operación 3: nivel tanque 1 alto, nivel tanque 2 bajo.

Punto de operación 4: nivel tanque 1 alto, nivel tanque 2 alto.

Considerando un nivel bajo en el tanque de 0 m a 0.25 m y un nivel alto de 0.25 m a 0.5 m.

Las funciones de membresía elegidas para este caso están expresadas por las ecuaciones (7) (Anzures 2006, 2016).

$$M_1(x_1) = \left[1 - \frac{1}{1 + e^{-35(x_1 - \frac{\pi}{12.5})}} \right] \left[\frac{1}{1 + e^{-35(x_1 + \frac{\pi}{12.5})}} \right]$$

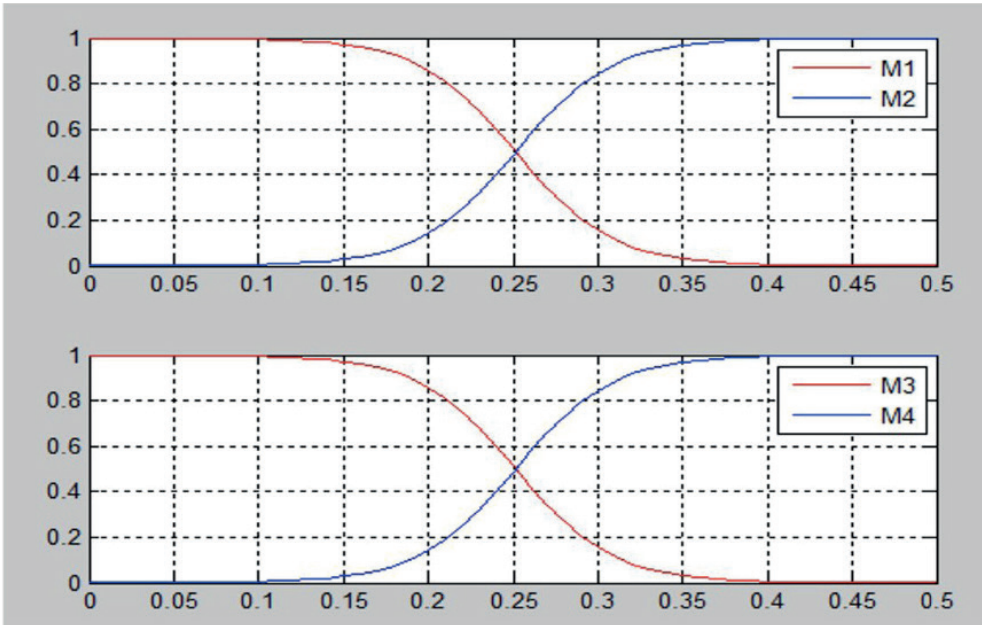
$$M_2(x_1) = 1 - M_1(x_1)$$

$$M_3(x_3) = \left[1 - \frac{1}{1 + e^{-35(x_3 - \frac{\pi}{12.5})}} \right] \left[\frac{1}{1 + e^{-35(x_3 + \frac{\pi}{12.5})}} \right]$$

$$M_4(x_3) = 1 - M_3(x_3)$$
(7)

donde x_1 y x_3 son estados del sistema, respectivamente altura tanque 1 y altura tanque 2. Las funciones de membresía seleccionadas corresponden a funciones tipo sigmoide, las cuales se comportan semejante a procesos naturales reales que muestran una progresión pequeña al principio, la que se incrementa y se aproxima a un máximo con el paso del tiempo. Este tipo de función es usada cuando un modelo matemático podría tener cierta incertidumbre del modelado. La función se muestra en la Figura 5 y se utiliza para ambos tanques.

Figura 5. Funciones de membresía del tanque uno y tanque dos.



Así, el modelo difuso T-S del sistema se puede describir de acuerdo a (2), obteniéndose las reglas: (Anzures 2016):

Regla para el modelo 1:

$$\text{SI } x_1 \text{ es } M_1 \text{ y } x_3 \text{ es } M_3 \text{ ENTONCES } \begin{cases} \dot{x}(t) = A_1x(t) + B_1u(t) \\ y(t) = C_1x(t) \end{cases}$$

Regla para el modelo 2:

$$\text{SI } x_1 \text{ es } M_1 \text{ y } x_3 \text{ es } M_4 \text{ ENTONCES } \begin{cases} \dot{x}(t) = A_2x(t) + B_2u(t) \\ y(t) = C_2x(t) \end{cases}$$

Regla para el modelo 3:

$$\text{SI } x_1 \text{ es } M_2 \text{ y } x_3 \text{ es } M_3 \text{ ENTONCES } \begin{cases} \dot{x}(t) = A_3x(t) + B_3u(t) \\ y(t) = C_3x(t) \end{cases}$$

Regla para el modelo 4:

$$\text{SI } x_1 \text{ es } M_2 \text{ y } x_3 \text{ es } M_4 \text{ ENTONCES } \begin{cases} \dot{x}(t) = A_4x(t) + B_4u(t) \\ y(t) = C_4x(t) \end{cases}$$

donde A_i , B_i y C_i son los modelos lineales del sistema dados por (6) evaluados en los puntos de operación.

En las Tablas 1 a 4, se muestran los valores de las constantes respectivas de cada subsistema, obtenidos con base en la experimentación con el sistema de nivel de líquido.

Tabla 1. Punto de operación del Subsistema 1 (bajo - bajo).

$C_t = 0.16 \text{ m}^2$	
$h_1 = 0.06 \text{ m}$	$h_2 = 0.12 \text{ m}$
$T_1 = 8.41 \text{ s}$	$T_2 = 12.2 \text{ s}$
$R_1 = 0.01643$	$R_2 = 0.02213$
$I_{e1} = - 0.0022$	$I_{e2} = - 0.0022$

Tabla 2. Punto de operación del Subsistema 2 (bajo - alto).

$C_t = 0.16 \text{ m}^2$	
$h_1 = 0.13 \text{ m}$	$h_2 = 0.25 \text{ m}$
$T_1 = 8.41 \text{ s}$	$T_2 = 8.99 \text{ s}$
$R_1 = 0.01643$	$R_2 = 0.01643$
$I_{e1} = - 0.0021$	$I_{e2} = - 0.0021$

Tabla 3. Punto de operación del Subsistema 3 (alto - bajo).

$C_t = 0.16 \text{ m}^2$	
$h_1 = 0.47 \text{ m}$	$h_2 = 0.13 \text{ m}$
$T_1 = 7.54 \text{ s}$	$T_2 = 12.2 \text{ s}$
$R_1 = 0.01472$	$R_2 = 0.02213$
$I_{e1} = - 0.0021$	$I_{e2} = - 0.0023$

Tabla 4. Punto de operación del Subsistema 4 (alto - alto).

$C_t = 0.16 \text{ m}^2$	
$h_1 = 0.39 \text{ m}$	$h_2 = 0.37 \text{ m}$
$T_1 = 7.25 \text{ s}$	$T_2 = 8.68 \text{ s}$
$R_1 = 0.01415$	$R_2 = 0.01586$
$I_{e1} = - 0.0021$	$I_{e2} = - 0.0021$

Ahora sustituyendo estos valores en (6) para obtener cada uno de los modelos lineales propuestos, se obtiene (8) – (11).

$$A_1 = \begin{bmatrix} -0.2263 & -1.6528 & 0 & \mathbf{0} \\ 0 & -0.1189 & \mathbf{0} & 0 \\ 0.2263 & 1.6528 & -0.2155 & -2.3375 \\ 0 & 0 & 0 & -0.082 \end{bmatrix}; \quad (8)$$

$$B_1 = 1 \times 10^{-3} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -0.2616 & 0 \\ 0 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & -0.2616 \end{bmatrix}; \quad C_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \mathbf{0} \\ 0 & 0 & 1 & \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} -0.1537 & -2.4329 & 0 & \mathbf{0} \\ 0 & -0.1189 & \mathbf{0} & 0 \\ 0.1537 & 2.4329 & -0.1109 & -3.3738 \\ 0 & 0 & 0 & -0.1112 \end{bmatrix}; \quad (9)$$

$$B_2 = 1 \times 10^{-3} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -0.2497 & 0 \\ 0 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & -0.2497 \end{bmatrix}; \quad C_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \mathbf{0} \\ 0 & 0 & 1 & \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} -0.0724 & -4.6259 & 0 & \mathbf{0} \\ 0 & -0.1326 & \mathbf{0} & 0 \\ 0.0724 & 4.6259 & -0.2071 & -2.4329 \\ 0 & 0 & 0 & -0.082 \end{bmatrix}; \quad (10)$$

$$B_3 = 1 \times 10^{-3} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -0.2785 & 0 \\ 0 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & -0.2785 \end{bmatrix}; \quad C_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \mathbf{0} \\ 0 & 0 & 1 & \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} -0.0764 & -4.2139 & 0 & \mathbf{0} \\ 0 & -0.1379 & \mathbf{0} & 0 \\ 0.0764 & 4.2139 & -0.0880 & -4.1044 \\ 0 & 0 & 0 & -0.1152 \end{bmatrix}; \quad (11)$$

$$B_4 = 1 \times 10^{-3} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -0.2897 & 0 \\ 0 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & -0.2897 \end{bmatrix}; \quad C_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \mathbf{0} \\ 0 & 0 & 1 & \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

3 RESULTADOS

Para poder validar la efectividad del modelo difuso T-S se realizan las pruebas de comparación de los datos tanto del modelo del sistema dado por (4); el mismo modelo de (4) más una señal de entrada desconocida al sistema (4) y del sistema en tiempo real todos comparados con el obtenido del modelo difuso T-S; cabe mencionar que para poder mantener al sistema en una referencia fija (alturas deseadas) y poder comparar los resultados de ambos sistemas, se implementó un sistema de control en lazo cerrado del tipo Proporcional Integral Derivativo (PID) (que esta parte no es el objetivo de este trabajo).

El diagrama y código de programación con los cuales se obtuvieron los resultados de simulación del modelo difuso T-S se realizaron con ayuda del software Simulink® de Matlab®. Los resultados del sistema de nivel de líquido en tiempo real fueron obtenidos usando el mismo software estableciendo comunicación con el sistema de nivel de líquido mediante la tarjeta de adquisición de datos USB-6008 DAQ de National Instruments.

Primeramente, en la figura 6 y 7 se muestran los resultados de simulación de la altura del tanque uno y dos respectivamente al comparar el modelo dado por (4) del sistema con el modelo difuso T-S diseñado. De estas respuestas se puede ver que ambas respuestas de los modelos difusos T-S de los tanques 1 y 2 convergen al estado real de la planta.

Figura 6. Nivel real y estimado tanque uno en simulación.

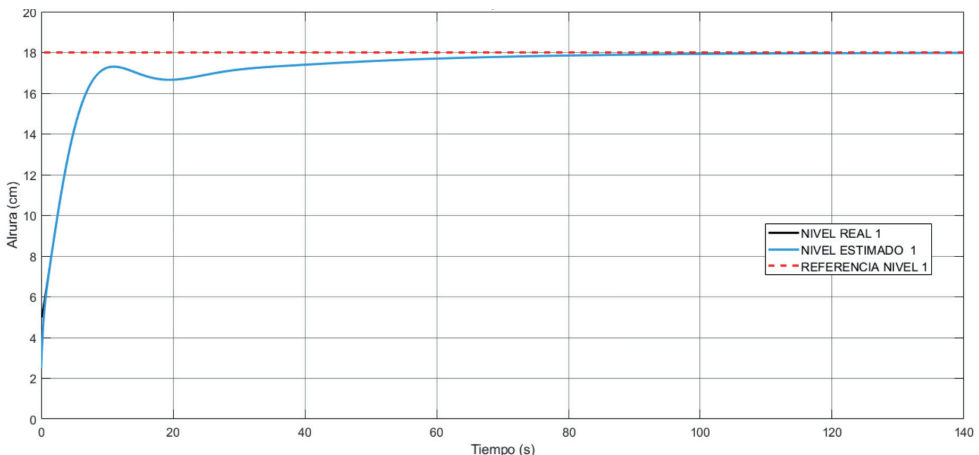
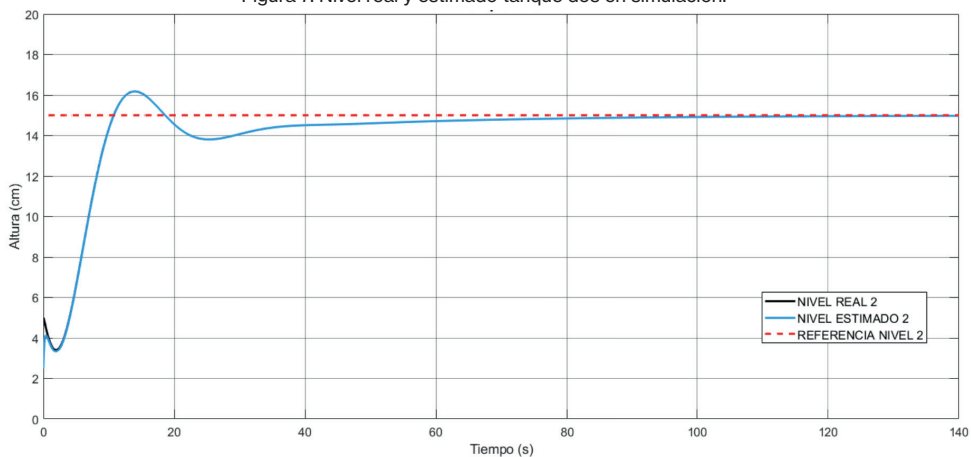


Figura 7. Nivel real y estimado tanque dos en simulación.



En las figuras 8 y 9 se muestra un acercamiento de las alturas reales y estimadas del tanque uno y dos respectivamente con la finalidad de observar el tiempo de convergencia en ambos tanques. Se puede observar que el tanque uno converge en un tiempo de 1.5 segundos sin tener sobre impulso, mientras que el tanque dos converge en un tiempo igual a 6 segundos sin tener sobre impulso. Ambos esquemas convergen en un 100% a los estados reales.

Figura 8. Acercamiento convergencia nivel estimado y real tanque uno en simulación.

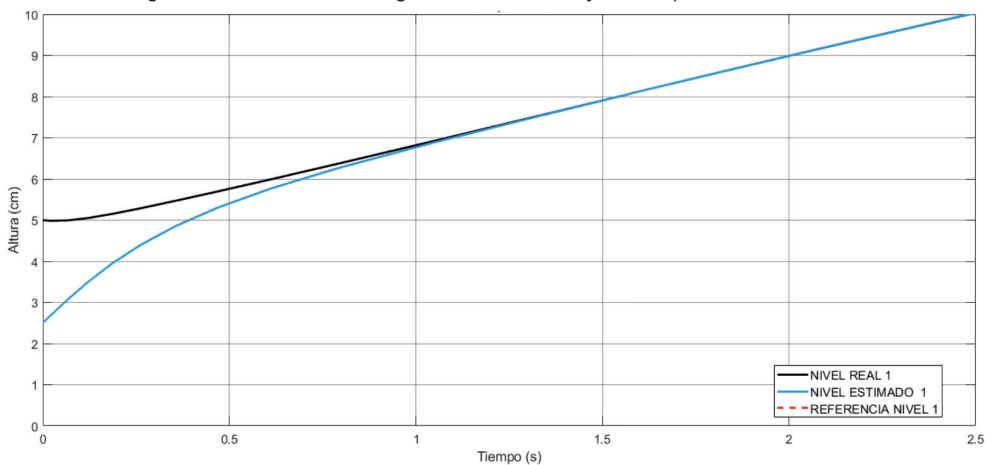
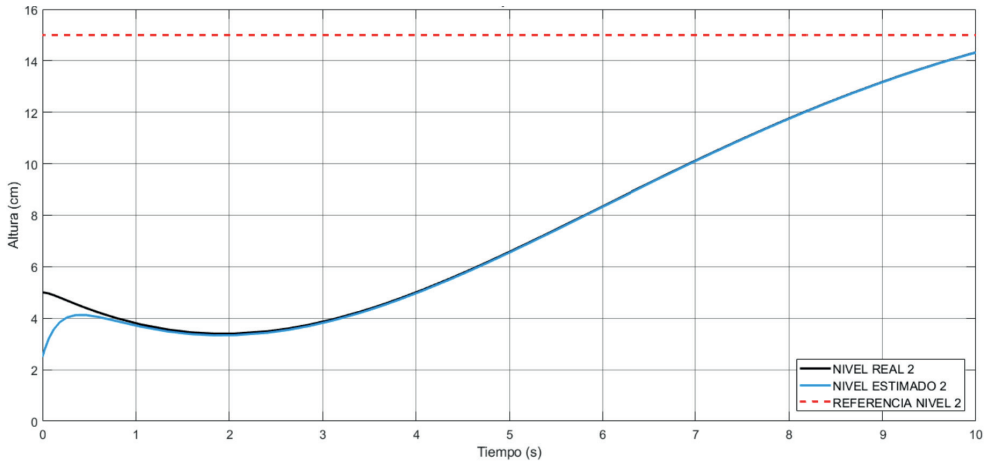


Figura 9. Acercamiento convergencia nivel estimado y real tanque dos en simulación.



En la figura 10 y 11 se muestran los resultados de simulación de la altura del tanque uno y dos respectivamente al comparar el modelo dado por (4) más una entrada desconocida (ruido gaussiano) que simula el ruido en la medición por el movimiento del líquido en los tanques, contra el modelo difuso T-S diseñado. De estas respuestas se puede ver que ambas respuestas de los modelos difusos T-S de los tanques uno y dos convergen al estado real de la planta aún en presencia de entradas desconocidas.

Figura 10. Nivel real y estimado tanque 1 con entrada desconocida.

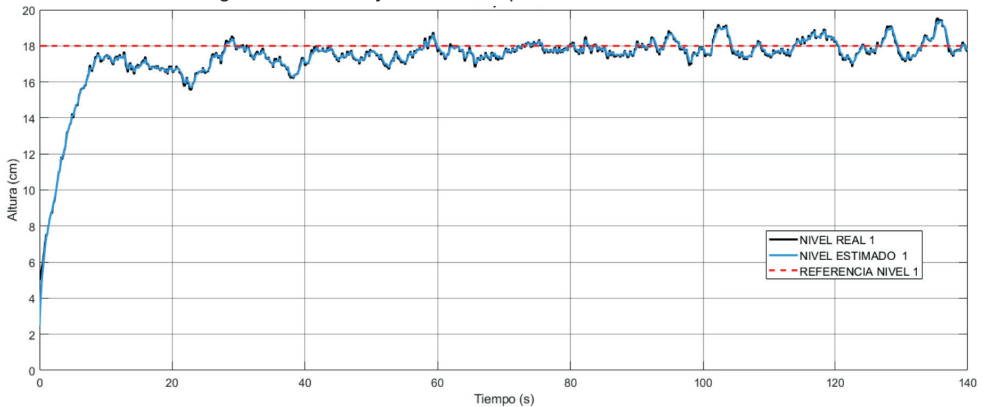
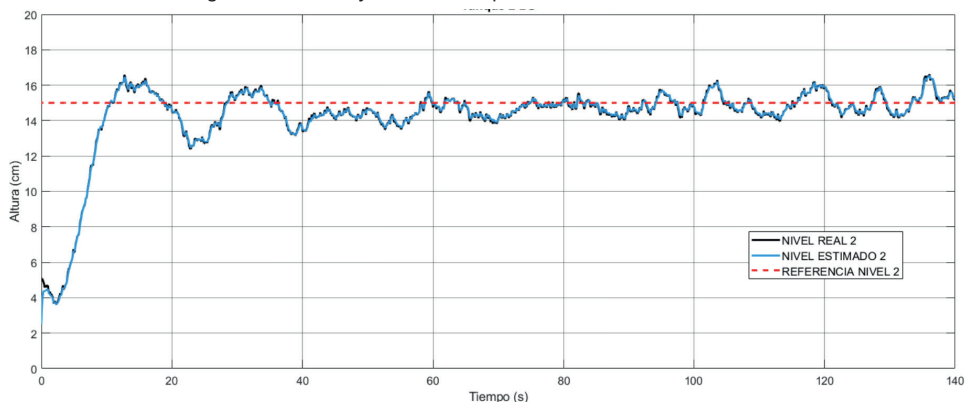
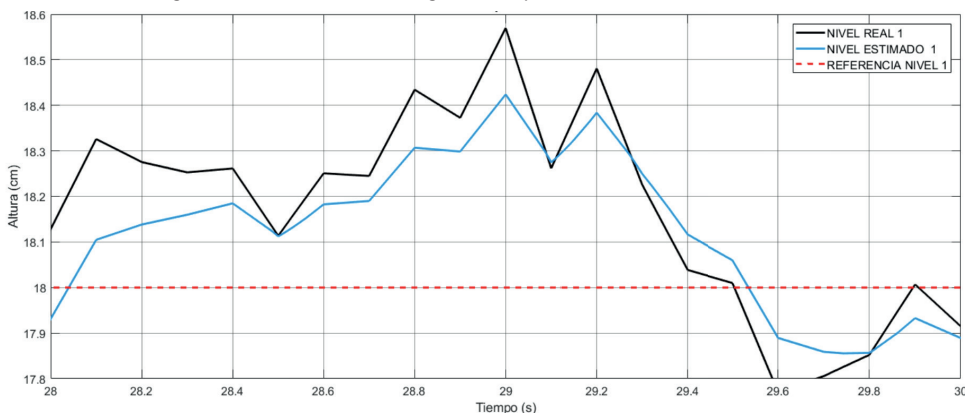


Figura 11. Nivel real y estimado tanque 2 con entrada desconocida.



En la figura 12 se muestra un acercamiento de la altura real y estimada del tanque uno. Al hacer este acercamiento es más fácil ver las diferencias entre las respuestas; de aquí se tiene un error de convergencia en porcentaje de $\pm 1.14\%$; esto se traduce en un error de convergencia de $\pm 0.21\text{cm}$

Figura 12. Acercamiento convergencia tanque uno con entrada desconocida.



En las Figuras 13 y 14, se muestran los resultados obtenidos de la altura de del tanque uno y dos respectivamente tanto para el sistema real como del modelado difuso T-S donde se puede observar que las respuestas son bastaste semejantes, aunque es notorio que existe cierto error de convergencia.

Figura 13. Nivel real y modelado T-S (estimado) del tanque uno.

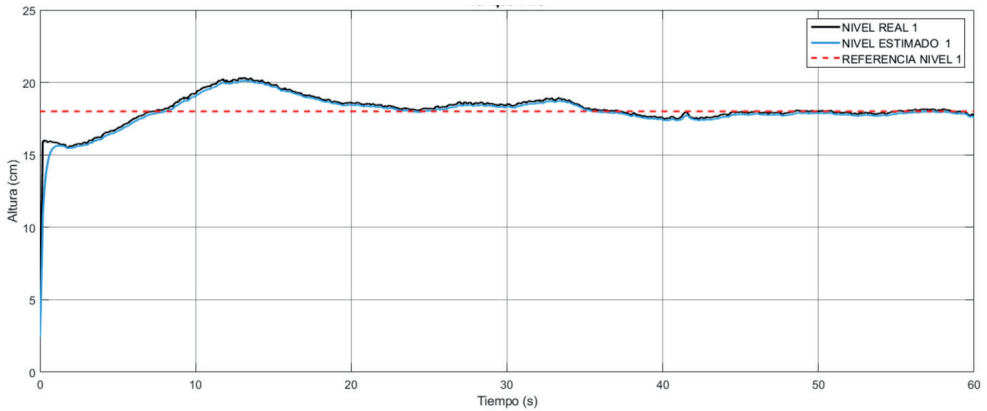
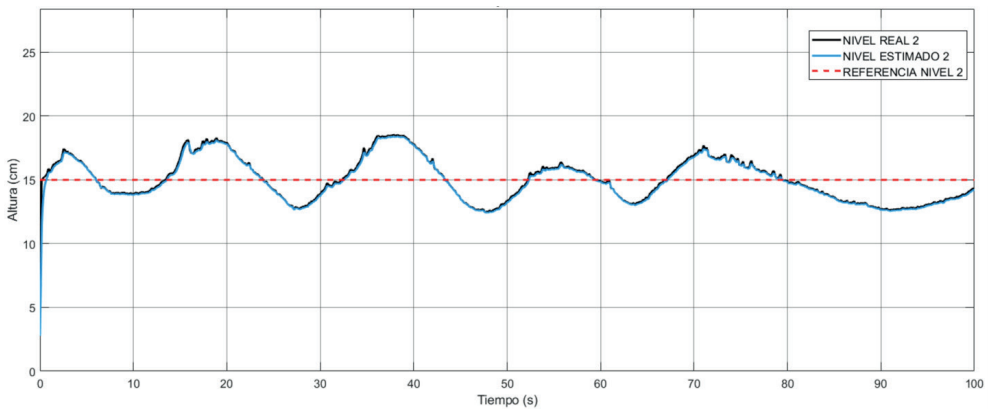


Figura 14. Nivel real y modelado T-S (estimado) del tanque dos.



En las Figuras 15 y 16 se muestra un acercamiento de las alturas reales y estimadas del tanque uno y dos respectivamente con la finalidad de observar el error y tiempo de convergencia en ambos tanques. Al hacer este acercamiento se puede ver que en el tanque uno converge a la altura real a los 1.3 segundos con un error porcentual de $\pm 1.1\%$ y para el tanque dos se tiene que converge en un tiempo de 1.3 segundos con un error porcentual de $\pm 1.6\%$.

Figura 15. Acercamiento tanque uno en el sistema real.

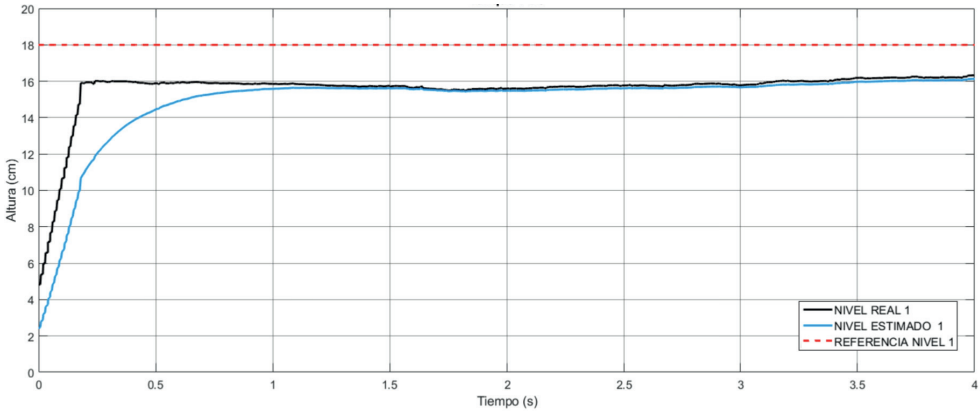
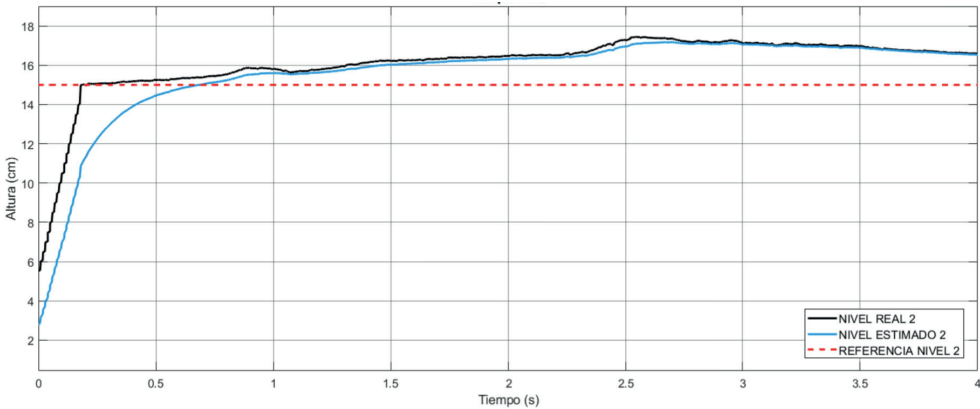


Figura 16. Acercamiento tanque dos en el sistema real.



4 CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron algunos aspectos generales y la metodología del modelado en ingeniería, haciendo énfasis en una metodología para modelos difusos tipo Takagi-Sugeno para un sistema no lineal real.

Se desarrolló el modelo difuso T-S de un sistema de nivel de líquido con la idea de no perder generalidad o detalles importantes en su operación no lineal, se analizó y estructuró el modelo en espacio de estado considerando las dinámicas principales de su funcionamiento.

El ejemplo de aplicación utilizado (Sistema hidráulico no lineal de dos tanques interconectados) permite demostrar la efectividad de la metodología de modelado difuso como sistemas lineales en diferentes puntos de operación de un sistema real.

En el modelado difuso se consideraron solo cuatro reglas difusas que sirven para determinar las funciones de membresía del sistema difuso. El modelo difuso se obtiene a partir del modelo lineal de la planta en distintos puntos de operación, en este caso cuatro puntos; por lo que se puede mencionar que la aproximación difusa T-S genera resultados satisfactorios aun cuando se tomaron pocos puntos de operación del sistema no lineal.

Para la validación del modelo se utiliza Simulink® de Matlab® corroborando una correcta representación del sistema No Lineal; por lo que las implementaciones de software como Simulink®, es fundamental en la predicción de su funcionamiento y permite asegurar que el sistema y sus componentes operen de una manera deseada; facilitan el desarrollo de modelos matemáticos para una posterior interpretación de quien los ejecuta; así como la facilidad de conexión con tarjetas de adquisición de datos de otros fabricantes.

Se obtuvieron resultados satisfactorios mediante simulación y en forma real, al modelar el sistema difuso T-S del nivel de líquido, demostrándose a través de los resultados que convergen a los estados reales de la planta, lo cual indica que el observador funciona como estimado, además del buen desempeño del modelo al compararlo con los resultados del sistema real; con un error de convergencia que se mantuvo por debajo de $\pm 1.6\%$.

REFERENCIAS

Anzures-Marin, J. and Castillo-Toledo, B. (2006). The fault diagnosis problem: Sliding mode fuzzy dedicated observers approach. 2006 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pages 1322-1328.

Anzures-Marin, R.-C. and F-Orozco, R.-Z. (2016). Diseño de un compensador difuso takagi-sugeno para un sistema de nivel de líquido de segundo orden. Vigésima Novena Reunión Internacional de Verano de Potencia, Aplicaciones Industriales y Exposición Industrial (RVP-AI).

Barajas A., (2011), "Implementación de esquemas de comunicación para el monitoreo y control remoto de un sistema de nivel de líquido", Tesis de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Eléctrica, UMSNH.

Castillo Juan, Sarmiento S., Sanz A., (2007), "Algoritmo de Identificación Difusa Para el Modelamiento de un Tanque Calentado por Serpentin con Agitación Continua", Fifth LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2007).

Farfán Martínez R, Ruz Hernández J. A., García Hernández R., Rullán Lara J. L., Pitalúa Díaz N., (2007), "Control Difuso Takagi-Sugeno Aplicado al Equipo Didáctico de la Bola y la Viga", Congreso Nacional de Control Automático A.M.C.A.

Maldonado, M., (1999). Teoría del regulador lineal, Tesis de maestría Cinvestav unidad Guadalajara.

Ogata, K. (2001), Modern control engineering. Prentice Hall PTR.

Takagi, T. and Sugeno, M., (1985) "Fuzzy Identification of Systems and its Application to Modeling and Control", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics,. Pag 116-132.

Zadeh L. A., (1965), "Fuzzy Sets", Information and Control, vol. 8, pp 338-353.

SOBRE O ORGANIZADOR

Xosé Somoza Medina (1969, Ourense, España) Licenciado con Grado y premio extraordinario en Geografía e Historia por la Universidad de Santiago de Compostela (1994). Doctor en Geografía e Historia por la misma universidad (2001) y premio extraordinario de doctorado por su Tesis “Desarrollo urbano en Ourense 1895-2000”. Profesor Titular en la Universidad de León, donde imparte clases desde 1997. En la Universidad de León fue Director del Departamento de Geografía entre 2004 y 2008 y Director Académico de la Escuela de Turismo entre 2005 y 2008. Entre 2008 y 2009 ejerció como Director del Centro de Innovación y Servicios de la Xunta de Galicia en Ferrol. Entre 2007 y 2009 fue vocal del comité “Monitoring cities of tomorrow” de la Unión Geográfica Internacional. En 2012 fue Director General de Rehabilitación Urbana del Ayuntamiento de Ourense y ha sido vocal del Consejo Rector del Instituto Ourenseño de Desarrollo Local entre 2011 y 2015. Ha participado en diversos proyectos y contratos de investigación, en algunos de ellos como investigador principal, con temática relacionada con la planificación urbana, la ordenación del territorio, las nuevas tecnologías de la información geográfica, el turismo o las cuestiones demográficas. Autor de más de 100 publicaciones relacionadas con sus líneas de investigación preferentes: urbanismo, turismo, gobernanza, desarrollo, demografía, globalización y ordenación del territorio. Sus contribuciones científicas más importantes se refieren a la geografía urbana de las ciudades medias, la crisis del medio rural y sus posibilidades de desarrollo, la evolución del turismo cultural como generador de transformaciones territoriales y más recientemente las posibilidades de reindustrialización de Europa ante una nueva etapa posglobalización. Ha participado como docente en masters y cursos de especialización universitaria en Brasil, Bolivia, Colombia, Paraguay y Venezuela y como docente invitado en la convocatoria Erasmus en universidades de Bulgaria (Sofía), Rumanía (Bucarest) y Portugal (Porto, Guimarães, Coimbra, Aveiro y Lisboa). Ha sido evaluador de proyectos de investigación en la Agencia Estatal de Investigación de España y en la Organización de Estados Iberoamericanos (OEI). Como experto europeo en Geografía ha participado en reuniones de la Comisión Europea en Italia y Bélgica. Impulsor y primer coordinador del proyecto europeo URBACT, “come Ourense”, dentro del Programa de la Unión Europea “Sostenibilidad alimentaria en comunidades urbanas” (2012-2014). Dentro de la experiencia en organización de actividades de I+D+i se pueden destacar la organización de diferentes reuniones científicas desarrolladas dentro de la Asociación de Geógrafos Españoles (en 2002, 2004, 2012 y 2018).

ÍNDICE REMISSIVO

A

Accidentes 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24

Ambiente 22, 40, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 90, 118, 119

B

Bioestimulante 89, 90, 93

Bovinos 82

C

Campylobacter 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88

Cepa nativa 89, 90

Ciencia y tecnología 1, 9, 10, 11, 12, 74

Composición vegetal 108

Composta 89, 90, 92, 93

Consciencia de identidad 48

Conservación 68, 108, 110

Cultura 15, 22, 28, 29, 32, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 45, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 59, 60, 61, 62, 64, 66, 67, 68, 69, 70, 90

Cultura maya 48, 55

D

Desarrollo 4, 5, 1, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 29, 30, 31, 34, 36, 37, 39, 41, 45, 46, 47, 55, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 77, 78, 79, 80, 81, 83, 84, 90, 91, 95, 106, 110, 137, 138

Desigualdades regionales en México 1

E

Ecosistema económico 1

Educación 9, 10, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 45, 46, 47, 48, 52, 54, 57, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 71, 73, 74, 76, 80

Educación intercultural 32, 33, 35, 38, 39, 40, 41, 45, 46, 47, 48

Espacio de estados 120

F

Formación 39, 40, 41, 42, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 65, 66, 67, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 89, 91

I

Identidad 32, 34, 38, 41, 44, 45, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 56, 57

Incendios forestales 108, 109, 110, 118, 119

Incertidumbre 90, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 128

Ingeniero 71, 72, 73, 75, 76, 77, 80

Ingreso per cápita 1, 2, 3, 4

Innovación 1, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 58, 64, 80, 87

Interculturalidad 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 45, 54, 55

L

Laborales 14, 15, 17, 18, 22, 26, 27, 29, 31, 60

Lenguaje R 97

M

Maíz criollo 89, 90, 91, 92, 94

Mapudungum 32

Modelado difuso 120, 125, 127, 128, 135, 137, 138

P

Patógenos 82, 83, 86, 87, 88, 93

PCR 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 94

Prácticas 12, 40, 54, 62, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 90

Propuesta curricular 48, 49

R

Reconstrucción 14, 15, 16, 17, 22, 27, 30, 31

Resiliencia 90, 94, 108, 110

Riesgo 14, 15, 20, 22, 23, 25, 26, 27, 68, 70, 82, 83, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 106, 107

Riesgos 14, 15, 17, 18, 19, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 53, 66, 98, 99

Riqueza 32, 37, 38, 39, 53, 108, 111, 115, 117, 119

S

Simulação Monte Carlo 97, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 107

Sismos 14, 16, 17, 22, 24, 27, 28, 30

Sistema no lineal 120, 121, 122, 123, 127, 128, 137, 138

Sistemas de nivel de líquido 120

T

Takagi-Sugeno 120, 122, 127, 137, 138

Trichoderma asperellum 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96

U

Utilidad petrolera 97, 105, 106