

ISSN 2523-6865

Volumen 2, Número 4 – Abril – Junio - 2018

Revista de Simulación Computacional

ECORFAN[®]

ECORFAN-Taiwan

Editora en Jefe

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Redactor Principal

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Asistente Editorial

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Editor Ejecutivo

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Editores de Producción

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Administración Empresarial

REYES-VILLAO, Angélica. BsC

Control de Producción

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Revista de Simulación Computacional, Volumen 2, Número 4, de Abril a Junio 2018, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Taiwán. Taiwan, Taipei. YongHe district, ZhongXin, Street 69. Postcode: 23445. WEB: www.ecorfan.org/taiwan, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. ISSN 2523-6865. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Junio 2018.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional de defensa de la competencia y protección de la propiedad intelectual.

Revista de Simulación Computacional

Definición del Research Journal

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas Administración, Análisis de sistemas, Automatización, Informática, Computación, Electrónica, Control, Estadísticas hidrológicas, Investigación de producciones, Sistemas de producción de información, Sistemas y calidad

ECORFAN-México S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

Alcances, Cobertura y Audiencia

Revista de Simulación Computacional es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Taiwan, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de Administración, Análisis de sistemas, Automatización, Informática, Computación, Electrónica, Control, Estadísticas hidrológicas, Investigación de producciones, Sistemas de producción de información, Sistemas y calidad con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias de Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-México® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

Consejo Editorial

ROCHA - RANGEL, Enrique. PhD
Oak Ridge National Laboratory

CARBAJAL - DE LA TORRE, Georgina. PhD
Université des Sciences et Technologies de Lille

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD
Institute of Technology

CASTILLO - TÉLLEZ, Beatriz. PhD
University of La Rochelle

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD
University of Bristol

DECTOR - ESPINOZA, Andrés. PhD
Centro de Microelectrónica de Barcelona

TELOXA - REYES, Julio. PhD
Advanced Technology Center

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD
Universidad Gestalt

CENDEJAS - VALDEZ, José Luis. PhD
Universidad Politécnica de Madrid

HERNANDEZ - ESCOBEDO, Quetzalcoatl Cruz. PhD
Universidad Central del Ecuador

HERRERA - DIAZ, Israel Enrique. PhD
Center of Research in Mathematics

MEDELLIN - CASTILLO, Hugo Iván. PhD
Heriot-Watt University

LAGUNA, Manuel. PhD
University of Colorado

VAZQUES - NOGUERA, José. PhD
Universidad Nacional de Asunción

VAZQUEZ - MARTINEZ, Ernesto. PhD
University of Alberta

AYALA - GARCÍA, Ivo Neftalí. PhD
University of Southampton

LÓPEZ - HERNÁNDEZ, Juan Manuel. PhD
Institut National Polytechnique de Lorraine

MEJÍA - FIGUEROA, Andrés. PhD
Universidad de Sevilla

DIAZ - RAMIREZ, Arnoldo. PhD
Universidad Politécnica de Valencia

MARTINEZ - ALVARADO, Luis. PhD
Universidad Politécnica de Cataluña

MAYORGA - ORTIZ, Pedro. PhD
Institut National Polytechnique de Grenoble

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD
University of South Florida

LARA - ROSANO, Felipe. PhD
Universidad de Aachen

TIRADO - RAMOS, Alfredo. PhD
University of Amsterdam

DE LA ROSA - VARGAS, José Ismael. PhD
Universidad París XI

CASTILLO - LÓPEZ, Oscar. PhD
Academia de Ciencias de Polonia

LÓPEZ - BONILLA, Oscar Roberto. PhD
State University of New York at Stony Brook

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD
Syracuse University

RIVAS - PEREA, Pablo. PhD
University of Texas

VEGA - PINEDA, Javier. PhD
University of Texas

PÉREZ - ROBLES, Juan Francisco. PhD
Instituto Tecnológico de Saltillo

SALINAS - ÁVILES, Oscar Hilario. PhD
Centro de Investigación y Estudios Avanzados -IPN

RODRÍGUEZ - AGUILAR, Rosa María. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

BAEZA - SERRATO, Roberto. PhD
Universidad de Guanajuato

MORILLÓN - GÁLVEZ, David. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

CASTILLO - TÉLLEZ, Margarita. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

SERRANO - ARRELLANO, Juan. PhD
Universidad de Guanajuato

ZAVALA - DE PAZ, Jonny Paul. PhD
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada

ARROYO - DÍAZ, Salvador Antonio. PhD
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

ENRÍQUEZ - ZÁRATE, Josué. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

HERNÁNDEZ - NAVA, Pablo. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica

CASTILLO - TOPETE, Víctor Hugo. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD
Intitut National Polytechnique Toulouse

QUETZALLI - AGUILAR, Virgen. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

DURÁN - MEDINA, Pino. PhD
Instituto Politécnico Nacional

PORTILLO - VÉLEZ, Rogelio de Jesús. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

ROMO - GONZALEZ, Ana Eugenia. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

VASQUEZ - SANTACRUZ, J.A. PhD
Centro de Investigación y Estudios Avanzados

VALENZUELA - ZAPATA, Miguel Angel. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

OCHOA - CRUZ, Genaro. PhD
Instituto Politécnico Nacional

SÁNCHEZ - HERRERA, Mauricio Alonso. PhD
Instituto Tecnológico de Tijuana

PALAFOX - MAESTRE, Luis Enrique. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

AGUILAR - NORIEGA, Leocundo. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GONZALEZ - BERRELLEZA, Claudia Ibeth. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

REALYVÁSQUEZ - VARGAS, Arturo. PhD
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RODRÍGUEZ - DÍAZ, Antonio. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

MALDONADO - MACÍAS, Aidé Aracely. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

LICEA - SANDOVAL, Guillermo. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

CASTRO - RODRÍGUEZ, Juan Ramón. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

RAMIREZ - LEAL, Roberto. PhD
Centro de Investigación en Materiales Avanzados

VALDEZ - ACOSTA, Fevrier Adolfo. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Samuel. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

CORTEZ - GONZÁLEZ, Joaquín. PhD
Centro de Investigación y Estudios Avanzados

TABOADA - GONZÁLEZ, Paul Adolfo. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

RODRÍGUEZ - MORALES, José Alberto. PhD
Universidad Autónoma de Querétaro

Comité Arbitral

ESCAMILLA - BOUCHÁN, Imelda. PhD
Instituto Politécnico Nacional

LUNA - SOTO, Carlos Vladimir. PhD
Instituto Politécnico Nacional

URBINA - NAJERA, Argelia Berenice. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

PEREZ - ORNELAS, Felicitas. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

CASTRO - ENCISO, Salvador Fernando. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

CASTAÑÓN - PUGA, Manuel. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

BAUTISTA - SANTOS, Horacio. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

GONZÁLEZ - REYNA, Sheila Esmeralda. PhD
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

RUELAS - SANTOYO, Edgar Augusto. PhD
Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas

HERNÁNDEZ - GÓMEZ, Víctor Hugo. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

OLVERA - MEJÍA, Yair Félix. PhD
Instituto Politécnico Nacional

CUAYA - SIMBRO, German. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

LOAEZA - VALERIO, Roberto. PhD
Instituto Tecnológico Superior de Uruapan

ALVAREZ - SÁNCHEZ, Ervin Jesús. PhD
Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada

SALAZAR - PERALTA, Araceli. PhD
Universidad Autónoma del Estado de México

MORALES - CARBAJAL, Carlos. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

RAMÍREZ - COUTIÑO, Víctor Ángel. PhD
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica

BAUTISTA - VARGAS, María Esther. PhD
Universidad Autónoma de Tamaulipas

GAXIOLA - PACHECO, Carelia Guadalupe. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GONZÁLEZ - JASSO, Eva. PhD
Instituto Politécnico Nacional

FLORES - RAMÍREZ, Oscar. PhD
Universidad Politécnica de Amozoc

ARROYO - FIGUEROA, Gabriela. PhD
Universidad de Guadalajara

BAUTISTA - SANTOS, Horacio. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

GUTIÉRREZ - VILLEGAS, Juan Carlos. PhD
Centro de Tecnología Avanzada

HERRERA - ROMERO, José Vidal. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

MARTINEZ - MENDEZ, Luis G. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

LUGO - DEL ANGEL, Fabiola Erika. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Madero

NÚÑEZ - GONZÁLEZ, Gerardo. PhD
Universidad Autónoma de Querétaro

PURATA - SIFUENTES, Omar Jair. PhD
Centro Nacional de Metrología

CALDERÓN - PALOMARES, Luis Antonio. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

TREJO - MACOTELA, Francisco Rafael. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

TZILI - CRUZ, María Patricia. PhD
Universidad ETAC

DÍAZ - CASTELLANOS, Elizabeth Eugenia. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

ORANTES - JIMÉNEZ, Sandra Dinorah. PhD
Centro de Investigación en Computación

VERA - SERNA, Pedro. PhD
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

MARTÍNEZ - RAMÍRES, Selene Marisol. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

OLIVARES - CEJA, Jesús Manuel. PhD
Centro de Investigación en Computación

GALAVIZ - RODRÍGUEZ, José Víctor. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

JUAREZ - SANTIAGO, Brenda. PhD
Universidad Internacional Iberoamericana

ENCISO - CONTRERAS, Ernesto. PhD
Instituto Politécnico Nacional

GUDIÑO - LAU, Jorge. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

MEJIAS - BRIZUELA, Nildia Yamileth. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

FERNÁNDEZ - GÓMEZ, Tomás. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

MENDOZA - DUARTE, Olivia. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

ARREDONDO - SOTO, Karina Cecilia. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

NAKASIMA - LÓPEZ, Mydory Oyuky. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

AYALA - FIGUEROA, Rafael. PhD
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

ARCEO - OLAGUE, José Guadalupe. PhD
Instituto Politécnico Nacional

HERNÁNDEZ - MORALES, Daniel Eduardo. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

AMARO - ORTEGA, Vidblain. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

ÁLVAREZ - GUZMÁN, Eduardo. PhD
Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada

CASTILLO - BARRÓN, Allen Alexander. PhD
Instituto Tecnológico de Morelia

CASTILLO - QUIÑONES, Javier Emmanuel. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

ROSALES - CISNEROS, Ricardo. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

GARCÍA - VALDEZ, José Mario. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

CHÁVEZ - GUZMÁN, Carlos Alberto. PhD
Instituto Politécnico Nacional

MÉRIDA - RUBIO, Jován Oseas. PhD
Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital

INZUNZA - GONÁLEZ, Everardo. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

VILLATORO - Tello, Esaú. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

NAVARRO - ÁLVEREZ, Ernesto. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

ALCALÁ - RODRÍGUEZ, Janeth Aurelia. PhD
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Juan Miguel. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

RODRIGUEZ - ELIAS, Oscar Mario. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

ORTEGA - CORRAL, César. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GARCÍA - GORROSTIETA, Jesús Miguel. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

Cesión de Derechos

El envío de un Artículo a Revista de Simulación Computacional emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Taiwan considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra

Declaración de Autoría

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación del Artículo y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORC ID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor del Artículo.

Detección de Plagio

Todos los Artículos serán testeados por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandara a arbitraje y se rescindirá de la recepción del Artículo notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

Proceso de Arbitraje

Todos los Artículos se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homologo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del Research Journal con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de Artículo Modificado para Edición-Publicación.

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Área del Conocimiento

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de Administración, Análisis de sistemas, Automatización, Informática, Computación, Electrónica, Control, Estadísticas hidrológicas, Investigación de producciones, Sistemas de producción de información, Sistemas y calidad y a otros temas vinculados a las Ciencias de Ingeniería y Tecnología.

Presentación del Contenido

En el primer artículo se presenta, *Programa simulador de efectos de cambios de masa y longitud de eslabones en modelo dinámico y cinemático de brazo manipulador de 4 Gdl*, por ALGARÍN-PINTO, Juan Antonio, AGUILERA-HERNÁNDEZ, Martha Isabel, ORTIZ-SALAZAR, Manuel, ORTIZ-SIMÓN, José Luis y ROJO-VELÁZQUEZ, Gustavo, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo, como siguiente artículo está *Evaluación de un sistema de compresión de biogás purificado para el sector agropecuario*, por MOJICA-MESINAS, Cuitláhuac, ACOSTA-PINTOR, Dulce, VIDAL-BECERRA, Eleazar y RUEDA-CHÁVEZ, Belzabet, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, como siguiente artículo está *Repercusión de la degradación arrecifal en la disipación del oleaje*, por CHÁVEZ-CÁRDENAS, Xavier, DELGADILLO-CALZADILLA, Miguel Ángel, GALVÁN-CHÁVEZ, Arturo y MORENO-MARTÍNEZ, Jatziri Yunuén, con adscripción en la Universidad de Guanajuato, como siguiente artículo está *Simulación y control de la posición de un servomecanismo de corriente directa por asignación de polos*, por HERNÁNDEZ-BORJA, Carlos, PEREZ-GALINDO, Liliana Eloisa y HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, Leticia con adscripción en la Universidad Tecnológica Fidel Velázquez.

Contenido

Artículo	Página
Programa simulador de efectos de cambios de masa y longitud de eslabones en modelo dinámico y cinemático de brazo manipulador de 4 Gdl ALGARÍN-PINTO, Juan Antonio, AGUILERA-HERNÁNDEZ, Martha Isabel, ORTIZ-SALAZAR, Manuel, ORTIZ-SIMÓN, José Luis y ROJO-VELÁZQUEZ, Gustavo <i>Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo</i>	1-12
Evaluación de un sistema de compresión de biogás purificado para el sector agropecuario MOJICA-MESINAS, Cuitláhuac, ACOSTA-PINTOR, Dulce, VIDAL-BECERRA, Eleazar y RUEDA-CHÁVEZ, Belzabet <i>Instituto Tecnológico de Ciudad Valles</i>	13-18
Repercusión de la degradación arrecifal en la disipación del oleaje CHÁVEZ-CÁRDENAS, Xavier, DELGADILLO-CALZADILLA, Miguel Ángel, GALVÁN-CHÁVEZ, Arturo y MORENO-MARTÍNEZ, Jatziri Yunuén <i>Universidad de Guanajuato</i>	19-26
Simulación y control de la posición de un servomecanismo de corriente directa por asignación de polos HERNÁNDEZ-BORJA, Carlos, PEREZ-GALINDO, Liliana Eloisa y HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, Leticia <i>Universidad Tecnológica Fidel Velázquez</i>	27-35

Programa simulador de efectos de cambios de masa y longitud de eslabones en modelo dinámico y cinemático de brazo manipulador de 4 Gdl

Program simulator of effects of changes of mass and length of links in dynamic model and cinematic of arm manipulator of 4 Gdl

ALGARÍN-PINTO, Juan Antonio†, AGUILERA-HERNÁNDEZ, Martha Isabel, ORTIZ-SALAZAR, Manuel, ORTIZ-SIMÓN, José Luis y ROJO-VELÁZQUEZ, Gustavo

Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo, Nuevo Laredo, Tamaulipas, México

ID 1^{er} Autor: *Juan Antonio, Algarín-Pinto*

ID 1^{er} Coautor: *Martha Isabel, Aguilera-Hernández*

ID 2^{do} Coautor: *Manuel, Ortiz-Salazar*

ID 3^{er} Coautor: *José Luis, Ortiz-Simón*

ID 4^{to} Coautor: *Gustavo, Rojo-Velázquez*

Recibido: 30 de Abril, 2018; Aceptado 02 de Junio, 2018

Resumen

El análisis matemático de robots manipuladores permite comprender de manera anticipada el comportamiento que presentarán en función de la aplicación para la que se desea su implementación. En este documento se presenta el análisis de un brazo robótico de 4gdl para visualizar su comportamiento en el seguimiento de trayectorias. Con ayuda del software Simulink® de Matlab® se analizan los efectos que producirán algunos cambios en sus características físicas como lo son la masa y longitud de los eslabones.

Brazo manipulador, 4 gdl, análisis cinemático, Modelado dinámico, Seguimiento de trayectorias, Robótica, Control

Abstract

Mathematical analysis for robotic manipulators helps to anticipate and foresee the behavior of these types of systems based on the application that they were created for. This paper analyses a 4-dof robotic arm in order to understand its trajectory tracking demeanor. Using Simulink® from Matlab®, the robot's performance is dissected to comprehend the effects of changes made on its physical characteristics, such as links' length and/or mass.

Manipulator arm, 4 gdl, kinematic analysis, Dynamic modeling, Track tracking, Robotics, Control

Citación: ALGARÍN-PINTO, Juan Antonio, AGUILERA-HERNÁNDEZ, Martha Isabel, ORTIZ-SALAZAR, Manuel, ORTIZ-SIMÓN, José Luis y ROJO-VELÁZQUEZ, Gustavo. Programa simulador de efectos de cambios de masa y longitud de eslabones en modelo dinámico y cinemático de brazo manipulador de 4 Gdl. Revista de Simulación Computacional. 2018. 2-4: 1-12.

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

El uso de la robótica para la realización de diversos procesos ha ido creciendo de manera exponencial así como el estudio de los mismos para su implementación en el ámbito industrial, medicina, construcción, automatización e inclusive hasta de entretenimiento. Prácticamente es en la robótica donde su aplicación puede extenderse en casi todas las áreas imaginables donde se realice un trabajo mecánico.

Un brazo manipulador es un sistema robótico al que se le puede realizar, entre muchos otros, estudios cinemáticos y dinámicos para comprender la capacidad del espacio de trabajo que presenta, así como las fuerzas necesarias para hacer mover de manera adecuada cada una de las articulaciones que componen al mismo. A su vez, este tipo de sistemas son óptimos para la implementación de elementos de control, para regular y mejorar el funcionamiento de los mismos.

La simulación del desempeño de un robot permite conocer detalladamente las situaciones en las que la estructura tiende a fallar o su manera de comportarse ante diversas variaciones, características o factores externos que influyen en la realización de la tarea encomendada. Es por tal motivo, que la importancia de realizar diversos tipos de análisis y simulaciones para los sistemas robóticos radica en conocer de una manera óptima los resultados que se pueden esperar al momento de implementarlos en situaciones reales.

Utilizando teorías de control, el análisis cinemático y dinámico del brazo robótico y softwares de simulación de sistemas; el presente artículo muestra el comportamiento que se puede esperar del brazo manipulador R2 mientras este describe ciertas trayectorias. Además, se pretende analizar mediante el apoyo de Simulink® [1], los posibles cambios que pueden surgir en el funcionamiento de la estructura mecánica si se cambian sus características propias, como lo son las masas y/o las longitudes de los eslabones que conforman al robot.

En las secciones siguientes se puede visualizar la arquitectura del “R2 Robotic Arm” así como los resultados concisos de su estudio cinemático, el cual, muestra una posible solución para su cinemática inversa como el utilizado en [2]. También, se muestra la estructura general que conforma al código del simulador diseñado, así como los elementos de control que la componen. Se detalla a su vez, las características físicas del robot que ocasionan cambios en el comportamiento general del sistema presentando los resultados simulados. Finalmente se presentan las conclusiones obtenidas del presente análisis.

ARQUITECTURA DEL ROBOT.

El manipulador R2 es un brazo robótico que cuenta con 5 grados de libertad y una pinza. Cada una de sus uniones es revoluta. Sin embargo, para fines del análisis exclusivo del alcance y espacio de trabajo que puede alcanzar su efector final, se realiza su estudio cinemático como si se tratara de un robot de 4 gdl, tal como se desarrolla su estudio en [3]. El brazo robótico está compuesto por 6 servomotores, éste puede llegar a tener un alcance de hasta 65 centímetros desde el centro de su base rotativa hasta la punta del efector final cerrado (el alcance también depende del largo de la pinza y las restricciones mecánicas del manipulador). 4 servomotores se encargan de mover los eslabones a lo largo de la zona de trabajo del robot, mientras que los dos restantes son los encargados de abrir o cerrar la pinza, así como de hacerla girar. El manipulador robótico R2 se puede visualizar en la Figura 1.

Para comenzar a analizar los posibles movimientos que puede brindar el brazo robótico, es necesario realizar su estudio de cinemática directa; de esta forma se puede conocer todo el área de trabajo que brindará la estructura mecánica y los posibles movimientos que podrá describir.

En esta sección se emplea la convención y metodología Denavit-Hartenberg (DH) para poder obtener las ecuaciones que rigen el comportamiento cinemático del presente robot.

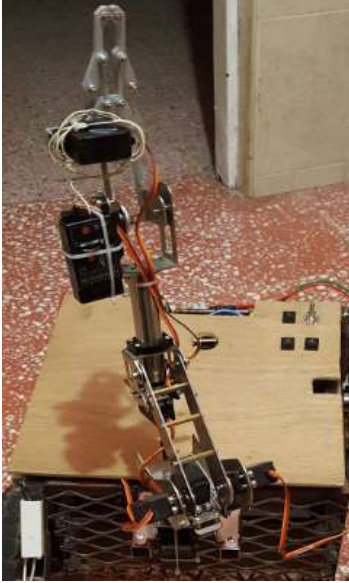


Figura 1 Estructura física del brazo robótico

a) Modelado cinemático

En la Figura 2 se puede visualizar el diagrama estructural que representa de manera gráfica las articulaciones y eslabones que conforman al manipulador robótico. En este se puede observar la colocación de los ejes referenciales a partir del marco inercial (x_0, y_0, z_0) hasta (x_3, y_3, z_3) para describir los movimientos efectuados para cada articulación presente entre eslabones, hasta llegar al último sistema de ejes referenciales (x_4, y_4, z_4) que representa la orientación y posición del efector final.

Las longitudes de los eslabones son representados por las variables constantes L_1, L_2, L_3 y L_4 ; y solamente cumplen con una representación visual de la estructura general del robot, es decir, no respetan ninguna escala de los eslabones reales del mismo. Las variables articulares presentes para el análisis del sistema de 4 gdl se representan como q_1, q_2, q_3 , y q_4 .

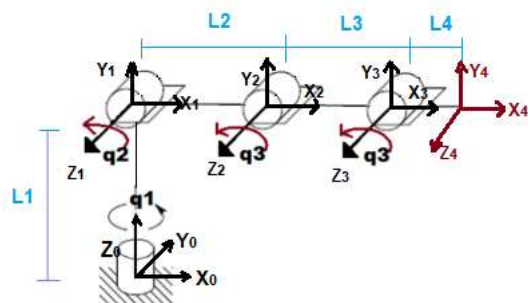


Figura 2 Esquema gráfico para robot manipulador con sistemas de referencia

La Tabla I muestra los parámetros de DH para la estructura gráfica expresada en la Figura 2. Se debe mencionar que estos parámetros dentro de la convención de DH están en función de las variables Θ_i y d_i que representan respectivamente el giro sobre el eje Z_{i-1} y la traslación a lo largo del mismo; y de las variables a_i y α_i que representan respectivamente la traslación a lo largo del eje X_{i-1} y una rotación alrededor del mismo. Estos movimientos se logran para ir trasladando cada sistema de ejes referenciales desde la articulación $i-1$ a la i ; de esta forma se puede obtener un sistema de ecuaciones que represente fielmente los movimientos que la estructura mecánica del robot puede describir.

i	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	q_1	L_1	0	90°
2	q_2	0	L_2	0
3	q_3	0	L_3	0
4	q_4	0	L_4	0

Tabla 1 Parámetros de DH de brazo manipulador de 4 Gdl para cinemática directa

Así, empleando las matrices de transformación homogénea T_i^{i-1} (según la convención de DH) para representar la relación entre los sistemas asociados a eslabones consecutivos; se puede describir la orientación y posición que presenta el eslabón i en relación al eslabón $i-1$. Por lo tanto, para representar la orientación y posición del sistema (x_4, y_4, z_4) del efector final con relación al marco inercial (x_0, y_0, z_0) en la base del robot manipulador; se deberá realizar la siguiente operación entre matrices homogéneas de los sistemas:

$${}^0T_4 = {}^0T_1 \cdot {}^1T_2 \cdot {}^2T_3 \cdot {}^3T_4$$

$$= \begin{bmatrix} C_1 C_{234} & -C_1 S_{234} & S_1 & L_4 C_1 C_{234} + L_3 C_1 C_{23} + L_2 C_1 C_2 \\ S_1 C_{234} & -S_1 S_{234} & -C_1 & L_4 S_1 C_{234} + L_3 S_1 C_{23} + L_2 S_1 C_2 \\ S_{234} & C_{234} & 0 & L_4 S_{234} + L_3 S_{23} + L_2 S_2 + L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

De la matriz de transformación homogénea final (1), el enfoque del presente documento es el de analizar el seguimiento de trayectorias del efector final, por lo que la posición del mismo dentro del espacio de trabajo del robot quedará definida por las ecuaciones de posición cartesiana siguientes:

$$px = L_4 C_1 C_{234} + L_3 C_1 C_{23} + L_2 C_1 C_2; \quad (2)$$

$$py = L_4 S_1 C_{234} + L_3 S_1 C_{23} + L_2 S_1 C_2; \quad (3)$$

$$pz = L_4 S_{234} + L_3 S_{23} + L_2 S_2 + L_1. \quad (4)$$

Para la cinemática inversa del robot, se realiza un análisis mediante el método geométrico en función del conocimiento de la posición (dentro del espacio de trabajo) que se desea alcanzar. Sin embargo, este análisis para un robot del tipo RRRR resulta un tanto complejo debido a los giros que se pueden efectuar en las variables articulares q_2 , q_3 , y q_4 . Por tal motivo, para simplificar dicho análisis resulta conveniente especificar un ángulo de altura máximo Φ que se desea alcanzar como semilla solución para la suma de las variables articulares (dependientes entre sí) q_2 , q_3 , y q_4 . El valor de la variable articular q_1 es independiente al resto de las variables por lo que su obtención es bastante sencilla.

$$\frac{py_{(deseado)}}{px_{(deseado)}} = \frac{S_1 [L_4 C_{234} + L_3 C_{23} + L_2 C_2]}{C_1 [L_4 C_{234} + L_3 C_{23} + L_2 C_2]} \therefore$$

$$\frac{py_{(deseado)}}{px_{(deseado)}} = \tan(q_1) \therefore$$

$$q_1 = \text{atan2} \left(\frac{py_{(deseado)}}{px_{(deseado)}} \right). \quad (5)$$

Basándose desde un plano lateral (X,Z) como el provisto en la Figura 3 es posible realizar un modelado cinemático inverso que sea capaz de arrojar resultados óptimos a partir del conocimiento de las constantes L_1 , L_2 , L_3 y L_4 y la semilla solución Φ como ángulo de alcance máximo.

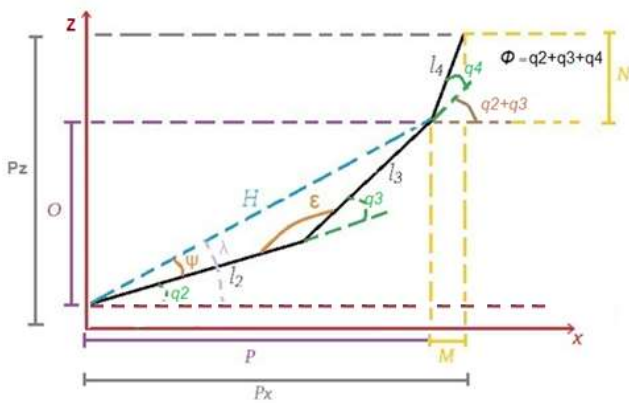


Figura 3 Perspectiva sobre plano (X,Z) para análisis de cinemática inversa

Así, la solución para el modelado de la cinemática inversa estará dada por el sistema de ecuaciones siguiente:

$$M = L_4 \cdot \cos(\Phi) \quad (6)$$

$$N = L_4 \cdot \sin(\Phi) \quad (7)$$

$$O = Pz - N - 0.1 \quad (8)$$

$$P = Px - M \quad (9)$$

La solución para el triángulo rectángulo formado entre O, P y H permite realizar el siguiente análisis:

$$H = \sqrt{O^2 + P^2} \quad (10)$$

$$\lambda = \tan^{-1}(O/P) \quad (11)$$

$$\psi = \cos^{-1} \left(\frac{L_2^2 + H^2 - L_3^2}{2 \cdot L_2 \cdot H} \right) \quad (12)$$

$$q_2 = \lambda - \psi \quad (13)$$

$$\varepsilon = \cos^{-1} \left(\frac{L_3^2 + L_2^2 - H^2}{2 \cdot L_2 \cdot L_3} \right) \quad (14)$$

$$q_3 = 180 - \varepsilon \quad (15)$$

$$q_4 = \Phi - q_3 - q_2 \quad (16)$$

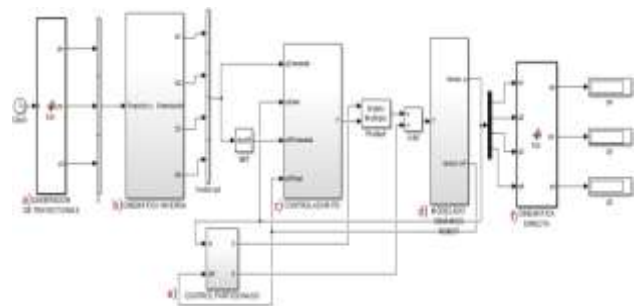


Figura 4 Diagrama general del programa de simulación

Estructura del programa de simulación

En la Figura 4 se puede visualizar la estructura general que presenta el simulador construido con ayuda de Simulink® de Matlab®. La configuración del programa está conformada por elementos que tienen que ver con análisis propios del robot manipulador que se desea examinar.

Los componentes principales que hacen funcionar al programa son los que se mencionan a continuación.

a) Generador de trayectorias

Para visualizar el funcionamiento y comportamiento del robot es necesario primero indicar a su efector final la trayectoria que se desea que describa.

De esta forma, se puede llevar un control en el transcurso del tiempo de una trayectoria definida dentro del espacio de trabajo del manipulador para visualizar cómo es que el efector final del mismo es capaz de alcanzar dicho recorrido.

El generador de trayectoria se encarga de arrojar puntos en el espacio tridimensional (posiciones cartesianas) a partir de tres ecuaciones simultáneas que le son asignadas a las variables PX, PY y PZ, esto es, va trazando un segmento de puntos con las coordenadas obtenidas a partir del sistema de ecuaciones ingresado en el programa durante el periodo de tiempo que dure la simulación. La trayectoria resultante se puede visualizar al momento de ejecutar el programa.

b) Bloque de ecuaciones para cinemática inversa

Una vez generada la coordenada tridimensional deseada, se ingresa las tres componentes de posición cartesiana al sistema de ecuaciones obtenido en el análisis de cinemática inversa.

De esta forma se puede encontrar los valores de las variables articulares que se requiere que el manipulador realice para poder alcanzar la posición ingresada al bloque de función.

El conjunto de coordenadas ingresado al bloque de cinemática inversa debe localizarse dentro del espacio de trabajo en el que se encuentra el efector final del brazo robótico, de lo contrario pudiera suceder que el simulador dejara de funcionar correctamente.

El bloque de cinemática inversa irá generando conforme avanza el tiempo en el simulador, el conjunto de valores para las variables articulares “q” que haga que el robot se posicione en los puntos generados de la trayectoria deseada.

c) Bloque del modelado matemático del robot manipulador

Este es uno de los elementos medulares para el correcto funcionamiento del simulador. Es en este bloque de función donde se introducen las matrices de fuerzas que afectan al comportamiento general del robot.

El modelado dinámico para el robot de 4gdl analizado en el presente artículo arroja por tanto 4 ecuaciones que definen los pares requeridos para mover cada variable articular presente en el manipulador. La ecuación generalizada para el torque presente en cualquier robot manipulador es como se muestra en (17).

$$\tau = D(\ddot{q}) + C(\dot{q}) + G(q) \quad (17)$$

La ecuación (17) muestra la relación que existe entre la matriz de inercias D, la matriz de Coriolis y fuerzas centrífugas C y la matriz de fuerzas gravitacionales G para obtener el par requerido para hacer mover al manipulador. Todo lo anterior en función de las variables articulares de posición, velocidad y aceleración presentes en el sistema robótico.

En el caso del brazo robótico analizado en el presente artículo, se obtiene una ecuación generalizada para los cuatro torques (presentes en sus cuatro motores), que puede ser expresado como:

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \\ \ddot{q}_3 \\ \ddot{q}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \end{bmatrix} + g \begin{bmatrix} G_{11} \\ G_{21} \\ G_{31} \\ G_{41} \end{bmatrix} \quad (18)$$

Para propósitos de la presente investigación, no resulta necesario mencionar cada uno de los componentes que conforman a las tres matrices de fuerzas presentes en el modelado. Sin embargo, se debe cuidar de realizar de manera correcta la obtención de dichas matrices, ya que como se estableció, son el pilar para que la simulación sea fiel al comportamiento esperado por el robot. Los elementos de cada una de las tres matrices se muestran en el Apéndice (A).

Utilizando la ecuación de fuerzas y pares generalizados (17) se puede despejar y obtener que:

$$\ddot{q} = D^{-1}[\tau - C(\dot{q}) - G(q)] \quad (19)$$

De lo anterior se puede deducir que es posible que a partir del torque y fuerzas introducidas al bloque de programa se pueda obtener las posiciones articulares reales de cada una de las uniones en las que el robot se ha colocado. Por tal motivo, la estructura del diagrama del bloque del modelado dinámico dentro del simulador se realiza respetando la ecuación (19). Así, el presente bloque queda estructurado en el simulador como se observa en la Figura 5. En él, se puede visualizar un sistema retroalimentado con una entrada y una salida. La entrada al bloque será el vector de fuerzas T que se desean que el sistema conserve, además tomando en cuenta las tres matrices de fuerza presentes en el robot (D , C y g) y la velocidad angular \dot{q} , es posible obtener la aceleración presente \ddot{q} . Así, realizando operaciones de integración se puede conocer las posiciones articulares reales del brazo robótico.

Es necesario mencionar que en las matrices de inercia, Coriolis y fuerzas gravitacionales se encuentran contenidos los valores de la posición de los centros de masa (en función de la longitud de los eslabones) y la masa que se desea desplazar. Es por tal motivo que para el modelado dinámico del robot es pertinente definir dichos factores antes de realizar la simulación.

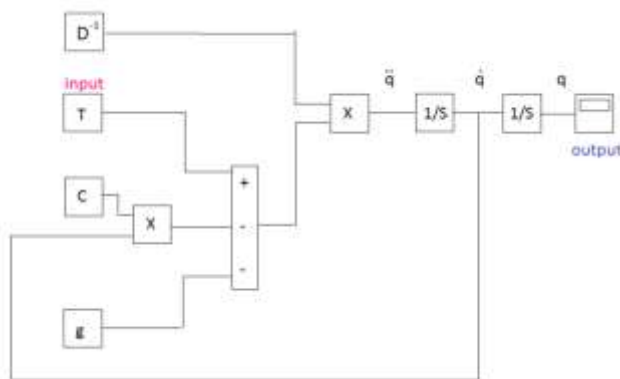


Figura 5 Diagrama general del bloque para modelo dinámico

c) Controlador

El programa simulador cuenta a su vez con un bloque de controlador PD (que pudiera ser tanto del tipo PD como PID).

En este bloque del programa existen 4 entradas y 1 salida. En éste se realizan dos comparaciones simultáneas entre las 4 entradas del sistema siendo estas relaciones la diferencia entre:

- Las posiciones articulares deseadas q_d (producidas por el bloque de cinemática inversa) y las posiciones articulares reales q_r (arrojadas por el bloque de modelado matemático del robot).
- Las velocidades articulares deseadas \dot{q}_d (obtenidas a partir de derivar las posiciones articulares deseadas arrojadas por el bloque de cinemática inversa) y las velocidades articulares reales \dot{q}_r (arrojadas por el bloque de modelado matemático del robot).

Así, se obtienen dos valores de error denominados como Δq y $\Delta \dot{q}$. Dentro del bloque de control se determinan las ganancias K_p y K_v (ganancia del control proporcional y del control derivativo respectivamente), las cuáles son introducidas en formas de matriz para realizar operaciones con los vectores Δq y $\Delta \dot{q}$. La selección de los valores para estas ganancias puede variar según la intención del análisis, sin embargo, si se busca conseguir un amortiguamiento crítico, la relación que mejor consigue este efecto en las ganancias es:

$$K_v = 2\sqrt{K_p} \quad (20)$$

La ley de control que rige al bloque del PD utilizado en el simulador será por tanto:

$$F = k_p \Delta q + k_d \Delta \dot{q} \quad (21)$$

Esto quiere decir que a partir de la multiplicación de ganancias con las diferencias entre las variables deseadas y reales se puede obtener el vector de fuerzas necesario para reducir el estado de error del sistema. Este vector fuerza será por tanto la salida del controlador PD y la señal de entrada al bloque del modelado matemático del robot. El diagrama del funcionamiento descrito del controlador PD se puede visualizar en la Figura 6.

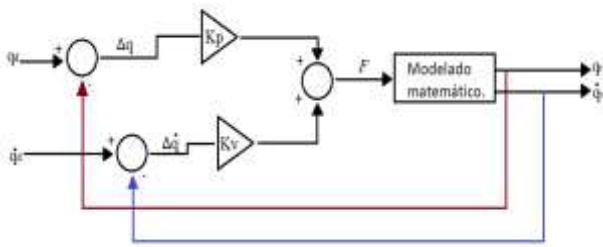


Figura 6 Diagrama de funcionamiento de controlador PD

De lo anterior se puede comprender la dependencia entre los bloques c) y d) desarrollados en el presente apartado.

La importancia de la implementación de un controlador PD al simulador radica en mejora el funcionamiento del sistema general y permite obtener resultados estables con mayor rapidez a que si no se tuviera incluido en el análisis. Esto hace que el simulador sea más rápido y eficiente al momento de arrojar los resultados para el movimiento articular del robot.

d) Bloque para control particionado

El tipo de sistema de 4 gdl que se está analizando arroja un modelado matemático no lineal (17), por lo cual, es necesario procurar añadir un control del tipo particionado. Cuando se desea analizar el seguimiento de trayectorias de manipuladores como el estudiado en el actual artículo, resulta un tanto complejo el análisis y simulación del sistema debido a las singularidades que pueden presentarse en el análisis matemático. A partir de la ecuación (17), se puede basar el estudio y análisis del robot por medio de una nueva ley de control, la cual quedará expresada de la forma:

$$\tau = \alpha \tau' + \beta \quad (22)$$

De donde:

$$\alpha = \text{Matriz de inercias } D \quad (23)$$

$$\beta = C\dot{q} + Gq \quad (24)$$

Así, incorporando las ecuaciones (23), (24) y (17) se obtiene la ecuación diferencial: $D\ddot{q} + C\dot{q} + Gq = D\tau' + C\dot{q} + Gq \therefore$

$$\tau' = \ddot{q} \quad (25)$$

Lo anterior se puede analizar en términos del error de posición y velocidad, además de la aceleración \ddot{q} deseada, haciendo finalmente que la nueva ley de control quede definida como:

$$\tau' = \ddot{q}_d + kv \cdot \dot{e} + kp \cdot e \quad (26)$$

Donde:

$$e = q_d - q_r \quad (27)$$

$$\dot{e} = \dot{q}_d - \dot{q}_r \quad (28)$$

Lo que se desea con el control particionado es que el error arrojado por simulador sea cero.

En la Figura 7 se representa el diagrama de bloques del funcionamiento del control particionado. En este, existe una relación entre los bloques del programa que contienen al modelado matemático del robot y el controlador PD. Para la aplicación del control particionado se requiere realizar una multiplicación entre los resultados arrojados por el controlador PD y la matriz de inercias obtenido para el modelado dinámico del robot. A su vez, a la entrada del bloque del control particionado entrarán las variables articulares de posición q_r y velocidad \dot{q}_r . La salida de este bloque de control presenta la matriz de inercias D y la nueva componente β descrita previamente en (24).

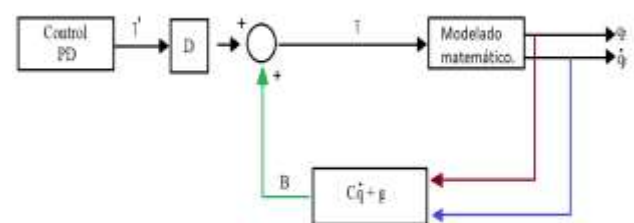


Figura 7 Diagrama de funcionamiento de control particionado

Así se garantiza una simulación completa con controladores incorporados que permitan visualizar en el ordenador el comportamiento del robot, la implementación de este tipo de controladores y de la configuración en la que se estructuró a los bloques de programación fue pensado para que el análisis fuera más preciso, además de que contar con este tipo de modelados permite facilitar el estudio de sistemas no lineales como lo es el brazo manipulador de 4 gdl.

f) Bloque de cinemática directa

Es el componente final del bloque de programación del simulador. La importancia de este radica en ir graficando la posición real del efector final mientras la simulación se ejecuta en función del tiempo.

En este bloque del programa se encuentran contenidas las tres ecuaciones que rigen la posición cartesiana del efector final, de esta manera el simulador va describiendo ambas trayectorias, la deseada (producida por el generador de trayectorias) y la que realmente está siguiendo el robot.

Entre los elementos generales que son modificables en el código se encuentran las masas y longitudes propias de los eslabones que conforman al manipulador para poder observar cómo es que estos cambios afectan en el comportamiento arrojado por el simulador.

Resultados de la simulación y análisis

En la sección presente se muestran los resultados obtenidos de la simulación para cuando se desea que el sistema alcance una posición articular deseada. En la Tabla 2 se puede visualizar la comparación entre los casos analizados; en estos, se comienza a modificar las condiciones físicas presentes en los eslabones del brazo manipulador (masa y longitud) para visualizar cómo es que los resultados se ven afectados ante dichos cambios.

En la Tabla III se muestra la diferencia porcentual que existió entre las posiciones articuladas deseadas y las reales mostradas por el simulador en cada caso probado en comparación con el Caso 0. Esto es, se muestra la medida porcentual en la que el manipulador mejoró o empeoró para alcanzar la posición deseada. En todos los casos se comprobó con un mismo conjunto de valores para las posiciones articulares deseadas siendo estas la posición articular 0. Es decir, se pretende analizar las fuerzas requeridas y precisión con la que actuará el manipulador para contener su posición original una vez que este comience a funcionar.

El Caso 0 es el punto de partida para el análisis de resultados, ya que este contiene los

valores reales de las características físicas del robot (masas y longitudes reales de los eslabones). Los casos propuestos son arbitrarios donde lo que se pretende es observar el comportamiento del robot para llegar a las posiciones que se desean.

Características físicas del robot. (4 eslabones)		Posición articular deseada.	Torque requerida para mantener posición. (kgf)	Posición articular alcanzada (real).
Masa (Kg.)	Longitud (Mts.)			
CASO 0				
M1= 1 M2=0.6 M3=0.5 M4=0.8	L1=0.1 L2=0.3 L3=0.25 L4=0.1	$q_1 = 0^\circ$ $q_2 = 0^\circ$ $q_3 = 0^\circ$ $q_4 = 0^\circ$	T1= 0 T2= 9.5 T3= 4 T4= 0.8	$q_1 = 0^\circ$ $q_2 = -0.02^\circ$ $q_3 = -0.009^\circ$ $q_4 = -0.002^\circ$
CASO 1				
M1= 0.5 M2=0.3 M3=0.25 M4=0.4	L1=0.1 L2=0.3 L3=0.25 L4=0.1	$q_1 = 0^\circ$ $q_2 = 0^\circ$ $q_3 = 0^\circ$ $q_4 = 0^\circ$	T1= 0 T2= 4.7 T3= 2 T4= 0.4	$q_1 = 0^\circ$ $q_2 = -0.01^\circ$ $q_3 = -0.004^\circ$ $q_4 = 0^\circ$
CASO 2				
M1= 1 M2= 1 M3= 1 M4= 1	L1=0.1 L2=0.3 L3=0.25 L4=0.1	$q_1 = 0^\circ$ $q_2 = 0^\circ$ $q_3 = 0^\circ$ $q_4 = 0^\circ$	T1= 0 T2= 14.7 T3= 5.9 T4= 1	$q_1 = 0^\circ$ $q_2 = -0.03^\circ$ $q_3 = -0.01^\circ$ $q_4 = -0.002^\circ$
CASO 3				
M1= 5 M2= 2.5 M3= 2 M4= 4	L1= 0.4 L2= 0.5 L3= 0.4 L4= 0.3	$q_1 = 0^\circ$ $q_2 = 0^\circ$ $q_3 = 0^\circ$ $q_4 = 0^\circ$	T1= 0 T2= 75 T3= 34 T4= 11.2	$q_1 = 0^\circ$ $q_2 = -0.18^\circ$ $q_3 = -0.08^\circ$ $q_4 = -0.03^\circ$

Tabla 2. Resultados de simulación para alcance de posiciones articulares con base en características físicas.

A continuación se pueden visualizar en cuestión de porcentajes la precisión del comportamiento del robot según el caso analizado.

A continuación se pueden visualizar en cuestión de porcentajes la precisión del comportamiento del robot según el caso analizado.

Caso	% de diferencia en torque para mantener posición articular comparado con el CASO 0	% de precisión para alcanzar cada posición articular ($q_{deseada} - q_{real}$) comparado con el CASO 0
1	T1= 0 % T2= - 60.5% T3= - 50 % T4= - 50 %	$q_1 = 0 \%$ $q_2 = +50\%$ $q_3 = +44.4\%$ $q_4 = +100\%$
2	T1= 0 % T2= + 54.7% T3= + 47.5 % T4= + 25 %	$q_1 = 0 \%$ $q_2 = -50 \%$ $q_3 = -11.11 \%$ $q_4 = 0 \%$
3	T1= 0 % T2= + 689% T3= +750 % T4= + 1300 %	$q_1 = 0 \%$ $q_2 = -800 \%$ $q_3 = -788 \%$ $q_4 = -1400\%$

Tabla 3. Diferencia para alcanzar posiciones articulares según cada caso.

De la Tabla 3 se puede analizar las variaciones que ocurren cuando se cambian las características físicas del robot. Como es de esperarse, si las masas de los eslabones del robot disminuyen, se requerirá de un menor torque para moverlos; a mayor masa, mayor fuerza será la requerida para moverlos. Así también, se puede observar cómo es que la precisión para alcanzar las posiciones deseadas mejora a medida que el robot se hace más ligero o compacto. El Caso 2 y 3 demuestran que resulta cada vez más complicado el control de un sistema que se hace más robusto. Para tales efectos, sería necesario inclusive utilizar sistemas de control robustos y más efectivos.

En la Figura 8 se pueden observar las gráficas para torque que arroja la simulación para el Caso 0. En la Figura 9 se muestran los mismos gráficos pero ahora con las características del Caso 1. En estas figuras se expresa la forma en la que el torque requerido para cada articulación se va ajustando hasta alcanzar la fuerza requerida para llegar a la posición articular que se desea. Una vez llegada a la posición articular deseada, la fuerza se mantiene para que el eslabón mantenga su posición.

Así también, en la Figura 10 se deja expresado gráficamente el ajuste que va realizando cada eslabón del robot para llegar a la posición articular 0, analizado para el Caso 0.

En la Figura 11 se muestran las mismas condiciones para los gráficos sólo que esta vez los resultados de simulación obtenidos para el Caso 1.

La simulación descrita en los gráficos de las Figuras 8 a 11 tiene un tiempo de duración de 10 segundos, el comportamiento de las fuerzas y variables articulares puede ser visualizada en las mismas.

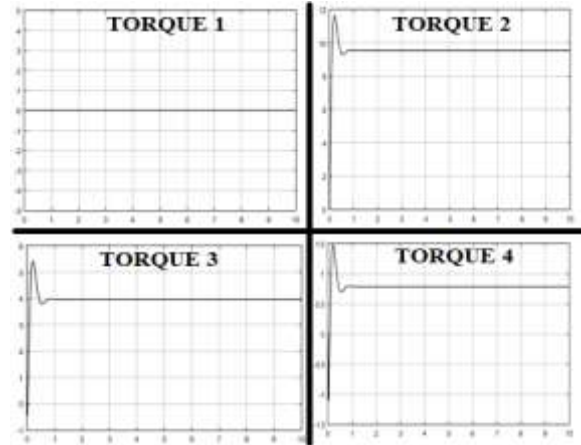


Figura 8 Gráficos de torque obtenidos para Caso 0

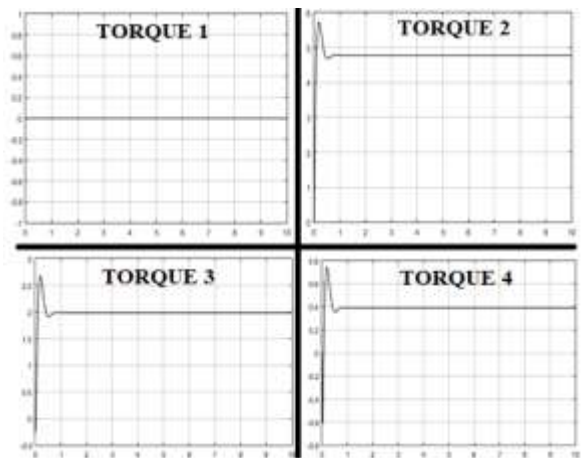


Figura 9 Gráficos de torque obtenidos para Caso 1

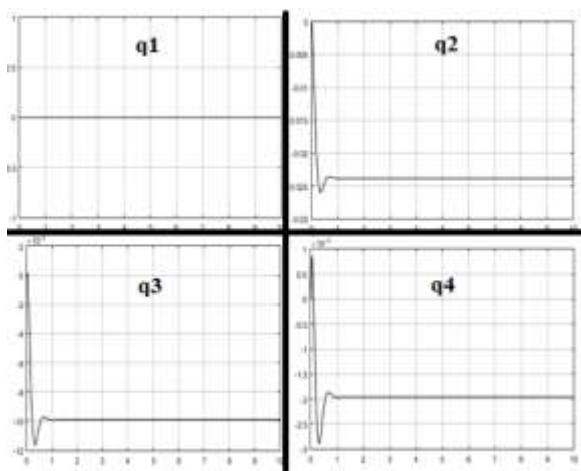


Figura 10 Gráficos de posición articular obtenidos para Caso 0

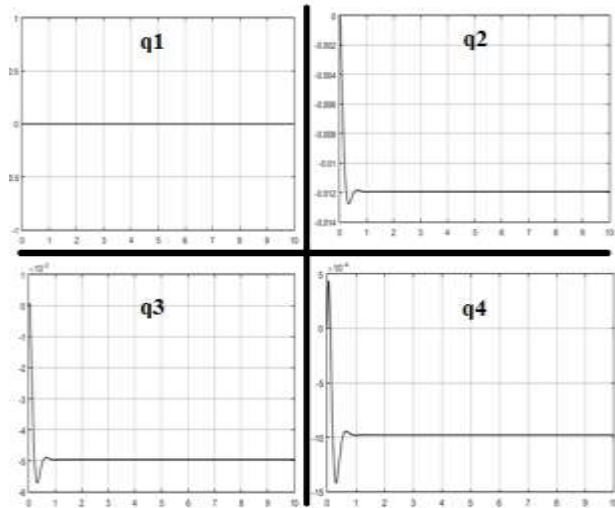


Figura 11 Gráficos de posición articular obtenidos para Caso 1

Finalmente, es necesario analizar que aunque existe una mejora no tan contrastante en la precisión al momento de posicionarse, el impacto más importante recae en la fuerza que se requiere para hacer mover a los eslabones para conseguir mantener al manipulador en los puntos deseados. Como la posición se puede considerar óptima, el seguimiento de trayectorias se puede realizar de manera correcta ante los cambios físicos realizados.

Existirán fluctuaciones o un grado de error al momento de trazar un segmento de trayectoria y la posición del efector final, sin embargo, los controladores diseñados para la simulación arrojan resultados muy cercanos entre sí, cuando se trata de la generación de trayectorias y el seguimiento de la misma por parte del efector final.

En la Figura 12 se observa una trayectoria simple generada por las siguientes ecuaciones de posición en función del tiempo t :

$$px = 0.2t + 0.05; \quad (29)$$

$$py = 0.2t + 0.05; \quad (30)$$

$$pz = 0.2t + 0.05. \quad (31)$$

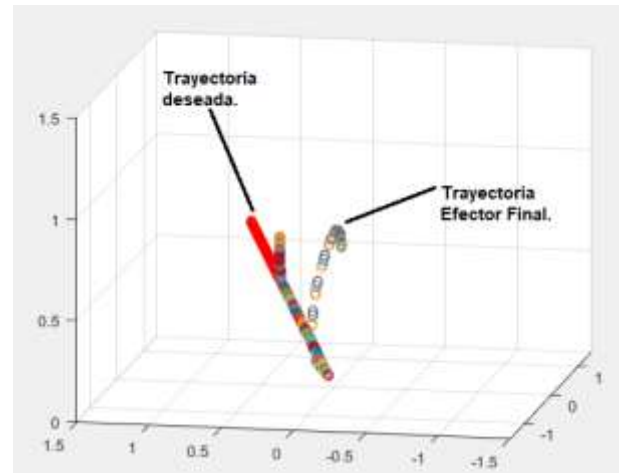


Figura 12 Seguimiento de trayectoria manipulador Caso 0

En la Figura 13 se muestra un nuevo caso para el seguimiento de trayectorias donde el efector final también es capaz de seguir las trayectorias que produce el generador. Pueden existir variaciones o puntos en los que debido a sus características físicas no sea posible alcanzar con exactitud las posiciones deseadas, sin embargo, el modelado matemático y los controladores son capaces de arrojar resultados precisos.

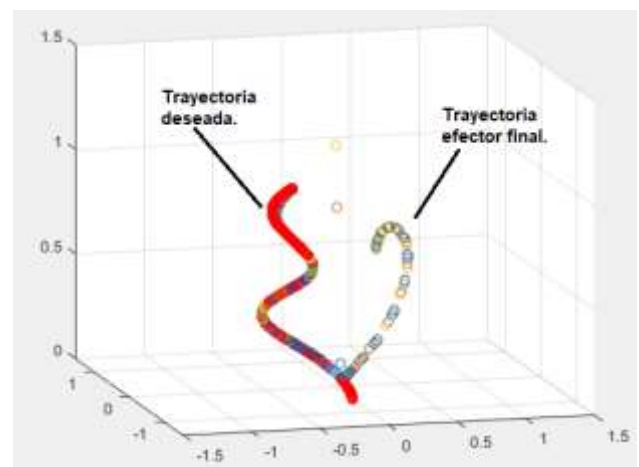


Figura 13 Seguimiento de segunda trayectoria manipulador Caso 0.

Conclusiones

Al momento de realizar el análisis de un manipulador para conocer cuál será su comportamiento es importante considerar sus características físicas, no sólo para conocer la manera en la que se moverá dentro de su espacio de trabajo si no para entender conceptos propios sobre su comportamiento dinámico.

Analizar la manera en la que el movimiento de un robot afectará en cuestiones de gasto energético y exactitud para posicionarse debe ser entre los puntos importantes de todo estudio.

En la presente investigación se demostró por medio del desarrollo de un software de simulación el impacto que tiene el modificar las características físicas de un brazo robótico en cuestiones de precisión y gasto energético. Se pudo comprobar que a menor masa y estructuras más uniformes en los eslabones, más eficiente será el resultado del comportamiento general del sistema.

Entre las aplicaciones para este trabajo de investigación se puede mencionar la manufactura aditiva, que consiste en mejorar los elementos mecánicos que conforman a los sistemas para que estos tengan desempeños óptimos sin sacrificar las funciones para las que fueron creados.

Modificar correctamente las características físicas de los manipuladores robóticos cuidando mantener intactos los resultados de su estudio cinemático y dinámico puede resultar en un ahorro económico si se sabe elegir los materiales adecuados para la implementación de dichos cambios. De esta manera, se puede estudiar siempre la forma de hacer que un sistema mecánico sea cada vez más exacto, preciso y eficiente.

Referencias

[1] MathWorks®. Modelación y simulación. <https://la.mathworks.com/discovery/modeling-and-simulation.html>; Febrero 2018.

[2] Gan, John Q; Oyama, Emei, et al. "A complete analytical solution to the inverse kynematics of the Pioneer 2 robotic arm". Universidad de Cambridge. Mayo 7, 2004.

[3] Algarín, Juan. "Diseño e implementación de un sistema de brazo robótico para un robot móvil con control teleoperado". Reporte de Residencias, Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo, Diciembre 2017.

[4] Spong M. y Vidyasagar M; "Robot Dynamics and Control". Primera edición. Editorial John Wiley and Sons.

[5] Reyes, Fernando. "Robótica: control de manipuladores". Editorial Alfaomega.

[6] Barrientos, Antonio; et al. "Fundamentos de Robótica". Editorial McGraw Hill.

Apéndices

Las matrices de inercias, fuerzas centrífugas y gravitacionales del robot de 4 gdl analizado en el presente y que conforman a la ecuación matricial expresada en (18) quedarán compuestas por los siguientes sistemas de ecuaciones:

Para la matriz de inercias:

$$\begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} D_{11} = & m_1 d_1^2 + I_1 + m_2 L_2^2 C_2^2 + I_2 + m_3 L_2^2 C_2^2 + m_3 L_3^2 C_{23}^2 \\ & + 2m_3 L_2 L_3 C_2 C_{23} + I_3 + m_4 L_2^2 C_2^2 + m_4 L_3^2 C_{23}^2 \\ & + m_4 L_4^2 C_{234}^2 + 2m_4 L_2 L_3 C_2 C_{23} + 2m_4 L_2 L_4 C_2 C_{234} \\ & + 2m_4 L_3 L_4 C_{23} C_{234} \\ & + I_4 \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} D_{12} = D_{21} \\ = 0 \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} D_{13} = D_{31} \\ = 0 \end{aligned} \quad (34)$$

$$D_{14} = D_{41} = 0$$

$$\begin{aligned} D_{22} = & m_2 L_2^2 + I_2 + m_3 L_2^2 + m_3 L_3^2 + 2m_3 L_2 L_3 (S_2 S_{23} + C_2 C_{23}) \\ & + I_3 + m_4 L_2^2 + m_4 L_3^2 + m_4 L_4^2 \\ & + 2m_4 L_2 L_3 (S_2 S_{23} + C_2 C_{23}) \\ & + 2m_4 L_2 L_4 (S_2 S_{234} + C_2 C_{234}) \\ & + 2m_4 L_3 L_4 (S_{23} S_{234} + C_{23} C_{234}) \\ & + I_4 \end{aligned} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} D_{23} = D_{32} = & m_3 L_3^2 + m_3 L_2 L_3 (S_2 S_{23} + C_2 C_{23}) + I_3 + m_4 L_3^2 \\ & + m_4 L_4^2 + m_4 L_2 L_3 (S_2 S_{23} + C_2 C_{23}) \\ & + m_4 L_2 L_4 (S_2 S_{234} + C_2 C_{234}) \\ & + 2m_4 L_3 L_4 (S_{23} S_{234} + C_{23} C_{234}) \\ & + I_4 \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} D_{24} = D_{42} \\ = & m_4 L_4^2 + m_4 L_2 L_4 (S_2 S_{234} + C_2 C_{234}) \\ & + m_4 L_3 L_4 (S_{23} S_{234} + C_{23} C_{234}) \\ & + I_4 \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} D_{33} \\ = & m_3 L_3^2 + I_3 + m_4 L_3^2 + m_4 L_4^2 \\ & + 2m_4 L_3 L_4 (S_{23} S_{234} + C_{23} C_{234}) \\ & + I_4 \end{aligned} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} D_{34} = D_{43} = & m_4 L_4^2 + m_4 L_3 L_4 (S_{23} S_{234} + C_{23} C_{234}) \\ & + I_4 \end{aligned} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} D_{44} \\ = & m_4 L_4^2 + I_4 \end{aligned} \quad (40)$$

Para la matriz de Coriolis y Fuerzas centrífugas:

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} C_{11} &= \dot{q}_2[-m_2L_2^2C_2S_2 - m_3L_2^2S_2C_2 - m_3L_3^2S_{23}C_{23} - m_3L_3L_2(C_2S_{23} \\ &+ S_2C_{23}) - m_4L_2^2S_2C_2 - m_4L_3^2S_{23}C_{23} - m_4L_4^2S_{234}C_{234} \\ &- m_4L_3L_2(C_2S_{23} + S_2C_{23}) - m_4L_4L_2(C_2S_{234} + S_2C_{234}) \\ &- m_4L_3L_4(C_{23}S_{234} + S_{23}C_{234})] \\ &+ \dot{q}_3[-m_3L_3^2S_{23}C_{23} - m_3L_2L_3C_2S_{23} - m_4L_3^2S_{23}C_{23} \\ &- m_4L_4^2S_{234}C_{234} - m_4L_2L_3C_2S_{23} - m_4L_2L_4C_2S_{234} \\ &- m_4L_3L_4(C_{23}S_{234} + S_{23}C_{234})] \\ &+ \dot{q}_4[-m_4L_4^2S_{234}C_{234} - m_4L_2L_4C_2S_{234} \\ &- m_4L_3L_4C_{23}S_{234}] \end{aligned} \quad (41)$$

$$\begin{aligned} C_{12} &= \dot{q}_1[-m_2L_2^2C_2S_2 - m_3L_2^2S_2C_2 - m_3L_3^2S_{23}C_{23} - m_3L_3L_2(C_2S_{23} \\ &+ S_2C_{23}) - m_4L_2^2S_2C_2 - m_4L_3^2S_{23}C_{23} - m_4L_4^2S_{234}C_{234} \\ &- m_4L_3L_2(C_2S_{23} + S_2C_{23}) - m_4L_4L_2(C_2S_{234} + S_2C_{234}) \\ &- m_4L_3L_4(C_{23}S_{234} \\ &+ S_{23}C_{234})] \end{aligned} \quad (42)$$

$$\begin{aligned} C_{13} &= \dot{q}_1[-m_3L_3^2S_{23}C_{23} - m_3L_2L_3C_2S_{23} - m_4L_3^2S_{23}C_{23} \\ &- m_4L_4^2S_{234}C_{234} - m_4L_2L_3C_2S_{23} - m_4L_2L_4C_2S_{234} \\ &- m_4L_3L_4(C_{23}S_{234} \\ &+ S_{23}C_{234})] \end{aligned} \quad (43)$$

$$C_{14} = \dot{q}_1[-m_4L_4^2S_{234}C_{234} - m_4L_2L_4C_2S_{234} - m_4L_3L_4C_{23}S_{234}] \quad (44)$$

$$\begin{aligned} C_{21} &= \dot{q}_1[m_2L_2^2C_2S_2 + m_3L_2^2S_2C_2 + m_3L_3^2S_{23}C_{23} + m_3L_3L_2(C_2S_{23} \\ &+ S_2C_{23}) + m_4L_2^2S_2C_2 + m_4L_3^2S_{23}C_{23} + m_4L_4^2S_{234}C_{234} \\ &+ m_4L_3L_2(C_2S_{23} + S_2C_{23}) + m_4L_4L_2(C_2S_{234} + S_2C_{234}) \\ &+ m_4L_3L_4(C_{23}S_{234} \\ &+ S_{23}C_{234})] \end{aligned} \quad (45)$$

$$\begin{aligned} C_{22} &= \dot{q}_3[m_3L_3L_2(S_2C_{23} - C_2S_{23}) + m_4L_3L_2(S_2C_{23} - C_2S_{23}) \\ &+ m_4L_4L_2(S_2C_{234} - C_2S_{234})] \\ &+ \dot{q}_4[m_4L_4L_2(S_2C_{234} - C_2S_{234}) + m_4L_4L_3(S_{23}C_{234} \\ &- C_{23}S_{234})] \end{aligned} \quad (46)$$

$$\begin{aligned} &[m_3L_3L_2(S_2C_{23} - C_2S_{23}) + m_4L_3L_2(S_2C_{23} - C_2S_{23}) + m_4L_4L_2(S_2C_{234} \\ &- C_2S_{234})] \\ &+ \dot{q}_3[m_3L_3L_2(S_2C_{23} - C_2S_{23}) + m_4L_3L_2(S_2C_{23} \\ &- C_2S_{23}) + m_4L_4L_2(S_2C_{234} - C_2S_{234})] \\ &+ \dot{q}_4[m_4L_4L_2(S_2C_{234} - C_2S_{234}) + m_4L_4L_3(S_{23}C_{234} \\ &- C_{23}S_{234})] \end{aligned} \quad (47)$$

$$\begin{aligned} &[m_4L_4L_2(S_2C_{234} - C_2S_{234}) + m_4L_4L_3(S_{23}C_{234} - C_{23}S_{234})] \\ &+ \dot{q}_3[m_4L_4L_2(S_2C_{234} - C_2S_{234}) + m_4L_4L_3(S_{23}C_{234} - C_{23}S_{234})] \\ &+ \dot{q}_4[m_4L_4L_2(S_2C_{234} - C_2S_{234}) + m_4L_4L_3(S_{23}C_{234} \\ &- C_{23}S_{234})] \end{aligned} \quad (48)$$

$$\begin{aligned} C_{31} &= \dot{q}_1[m_3L_3^2S_{23}C_{23} + m_3L_2L_3C_2S_{23} + m_4L_3^2S_{23}C_{23} + m_4L_4^2S_{234}C_{234} \\ &+ m_4L_2L_3C_2S_{23} + m_4L_2L_4C_2S_{234} + m_4L_3L_4(C_{23}S_{234} \\ &+ S_{23}C_{234})] \end{aligned} \quad (49)$$

$$\begin{aligned} &[-m_3L_3L_2(S_2C_{23} - C_2S_{23}) - m_4L_3L_2(S_2C_{23} - C_2S_{23}) \\ &- m_4L_4L_2(S_2C_{234} - C_2S_{234})] \\ &+ \dot{q}_4[m_4L_4L_3(S_{23}C_{234} - C_{23}S_{234})] \end{aligned} \quad (50)$$

$$C_{33} = \dot{q}_4[m_4L_4L_3(S_{23}C_{234} - C_{23}S_{234})] \quad (51)$$

$$\begin{aligned} &[m_4L_4L_3(S_{23}C_{234} - C_{23}S_{234})] + \dot{q}_3[m_4L_4L_3(S_{23}C_{234} - C_{23}S_{234})] \\ &+ \dot{q}_4[m_4L_4L_3(S_{23}C_{234} - C_{23}S_{234})] \end{aligned} \quad (52)$$

$$C_{41} = \dot{q}_1[m_4L_4^2S_{234}C_{234} + m_4L_2L_4C_2S_{234} + m_4L_3L_4C_{23}S_{234}] \quad (53)$$

$$\begin{aligned} &[-m_4L_4L_2(S_2C_{234} - C_2S_{234}) - m_4L_4L_3(S_{23}C_{234} - C_{23}S_{234})] \\ &+ \dot{q}_3[-m_4L_4L_3(S_{23}C_{234} - C_{23}S_{234})] \end{aligned} \quad (54)$$

$$\begin{aligned} &[-m_4L_4L_3(S_{23}C_{234} - C_{23}S_{234})] \\ &+ \dot{q}_3[-m_4L_4L_3(S_{23}C_{234} - C_{23}S_{234})] \end{aligned} \quad (55)$$

$$C_{44} = 0 \quad (56)$$

Finalmente para la matriz de fuerzas gravitatorias:

$$g \begin{bmatrix} G_{11} \\ G_{21} \\ G_{31} \\ G_{41} \end{bmatrix}$$

$$G_{11} = 0 \quad (57)$$

$$\begin{aligned} G_{21} &= m_2L_2C_2 + m_3(L_2C_2 + L_3C_{23}) \\ &+ m_4(L_2C_2 \\ &+ L_3C_{23} + L_4C_{234}) \end{aligned} \quad (58)$$

$$G_{31} = m_3L_3C_{23} + m_4(L_3C_{23} + L_4C_{234}) \quad (59)$$

$$G_{41} = m_4L_4C_{234} \quad (60)$$

Evaluación de un sistema de compresión de biogás purificado para el sector agropecuario

Evaluation of a purified biogas compression system for the agriculture sector

MOJICA-MESINAS, Cuitláhuac*†, ACOSTA-PINTOR, Dulce, VIDAL-BECERRA, Eleazar y RUEDA-CHÁVEZ, Belzabet

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Valles. Carretera al Ingenio Km. 2 Col. Vista Hermosa, Ciudad Valles, S.L.P.

ID 1^{er} Autor: *Cuitláhuac, Mojica-Mesinas* / ORC ID: 0000-0001-8585-8249, Researcher ID Thomson: T-3267-2018, arXiv ID: MOMC640319JF8, CVU CONACYT ID: 744041

ID 1^{er} Coautor: *Dulce Carolina, Acosta-Pintor* / ORC ID: 0000-0003-0784-7039, Researcher ID Thomson: T-3349-2018, arXiv ID: DulceAcosta, CVU CONACYT ID: 626925

ID 2^{do} Coautor: *Eleazar, Vidal-Becerra* / ORC ID: 0000-0003-3857-2103, Researcher ID Thomson: T-1547-2018, arXiv ID: elia.vidal, CVU CONACYT ID: 623037

ID 3^{er} Coautor: *Belzabet, Rueda-Chávez* / ORC ID: 0000-0003-1370-9994, Researcher ID Thomson: T-2820-2018, CVU CONACYT ID: 730631

Recibido: 20 de Abril, 2018; Aceptado 29 de Junio, 2018

Resumen

Hoy en día uno de los tipos de energías alternas es la bioenergía, en sus diferentes formas, que pueden ser el biogás, biodiesel y bioetanol. En el Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, a la fecha se ha trabajado en la caracterización de residuos orgánicos, en la producción de biogás a partir de éstos y su purificación. Lo anterior ha planteado la necesidad de diseñar y desarrollar un sistema de compresión que permita comprimir el biogás, a fin de facilitar su manejo (transporte y almacenamiento) y asegurar su valor energético para un uso óptimo como combustible. El sistema de compresión de biogás diseñado, se conectó a un cilindro en el cual se almacenó el biogás purificado, y para la compresión el presostato se calibró a 4 kg/cm², a fin de controlar la presión del biogás purificado almacenado. La evaluación del sistema de compresión consistió en la medición del poder calorífico y la densidad, donde se obtuvieron un poder calorífico de 13.098 kcal/kg y una densidad 0.651 kg/m³.

Biogás, Biogás purificado, Sistema de compresión, Poder calorífico, Densidad

Abstract

Today one of the alternative types of energy is bioenergy, in its different forms, which can be biogas, biodiesel and bioethanol. In the Technological Institute of Ciudad Valles, to date has been working on the characterization of organic waste, in the production of biogas from them and their purification. This has raised the need to design and develop a compression system to compress the biogas, in order to facilitate its management (transport and storage) and ensure its energy value for optimum use as fuel. The designed biogas compression system was connected to a cylinder in which the purified biogas was stored, and for compression the pressure switch was calibrated at 4 kg / cm², in order to control the pressure of the stored biogas. The evaluation of the compression system consisted in the calorific value measurement and the density, where a calorific power of 13,098 kcal / kg and a density of 0.651 kg / m³ were obtained.

Biogas, Purified biogas, Compression system, Calorific value, Density

Citación: MOJICA-MESINAS, Cuitláhuac, ACOSTA-PINTOR, Dulce, VIDAL-BECERRA, Eleazar y RUEDA-CHÁVEZ, Belzabet. Evaluación de un sistema de compresión de biogás purificado para el sector agropecuario. Revista de Simulación Computacional. 2018. 2-4: 13-18.

* Correspondencia al autor (Correo Electrónico: cuitlahuac.mojica@tecvalles.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

Hoy en día la necesidad de potenciar la generación de energías limpias como respuesta a la problemática de la situación energética mundial ha permitido investigar posibilidades de utilizar nuevas formas de energía sustentable como los biocombustibles, que son producidos a partir de biomasa.

En México, se han realizado esfuerzos significativos en materia legal y de investigación en el tema bioenergético para ampliar el desarrollo de los principales biocombustibles entre los que se encuentran el biodiesel, bioetanol y biogás.

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable (Varnero, 2011). En este proceso realizado por bacterias, el biogás está compuesto en un 50% a un 70% de CH_4 y en un 30% a un 50% de CO_2 , además de contener ácido sulfhídrico (H_2S) y otros gases trazas.

La industria agropecuaria, de gran importancia y magnitud en México, genera cantidades significativas de residuos, algunos de los cuales se aprovechan o se tratan, mientras que otros simplemente se desechan. Es clave prevenir y minimizar la producción de los mismos y extraer su valor, siempre que sea posible. Existen algunos casos en los que ya se aprovechan los residuos para la producción de metano que se utiliza para generar calor o electricidad, pero en la mayoría de los casos sólo se quema sin aprovechar su valor energético (Centro Mario Molina, 2016).

Al ser considerado el biogás un recurso energético importante para la transición energética, éste puede ser empleado para la generación de energía y calor en las actividades diarias del sector agropecuario. A través de un sistema que permita la compresión del biogás es posible almacenarlo de manera adecuada para su uso posterior.

El biogás comprimido debe tener un valor energético para su uso posterior, determinado por su poder calorífico y densidad.

De acuerdo a Perry (2001) el metano tiene un poder calorífico superior de 13.249 kcal/kg y 11.940 kcal/kg como mínimo. La densidad del metano es igual a 0.6784kg/m^3 , a una temperatura de 15.6°C y 1 atmósfera (HDS, Praxair, 2009).

Con respecto a la problemática energética, en el Instituto Tecnológico de Ciudad Valles desde hace dos años, se ha trabajado en la valorización de los residuos orgánicos de la actividad agropecuaria de la localidad, se diseñó y desarrolló un sistema físico de purificación de biogás y derivado de estos avances se diseñó y desarrolló un sistema que permite comprimir el biogás generado y purificado, a fin de facilitar su manejo (transporte y almacenamiento) y asegurar su valor energético para un uso óptimo como combustible, y de esta manera utilizarlo en el sector agropecuario de la región.

La presente investigación se desarrolló con la finalidad de evaluar el desempeño del sistema diseñado de compresión de biogás purificado.

Metodología

Para realizar la prueba de desempeño del sistema de compresión de biogás purificado, fue necesario el uso de biogás generado del biodigestor ubicado en un rancho de la localidad a 5 km de Ciudad Valles, S.L.P., y en el cual se utilizaron excretas de ganado vacuno (Figura 1). Este biogás se pasó por un sistema físico de purificación de biogás (Figura 2), con la finalidad de mejorar su poder calorífico al reducir el CO_2 . El proceso se desarrolló en las siguientes fases:

Etapa 1. Diseño del sistema

Los materiales que se utilizaron para el diseño del sistema de compresión fueron: un compresor de $\frac{1}{2}$ hp, dos manómetros (uno de alta presión y uno de baja presión), un presostato, una válvula de flujo, tubo de cobre de $\frac{3}{8}$ de pulgada y 50 cm de largo, una manguera tramada, y válvula de bronce para gas (Figura 3).

Todas las conexiones tienen la medida estándar del presostato y válvula de flujo de ¼ de pulgada. Se decidió utilizar este material por sus numerosas ventajas, ya que debido a la presión que se maneja con el biogás, el compresor da un mejor manejo de compresión y al unirlo con un presostato y dos manómetros, favorece una mejor lectura y control al gas que entra a presión al cilindro.

Etapa 2. Acondicionamiento del sistema

Antes de la prueba de compresión de biogás fue necesario revisar la instalación del sistema, examinando que las conexiones no presentarán fugas y que los manómetros estuvieran calibrados adecuadamente. Se revisó también la conexión eléctrica para evitar cortos, y el funcionamiento adecuado del presostato que tiene la función de cerrar o abrir el circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión del fluido. Finalmente también se mantuvo cuidado en la utilización de equipo de protección personal para la prueba de compresión.

Etapa 3. Operación del Sistema

El sistema de compresión se conectó a una bolsa de geomembrana que se encuentra interconectado al purificador. A su vez se conectó a un cilindro en el cual se almacenó el biogás purificado, el presostato se calibró a 4 kg/cm². Una vez que arrancó el sistema de compresión, el presostato cortó el circuito de energía, de esta manera se controló la presión del biogás purificado almacenado en el cilindro, para su uso posterior, la prueba fue realizada en condiciones ambientales a 31°C, utilizando un cilindro de 19.2 l.

Etapa 4. Evaluación

La evaluación del sistema de compresión de biogás purificado consistió en la medición del poder calorífico y la densidad.

El poder calorífico se determinó a través del método del calorímetro, en el cual se colocaron 100 g de agua en un cristizador de vidrio, y se anotó la temperatura inicial, se colocó dentro del calorímetro y finalmente se calentó el agua con biogás purificado, registrando la temperatura inicial, final y el tiempo de calentamiento (Figura 4). Se realizaron los cálculos correspondientes a la siguiente fórmula con respecto al agua:

$$Q = mcp\Delta T \quad (1)$$

Donde:

Q=flujo del calor
m=masa de la sustancia
cp=capacidad calorífica del agua
 ΔT =variación de temperatura

Con la aplicación de esta fórmula, se calculó el calor absorbido por el agua a partir del calor generado por el biogás purificado; de acuerdo a la primera ley de la termodinámica que es el principio de conservación de la energía (Smith,1996).

La densidad de un gas se define como la masa por unidad de volumen y se puede expresar en kg/m³ (Himmelblau, 2002). Por lo tanto se tiene que:

$$d = \frac{Pm}{RT} \quad (2)$$

Donde:

d=densidad del gas
P=presión atmosférica
m=masa molecular del gas
R=constante de los gases ideales
T=temperatura

De esta manera se realizaron los cálculos correspondientes al poder calorífico y a la densidad.

Resultados

Los resultados de la prueba de compresión a través del sistema se presentan en la tabla 1:

Volumen de gas a presión atmosférica (inicial)	Volumen de gas comprimido (final)	Presión máxima alcanzada de compresión	Masa de biogás contenida en el tanque	Temperatura inicial de trabajo	Temperatura final de trabajo	Tiempo total del proceso
677.48 L	19.2 l	4 kg/cm ²	0.48295 kg	31°C	31°C	1.0422 hrs

Tabla 1 Resultados de la prueba de compresión de biogás.

Fuente: *Elaboración Propia*

Los resultados de la evaluación del cálculo del poder calorífico del biogás comprimido se presentan en la tabla 2:

Biogás purificado comprimido	Tiempo de consumo de biogás comprimido	Tiempo de consumo de biogás comprimido por minuto	Temperatura inicial de agua	Temperatura final de agua	Tiempo total del proceso para alcanzar 100°C	Consumo de biogás comprimido para alcanzar 100°C	Densidad calculada
19.2 l	240 min	2.82 min	27 °C	100° C	2.33 min	0.2639 g-mol	0.651 kg/m ³

Tabla 2 Resultados de la evaluación del poder calorífico y densidad del biogás comprimido.

Fuente: Elaboración Propia

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible. Para calcular el calor absorbido del agua utilizada se tiene entonces:

$$Q = mcp\Delta T \quad (3)$$

Dónde:

$$Q = (100 \text{ g}) \left(4.186 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \cdot \text{°K} \right) (373.15 - 300.15) \text{°K} \\ = 30557.8 \text{ cal}$$

$$Q = \frac{30557.8}{2.33} = 13098.07 \text{ cal/g}$$

Por lo que el calor que el agua absorbe en el período de tiempo para alcanzar su calentamiento es: 13.0980711 kcal/kg.

Además con el dato calculado del peso molecular del biogás purificado (0.2639 g/mol) y aplicando la ecuación de los gases ideales (Atkins, 2007), se tiene, que:

$$pV = nRT \quad (4)$$

Donde:

p= presión (atm)

V=volumen (l)

n=número de moles

T=temperatura absoluta

R=constante de los gases ideales

Entonces:

$$n = \frac{pV}{RT}$$

$$n = \frac{(1 \text{ atm})(0.67748 \text{ m}^3)}{(82.057 \times 10^{-6})(304.15)}$$

$$n = 3.01844 \times 10^1 \text{ g - mol} \\ = 30.1844 \text{ g - mol}$$

Realizando las conversiones y cálculos se determinó que la masa de biogás purificado comprimido para esta prueba fue de:

$$m = 0.48295 \text{ kg}$$

Para el cálculo de densidad, se realizaron los siguientes cálculos:

$$d = \frac{Pm}{RT} \quad (5)$$

Donde:

$$d = \frac{(1 \text{ atm}) \left(\frac{16.04 \text{ g}}{\text{mol}} \right)}{(0.082 \text{ atm} \cdot \text{l/mol} \cdot \text{°K}) (300.15 \text{°K})}$$

$$d = 0.651 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0.651 \text{ kg/m}^3$$

La densidad del biogás purificado calculado fue de 0.651 kg/m³.

Anexos



Figura 1 Biodigestor con excretas de ganado vacuno.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 2 Purificador de biogás.
Fuente: Elaboración Propia



Figura 3 Sistema de compresión de biogás purificado.
Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 4 Prueba del poder calorífico
Fuente: *Elaboración Propia*

Agradecimiento

Se agradece a los productores que colaboraron con la aportación de los residuos para la realización de la presente investigación, así mismo el Laboratorio de Química del Instituto Tecnológico de Ciudad Valles. Es importante mencionar que la información presentada forma parte del proyecto financiado en la Convocatoria de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica de Tecnológico Nacional de México 2018.

Conclusiones

Se diseñó un sistema básico de compresión de biogás purificado, cuyas pruebas de funcionalidad permitieron concluir que el sistema de compresión es apto para darle un mejor uso al biogás. Las pruebas se realizaron en condiciones a temperatura ambiente, en un área despejada lo que permitió tener una mejor seguridad en el manejo del sistema de compresión.

La utilización de este biocombustible puede dar paso, con base a la compresión, la viabilidad de envasar y transportar el biogás purificado, el cual permitirá utilizarlo en lugares distantes del lugar de producción. En esta evaluación del sistema de compresión, se trabajó a 4 kg/cm^2 , para comprimir 0.48295 kg de biogás purificado. De la evaluación del biogás comprimido a través del sistema se obtuvo un poder calorífico de 13.098 kcal/kg y una densidad 0.651 kg/m^3 .

De acuerdo a Perry (2001) el metano tiene un poder calorífico superior de 13.249 kcal/kg y 11.940 kcal/kg como mínimo. Con respecto a la densidad del metano, la Hoja de seguridad para este gas (HDS, Praxair, 2009) establece que es igual a 0.6784 kg/m^3 , a una temperatura de 15.6°C y 1 atmósfera.

Los datos obtenidos para el poder calorífico y la densidad se encuentran cercanos a los parámetros de referencia. Se concluye entonces que el biogás comprimido puede llegar a tener un valor energético para su uso posterior.

Referencias

- Centro Mario Molina. (2016). Bioenergía: Análisis regional del aprovechamiento integral de los residuos de la industria agropecuaria. 20 diciembre del 2017, de Centro Mario Molina Sitio web: <http://centromariomolina.org/energia/bioenergia-analisis-regional-del-aprovechamiento-integral-de-los-residuos-de-la-industria-agropecuaria-2016/>
- D. Himmelblau. (2002). Principios básicos y cálculos en Ingeniería Química. México: Editorial Pearson Prentice Hall. Sexta Edición.
- HDS, Praxair, 2009. Hoja de Seguridad de Producto Metano. México. Recuperado el día 01 de mayo del 2018 de <http://www.praxair.com.mx/-/media/documents/safety-data-sheets/metano-hds-p4618f-2009.pdf>
- J.M. Smith; H.C. Van Ness; M.M. Abbott. (2007). Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química. México: Mc Graw Hill.

P. Atkins, L. Jones. (2007). Principios de Química: los caminos del descubrimiento. Buenos Aires, Argentina: Editorial Médica Panamericana.

R.H. Perry. (2001). Manual del Ingeniero Químico. México: Editorial Mc Graw Hill. Séptima Edición.

Varnero, M.M.T., 2011. Manual de biogás. Gobierno de Chile. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Global Environment Facility, Proyecto CHI/00/G32: "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables". Chile. Recuperado de 14 de marzo del 2018 de <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

Repercusión de la degradación arrecifal en la disipación del oleaje

Impact of reef degradation on wave dissipation

CHÁVEZ-CÁRDENAS, Xavier*†, DELGADILLO-CALZADILLA, Miguel Ángel, GALVÁN-CHÁVEZ, Arturo y MORENO-MARTÍNEZ, Jatziri Yunuén

Universidad de Guanajuato Campus Celaya-Salvatierra, Av. Javier Barros Sierra 201 Col. Ejido de Santa María del Refugio C.P. 38140 Celaya, Gto. México

ID 1^{er} Autor: *Xavier, Chávez-Cárdenas* / ORC ID: 0000-0001-6691-4380, Researcher ID Thomson: F-3210-2018, CVU CONACYT ID: 269911

ID 1^{er} Coautor: *Miguel Ángel, Delgadillo-Calzadilla* / ORC ID: 0000-0003-3431-1942, Researcher ID Thomson: S-6919-2018, CVU CONACYT ID: 272236

ID 3^{er} Coautor: *Arturo, Galván-Chávez* / ORC ID: 0000-0002-3374-0481, Researcher ID Thomson: S-8432-2018, CVU CONACYT ID: 237706

ID 4^{to} Coautor: *Jatziri Yunuén, Moreno-Martínez* / ORC ID: 0000-0002-6798-2067, Researcher ID Thomson: S-8441-2018, CVU CONACYT ID: 237707

Recibido: 05 de Marzo, 2018; Aceptado 06 de Mayo, 2018

Resumen

Se evalúa el desempeño del arrecife Limones del Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos como estructura de protección costera ante el oleaje. El análisis se hace con base la comparación entre la amplitud incidente, la reflejada y la transmitida. Para obtener el mapa de amplitudes producto de la interacción oleaje-arrecife se recurrió al modelo numérico WAPO (WAVE Propagation On the coast) el cual es un modelo basado en la ecuación de la pendiente suave, capaz de simular los fenómenos de difracción, reflexión, refracción, someramiento y rotura. En cuanto a la forma del arrecife Limones, este se simuló para la condición actual y para una condición supuesta de degradación con la que su altura actual se reduce 0.50 m. La condición actual se tomó a partir de la batimetría de CONABIO del 2016. El oleaje transmitido bajo la condición actual del arrecife es menor al 50% del oleaje incidente en términos de amplitud, mientras que para la condición degradada el oleaje transmitido es del orden del 70%.

Arrecifes, Oleaje, Protección Costera

Abstract

The performance of the Limones reef of Puerto Morelos Reef National Park is evaluated as a coastal protection structure against the water waves. The analysis is made based on the comparison between the incident, reflected and transmitted amplitude. To obtain the map of amplitudes product of the water wave-reef interaction, the WAPO numerical model (WAVE Propagation On the coast) was used, which is a model based on the equation of the mild slope, capable of simulating the phenomena of diffraction, reflection, refraction, shoaling and breaking wave. Regarding the shape of the Limones reef, this was simulated for the current condition and for a supposed degradation condition with which its current height is reduced 0.50 m. The current condition was taken from the 2016 CONABIO bathymetry. The wave transmitted under the current condition of the reef is less than 50% of the incident wave in terms of amplitude, while for the degraded condition the wave transmitted is of the order of 70%.

Reefs, Water Waves, Shore Protection

Citación: CHÁVEZ-CÁRDENAS, Xavier, DELGADILLO-CALZADILLA, Miguel Ángel, GALVÁN-CHÁVEZ, Arturo y MORENO-MARTÍNEZ, Jatziri Yunuén. Repercusión de la degradación arrecifal en la disipación del oleaje. Revista de Simulación Computacional. 2018. 2-4: 19-26

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: x.chavez@ugto.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

La importancia de preservar los arrecifes tiene un beneficio ecológico que va más allá de la protección de la flora y fauna que se desarrollan en estos. Los arrecifes forman parte y son pieza clave del ecosistema costera y desde el punto de vista de la ingeniería marítima son estructuras de abrigo en términos del oleaje que arriba a la costa. Cualquier afectación negativa en los arrecifes por: contaminación, paso de huracán, cambio de temperatura (cambio climático), etc. se refleja en un deterioro estructural por enfermedad e incluso muerte del organismo (arrecife).

Justificación

Mantener inalterado el ecosistema arrecifal permite conservar el equilibrio dinámico del mismo, lo cual evita la presencia de erosión en las playas. La erosión ha sido tema de interés a nivel mundial y en México no es la excepción, sobre todo en la región turística de la Riviera Maya. En regiones particulares de dicha Riviera los problemas de erosión se complican por la presencia de arrecifes lo que aumenta la complejidad del ecosistema costero y demandan un estudio de la eficiencia de los arrecifes como estructuras de protección costera.

Problema

Como estructura disipativa del oleaje, un arrecife degradado se ve disminuido en dos aspectos principales: la rugosidad y la geometría (ancho y alto) como lo demuestra la Figura 1. El presente trabajo analiza, por medio de la modelación numérica, la eficiencia del arrecife Limones como disipador del oleaje. El arrecife en cuestión se ubica en el mar Caribe.

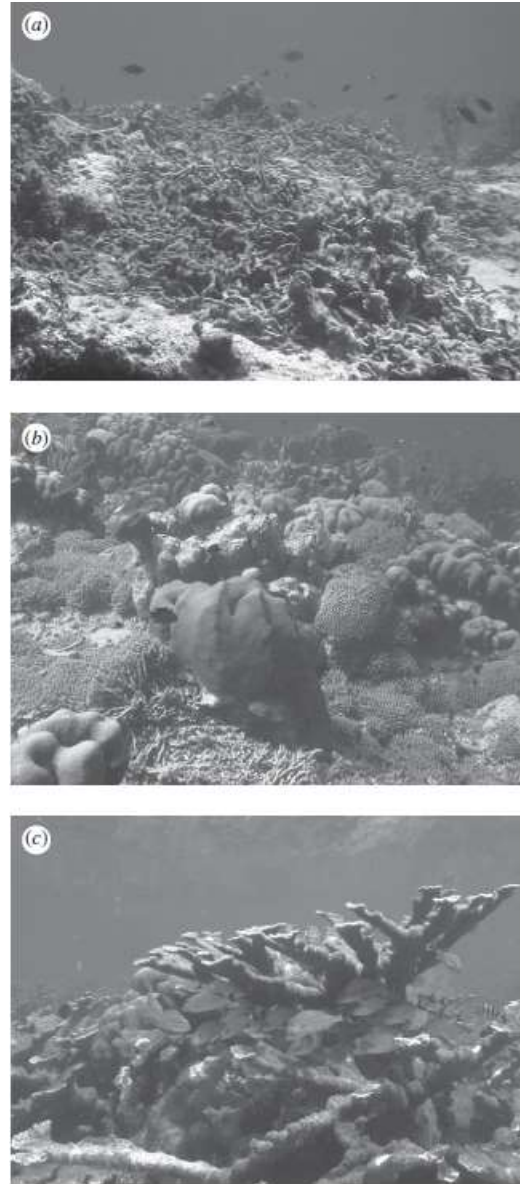


Figura 1 Ejemplo de tres diferentes índices de rugosidad de la complejidad arquitectónica sobre arrecifes del Caribe. Con valores de 1.2 (a), 1.5 (b) y 2.5 (c)
Fuente: (Alvarez-Filip, et al., 2009)

Hipótesis

La simulación numérica de la interacción oleaje-estructura en la vecindad de la costa nos permitirá evaluar la transformación que sufre el oleaje, y estimar la eficiencia de abrigo del arrecife al hacer una comparación directa entre el oleaje que incide en el arrecife y el que se transmite.

A pesar de que Alvarez-Filip, et al., 2009 mencionan que la degradación de los arrecifes coralinos no implica que exista una reducción del área, ya que la estructura y forma del arrecife perdura mucho tiempo después de que el arrecife ha muerto.

En el presente trabajo si se considerara una reducción del área debido a que el Caribe es una zona susceptible al paso de huracanes y la estructura arrecifal puede quebrarse sólo bajo condiciones de oleaje extremo, modificando su complejidad (aplanamiento) y por lo tanto disminuyendo el servicio de protección (Lugo-Fernández, et al., 1998).

Objetivos

Objetivo General

Simular la interacción del arrecife Limones con el oleaje bajo condiciones de clima marino normal.

Objetivos específicos

- Modelar numéricamente con el programa WAPO (WAVE Propagation On the coast) la propagación del oleaje.
- Simular el arrecife Limones en condiciones actuales y condición de degradación. Únicamente considerando la variación geométrica del arrecife.
- Evaluar la repercusión del arrecife Limones en el oleaje, mediante la transmisión permitida.

Marco Teórico

Dentro de los modelos matemáticos de propagación de oleaje más citados en la literatura se encuentran: la ecuación de Navier-Stokes, la ecuación de aguas someras, Espectral de onda, la ecuación de Boussinesq y la ecuación de la pendiente suave. El modelo matemático más preciso es el de la ecuación de Navier-Stokes (Lin, 2008), de gran utilidad en el modelado de la interacción oleaje-estructura, pero con el gran inconveniente de requerir un elevado tiempo de cálculo, condición que restringe su aplicación a dominios grandes con discretizaciones espacio-temporales muy pequeñas; lo que lo hace poco factible para la práctica ingenieril en costa.

Los modelos numéricos basados en las ecuaciones de Boussinesq y la ecuación de la pendiente suave (Mild Slope Equation, MSE) son los más adecuados, desde el punto de vista ingenieril, para la simulación de oleaje en zonas costeras. Ambos modelos están promediados en la vertical.

La MSE considera los efectos de refracción, someramiento, reflexión y difracción combinados. Fue derivada de la teoría de flujo potencial asumiendo oleaje lineal y fondo con pendiente suave, de ahí su nombre.

Desde su derivación (Berkhoff, 1972), la MSE ha demostrado ser un modelo muy flexible y ampliamente aceptado en la ingeniería costera para la simulación de la propagación del oleaje sobre una batimetría arbitraria en dominios costeros complejos. Puede modelar la propagación de un amplio espectro de ondas (cortas y largas). Ha sido exitosamente empleado bajo distintas circunstancias: propagación de onda en puertos, rodeando rompeolas (Pos & Kilner, 1987) y estructuras flotantes (Houston, 1981), en áreas costeras abiertas (Pearce & Panchang, 1985), en regiones con vegetación marítima (Dalrymple et al., 1984), alrededor de islas (Berkhoff, 1976; Houston, 1981; Jonsson et al., 1976; Kirby & Dalrymple, 1986; Tsay & Liu, 1983), (Panchang et al., 1991), etc. De 1991 a la fecha los trabajos se han incrementado significativamente, abordando temas como lo son: interacción de oleaje regular e irregular con rompeolas permeables sumergidos (Losada et al., 1996a,b), ondas inducidas por movimiento de barcos dentro de los puertos (Ohyama & Tsuchida, 1997), transformación de onda por estructuras disipadoras (Silva et al., 2006a,b), efecto del oleaje en convertidores de energía undimotriz (Beels et al., 2010a,b), etc.

WAPO

En forma general el WAPO (Silva et al., 2003 y Silva et al., 2005). es un modelo numérico basado en la ecuación modificada de la pendiente suave (Modified Mild-Slope Equation, MMSE) que a su vez contempla una mejorada relación de la dispersión.

Disipación de energía tanto por rotura como por fricción de fondo y hace uso de la aproximación parabólica de 2.º orden como condición de frontera lateral. Mientras que, en lo numérico, para resolver el problema de valor en la frontera originado por la forma elíptica de la MMSE, el modelo emplea el método de diferencias finitas y resuelve el sistema de ecuaciones mediante un modificado método de la eliminación Gaussiana con pivoteo parcial propuesto por Maa et al. (1997).

La implementación se realiza en lenguaje Fortran, codificando un programa flexible y robusto cuyos únicos requisitos para la ejecución son un sencillo fichero de entrada y la batimetría en formato ascii (grd).

Zona de estudio

El arrecife bajo estudio se localiza en el Caribe e integra, de acuerdo con Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez, 2003, una de las 7 áreas marinas protegidas, el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos (PNAPM).

El PNAPM, se ubica en la Costa Caribe del municipio de Benito Juárez, frente al poblado de Puerto Morelos en el estado de Quintana Roo, con una superficie total de 9,066-63-11 hectáreas. Sus coordenadas geográficas extremas son: 21°00'00" y 20°48'33" latitud norte y 86°53'14.40" y 86°46'38.94" longitud oeste (Figura 2).

Respecto al oleaje de la zona, el Programa de Manejo Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, 2000 señala que durante la mayor parte del año los arrecifes del parque nacional están expuestos a olas generadas por los vientos alisios. Durante la época de nortes el conjunto de vientos N-NO y SE genera un oleaje considerable de dirección contrastante.

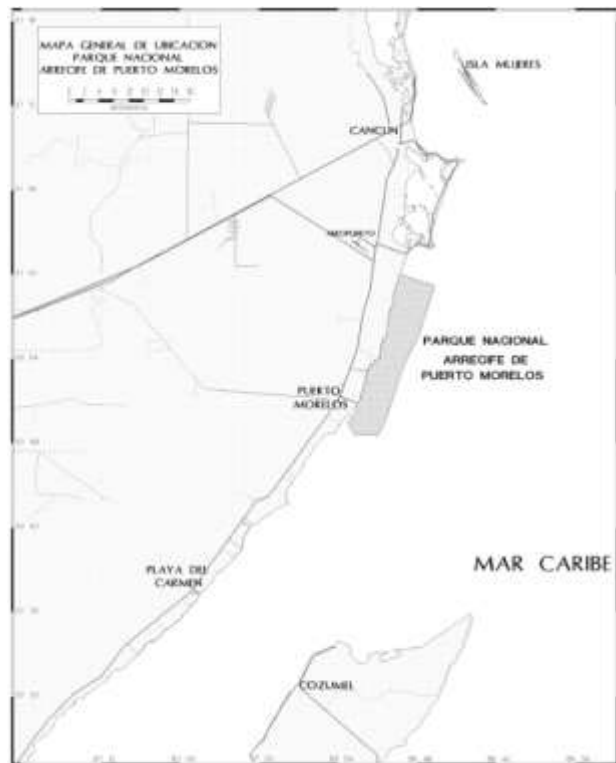


Figura 2 Ubicación del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos
Fuente: (Programa de Manejo Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, 2000)

El arrecife Limones es la primera unidad arrecifal en un orden norte-sur dentro del PNAPM y se ubica entre las cotas de 5 y 10 metros de profundidad, ver Figura 3.



Figura 3 Unidades arrecifales
Fuente: (Programa de Manejo Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, 2000)

El relieve del fondo marino que nos permite ubicar de forma precisa el arrecife Limones y su forma se obtuvo de la base de datos de CONABIO de 2016 (Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad) (Figura 4).

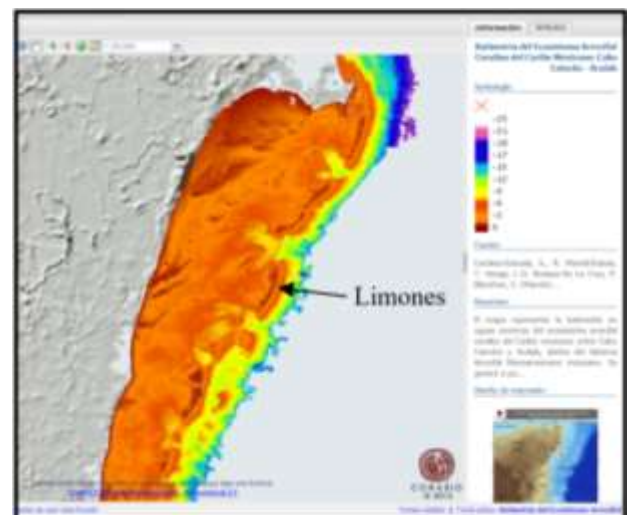


Figura 4 Batimetría del Ecosistema Arrecifal Coralino del Caribe Mexicano

Simulaciones

Las simulaciones de la interacción oleaje-arrecife se ejecutaron con ayuda del modelo numérico WAPO. El dominio se determinó de manera que nos permitió analizar completamente el arrecife y un área de afectación vecina debido a la interacción.

La Figura 5 ejemplifica la localización del dominio que contiene al arrecife Limones en una imagen satelital.



Figura 5 Imagen satelital de Google Earth con el dominio de simulación

Se tomó la forma del arrecife limones que la batimetría de CONABIO arrojó como la condición actual, y se propuso una condición de degradación (aplastamiento) de 50 cm de la cresta arrecifal para simular condición actual y degradada del arrecife, respectivamente.

Condiciones iniciales

Los datos de oleaje y viento han sido proporcionados por el Grupo de Costas y Puertos del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Los datos son el resultado de un reanálisis realizado desde 1949 hasta el año 2009. Como resultado del análisis se estimó la condición normal del oleaje en aguas profundas con las siguientes características: Altura de ola (H) de 1.1 m, amplitud (a) de 0.55 m, periodo (T) de 6.6 s y dirección de propagación (θ) de 67.5° NE (convención náutica)

Condiciones de frontera de fondo

La condición de frontera de fondo está indicada por la batimetría del dominio (elevación z). Para el estudio se tiene dos: Condición actual (Figura 6) y condición del arrecife degradado, con la cresta reducida 0.5 m.

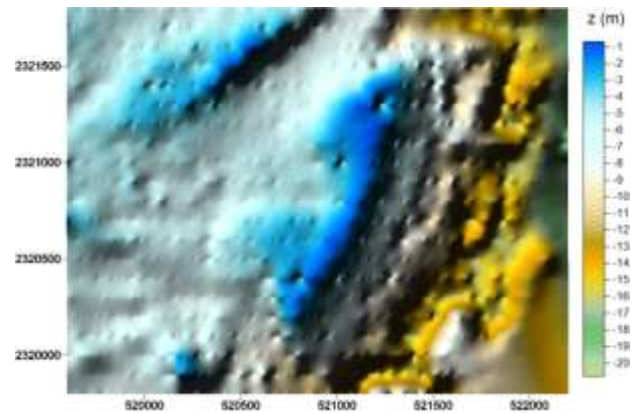


Figura 6 Batimetría del dominio de simulación, condición actual

Para la condición actual la profundidad mínima es de -0.683 m, mientras que para el arrecife degradado la profundidad mínima se estableció en -1.183 m.

Resultados

Para la condición actual la Figura 7 muestra el patrón de superficie libre, el cual nos indica claramente la transformación que el oleaje sufre al incidir con el arrecife, los fenómenos más evidentes son la difracción, reflexión y rotura, debido a este último es que se disipa la mayor cantidad de energía del oleaje reduciéndose la amplitud del oleaje transmitido en comparación con el incidente, como se aprecia en la Figura 8 con el mapa de amplitudes.

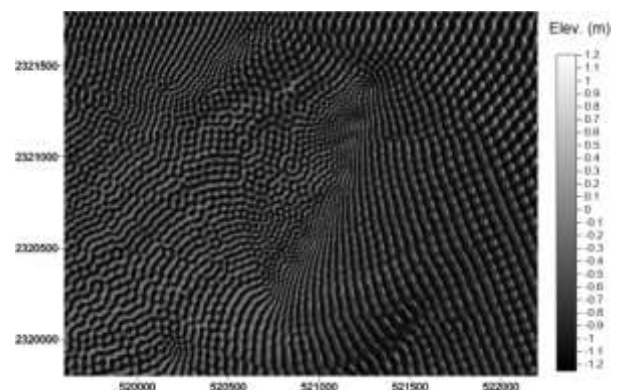


Figura 7 Mapa de superficie libre para la condición actual.

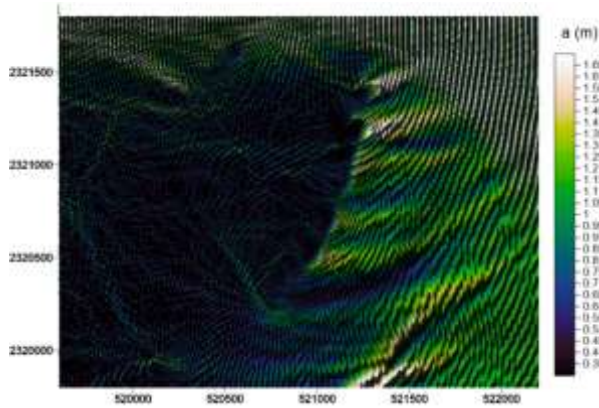


Figura 8 Mapa de amplitudes para la condición actual.

Los resultados análogos a las Figuras 7 y 8 se presentan en las Figuras 9 y 10 para la condición del arrecife degradado, con una altura reducida 0.5 m.

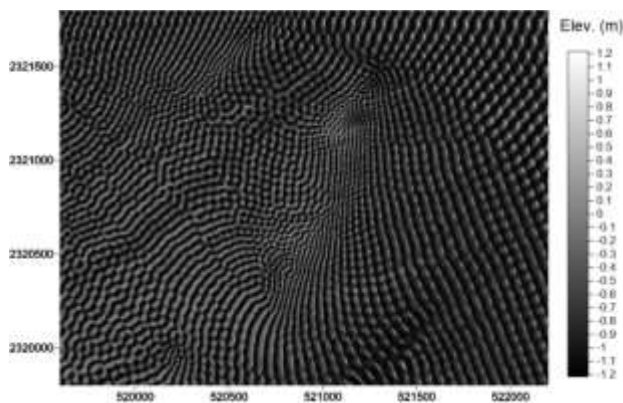


Figura 9 Mapa de superficie libre para la condición de arrecife degradado.

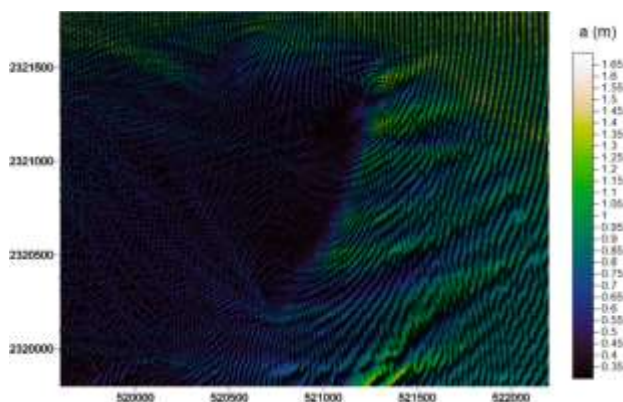


Figura 10 Mapa de amplitudes para la condición de arrecife degradado.

Después de realizar un análisis numérico. La amplitud del oleaje incidente de 0.55 m por efecto de la reflexión llegó a incrementarse hasta un valor máximo de 2.6 m para la condición actual del arrecife, mientras que para la condición del arrecife degradado solo alcanzó 1.7 m.

La comparación entre las Figuras 8 y 10 se aprecia como del lado derecho del arrecife, donde el oleaje incide, el mapa muestra amplitudes mayores para la condición actual. Este comportamiento se esperaba debido a la mayor área de obstáculo que representa el arrecife en condiciones actuales.

Al analizar el área izquierda del arrecife, zona del oleaje transmitido, con base en promedios obtenidos se tiene que para la condición actual la amplitud promedio transmitida es de 0.22 y para la condición degradada es de 0.39, con dichos valores el porcentaje de oleaje transmitido en la condición actual es del 40% $[(0.22/0.55)100]$ y para la condición degradada es del 70.9% $[(0.39/0.55)100]$.

Conclusiones

La importancia de los arrecifes como estructuras de disipación del oleaje queda de manifiesto, por lo que es necesario preservar estos organismos.

El análisis se debe mejorar incluyendo la disipación por fricción y calibrando el modelo para la relación de la rotura de la ola.

Se deben evaluar condiciones extremas que nos generen alturas de ola mayores y ángulos de incidencia distintos.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad de Guanajuato.

Referencias

Alvarez-Filip, L., N. K. Dulvy, J. A. Gill, I. M. Côté y A. R. Watkinson (2009). "Flattening of Caribbean coral reefs: region-wide declines in architectural complexity". *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 276(1669), 3019-3025.

Beels, C., Troch, P., De Backer, G., Vantorre, M. & De Rouck, J., (2010a). "Numerical implementation and sensitivity analysis of a wave energy converter in time-dependent mildslope equation model," *Coast. Eng.* 57(5),471-492.

- Beels, C., Troch, P., De Visch, K., Kofoed, J. P. & De Backer, G., (2010b). "Application of the time-dependent mild-slope equations for the simulation of wake effects in the lee of farm of Wave Dragon wave energy converters," *Renewable Energy* 35(8),1644-1661.
- Berkhoff, J. C. W., (1972). "Computation of combined refraction-diffraction," in Proc. 13th Int. Conf. Coastal Engineering (ASCE, Vancouver, Canada), Chapter 24, 471-490.
- Dalrymple, R. A., Kirby, J. T. & Hwang, P. A., (1984). "Wave diffraction due to areas of high energy dissipation," *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 110(1), 67-79.
- Houston, J. R., (1981). "Combined refraction and diffraction of short waves using the finite element method," *Applied Ocean Research* 3(4), 163-170.
- Jonsson, I. G., Skovgaard, O. & Brink-Kjaer, O. (1976). "Diffraction and refraction calculations for waves incident on an island," *J. Marine Research* 34(3), 469-496.
- Jordán-Dahlgren, Eric, y Rodríguez-Martínez, Rosa Elisa, (2003). "The Atlantic Coral Reef of Mexico". *Latin America Coral Reefs*, ISBN:978-0-444-51388-5, 151-158.
- Kirby, J. T. & Dalrymple, R. A., (1986). "Modeling waves in surfzones and around islands," *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 112(1), 78-93.
- Lin, P., (2008). *Numerical Modeling of Water Waves*, Taylor Francis Routledge, ISBN 9780415415781.
- Losada, I. J., Silva, R. & Losada, M. A., (1996a). "3-D non-breaking regular wave interaction with submerged breakwaters," *Coast. Eng.* 28(1-4),229-248.
- Losada, I. J., Silva, R. & Losada, M. A., (1996b). "Interaction of non-breaking directional random waves with submerged breakwaters," *Coast. Eng.* 28(1-4),249-268.
- Lugo-Fernández, A., H. H. Roberts y J. N. Suhayda (1998). "Wave transformations across a Caribbean fringing-barrier coral reef." *Continental Shelf Research* 18(10), 1099-1124.
- Ohyama, T. & Tsuchida, M., (1997). "Expanded mild-slope equations for the analysis of wave-induced ship motion in a harbour," *Coast. Eng.* 30(1-2), 77-103.
- Panchang, V. G. A., Pearce, B. R., Wei, G. & Cushman-Roisin, B., (1991). "Solution of the Mild-Slope wave problem by iteration," *Applied Ocean Research* 13(4), 187-199.
- Pearce, B. R. & Panchang, V. G. A., (1985). "A method for the investigation of steady state wave spectra in bays," *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 111(4), 629-644.
- Pos, J. D. & Kilner, F. A., (1987). "Breakwater gap wave diffraction: An experimental and numerical study," *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 113(1), 1-21.
- Programa de Manejo Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, (2000). Instituto Nacional de Ecología SEMARNAP. México. 1era Edición.
- Silva, R., Borthwick, A. G. L. & Taylor, R. E., (2005). "Numerical implementation of the harmonic modified mild-slope equation," *Coast. Eng.* 52(5), 391-407.
- Silva, R., Salles, P. & Govaere, G., (2003). "Extended solution for waves travelling over a rapidly changing porous bottom," *Ocean Engineering* 30(4), 437-452.
- Silva, R., Mendoza, E. & Losada, M. A., (2006a). "Modelling linear wave transformation induced by dissipative structures - Regular waves," *Ocean Engineering* 33(16), 2150-2173.
- Silva, R., Losada, M. A. & Salles, P., (2006b). "Modelling linear wave transformation induced by dissipative structures - Random waves," *Ocean Engineering* 33(16), 2174-2194.
- Tsay, T.-K. & Liu, P. L.-F., (1983). "A finite element model for wave refraction and diffraction," *Applied Ocean Research* 5(1), 30-37.

Simulación y control de la posición de un servomecanismo de corriente directa por asignación de polos

Simulation and control of the position of a direct current servomechanism by pole assignment

HERNÁNDEZ-BORJA, Carlos*†, PEREZ-GALINDO, Liliana Eloisa y HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, Leticia

Universidad Tecnológica Fidel Velázquez, Av. Emiliano Zapata S/N, El Tráfico, C.P. 54400, Villa Nicolás Romero, México

ID 1^{er} Autor: Carlos, Hernández-Borja / ORC ID: 0000-0002-8138-9016, Researcher ID Thomson: S-4792-2018

ID 2^{do} Coautor: Liliana Eloisa, Perez-Galindo / ORC ID: 0000-0001-6016-2595

ID 3^{er} Coautor: Leticia, Hernández-Ramírez / ORC ID: 0000-0002-0150-3457

Recibido: 01 de Abril, 2018; Aceptado 02 de Junio, 2018

Resumen

La asignación de polos para el control de posición de un servomecanismo, utilizando la fórmula de Ackermann, es un método que se utiliza para encontrar las ganancias de realimentación de estado K . En este trabajo se presenta un procedimiento sencillo para el diseño de control de sistemas de 2^o orden y su simulación. Si este método se aplicara de forma manual, el procedimiento de obtención de las ganancias resultaría tedioso. Para facilitar esta operación, se utilizaron una serie de comandos de Matlab (entre ellos acker) que nos sirvieron para calcular la matriz de ganancia K , para un sistema de una entrada y con una señal de control por realimentación. Posteriormente, con los valores obtenidos de K , se llevaron a cabo una serie de simulaciones numéricas ejecutadas en el Control & Simulation Loop de LabVIEW que permitió verificar el control de la posición del sistema y así como observar los diferentes tipos de respuesta; amortiguada, sobreamortiguada y subamortiguada.

Fórmula de Ackermann, Asignación de polos y Control en lazo de Realimentación de Estado

Abstract

The assignment of Poles for the position control of a servo using the Ackermann's formula, is a method used to find the K state feedback gains. This paper presents a simple procedure for the design of control systems of 2nd order and its simulation. If we apply this method manually the profit-getting procedure would be tedious. To make this operation easier, were used series of Matlab commands (including acker) to calculate the K gain matrix, for a system of one input and with a feedback control signal. Subsequently, with the values obtained from K , a series of numerical simulations were carried out in the LabVIEW Control & Simulation Loop, which allowed to verify the control of the system position and the different types of response; Cushioned, overdamped and subdamped.

Ackermann's Formula, Assignment of poles and State-Feedback Controller

Citación: HERNÁNDEZ-BORJA, Carlos, PEREZ-GALINDO, Liliana Eloisa y HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, Leticia. Simulación y control de la posición de un servomecanismo de corriente directa por asignación de polos. Revista de Simulación Computacional. 2018. 2-4: 27-35

* Correspondencia al autor (Correo Electrónico: carlos.hernandez@utfv.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Se muestra la simulación de un servomecanismo de corriente directa, controlado en posición, utilizando una técnica de diseño llamada asignación de polos. La técnica consiste en la localización de los polos de un sistema controlable, aplicando una realimentación de estado, a partir de la frecuencia natural no amortiguada y el factor de amortiguamiento.

La solución de la técnica se realiza de forma sencilla con MATLAB, mediante el comando *acker*, que facilita el cálculo de las ganancias de la matriz de realimentación *K*. El comando *acker* está basado en la fórmula de Ackermann aplicado a sistemas de una sola entrada.

Las ganancias obtenidas son utilizadas para realizar la simulación de control en posición de un servomecanismo de corriente directa. La simulación en LabVIEW se ejecuta en un Sistema Control Proporcional Derivativo (PD), durante varias ocasiones, para diferentes valores de la frecuencia natural y factor de amortiguamiento.

Objetivos

Objetivo General

Simular el control de un servomecanismo de corriente directa empleando el método de la fórmula de Ackermann.

Objetivos Específicos

- Utilizar Matlab para calcular las ganancias de realimentación de estado.
- Ejecutar la simulación en LabVIEW para el control de la posición de un servomecanismo.

Descripción del Método

Sistemas de Control en Espacio de Estado

Para nuestro estudio se supondrá un modelo correspondiente a un sistema de lazo abierto.

$$\begin{aligned} \dot{X} &= AX + BU \\ Y &= CX + DU \end{aligned} \tag{1}$$

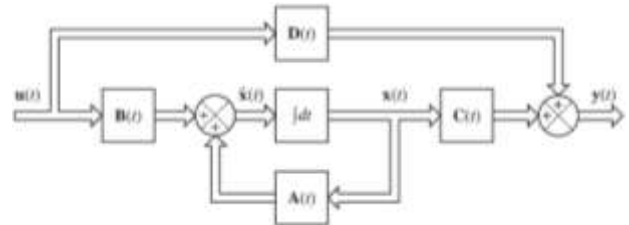


Figura 1 Sistema de Control Lineal en Tiempo Representado en el Espacio de Estados
 Fuente: Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Pearson Educación

La función de transferencia queda expresada en términos de *A*, *B*, *C* y *D*.

$$G(s) = C(sI - A)^{-1}B + D \tag{2}$$

Y se escribe como

$$G(s) = \frac{Q(s)}{|sI - A|}, \quad A \in \mathbb{R}^{n \times n} \tag{3}$$

Modelo de un Servomecanismo de Corriente Directa en Forma de Estado

El modelo de un servomecanismo definido por los parámetros *a* y *b*

$$G(s) = \frac{b}{s(s+a)} \tag{4}$$

Está dado por la ecuación diferencial

$$\ddot{y} + a\dot{y} = bu \tag{5}$$

Por ser una ecuación diferencial de segundo orden se definen 2 variables de estado

$$\begin{aligned} x_1 &= y \\ x_2 &= \dot{y} \end{aligned} \tag{6}$$

Entonces

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \dot{y} = x_2 \\ \dot{x}_2 &= \ddot{y} = -a\dot{y} + bu = -ax_2 + bu \end{aligned} \tag{7}$$

O bien

$$\begin{aligned} \dot{X} &= AX + BU \\ Y &= CX \end{aligned} \tag{8}$$

Donde

$$\begin{aligned} X &= \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -a \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ b \end{bmatrix} \\ C &= [1 \quad 0], \quad D = 0 \end{aligned} \tag{9}$$

Los valores propios de A son los polos del polinomio de $G(s)$.

$$|sI - A| = \begin{vmatrix} s & -1 \\ 0 & s + a \end{vmatrix} = s(s + a) \quad (10)$$

Por lo que el sistema es marginalmente estable

$$\begin{aligned} s &= 0 \\ s &= -a \end{aligned} \quad (11)$$

La Técnica de Diseño Para la Asignación de Polos

La técnica consiste en el diseño de un sistema de control, tal que se determinen los polos dominantes del sistema en lazo cerrado, como son el factor de amortiguamiento (ζ) y la frecuencia natural no amortiguada (ω_n). Los polos se eligen de forma arbitraria por lo que se requiere que el sistema de estado sea completamente controlable.

Para el sistema de control (1), donde

$X \in \mathbb{R}^n$, vector de estado

$Y \in \mathbb{R}$, señal de salida

$U \in \mathbb{R}$, señal de control

$A \in \mathbb{R}^{n \times n}$, matriz de coeficientes constantes

$B \in \mathbb{R}^{n \times 1}$, matriz de coeficientes constantes

$C \in \mathbb{R}^{1 \times n}$, matriz de coeficientes constantes

$D \in \mathbb{R}$, constante

Se elige la señal de control por realimentación de estado

$$U = -KX \quad (12)$$

Donde

$K \in \mathbb{R}^{1 \times n}$, matriz de ganancia de realimentación de estado

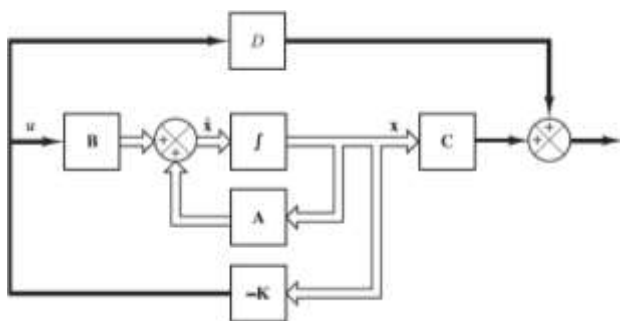


Figura 2 Sistema de control con lazo de realimentación
Fuente: Ogata, K. (2010). Ingeniería de control moderna Pearson Educación

Al sustituir la ecuación (12) en (1) se tiene

$$\begin{aligned} \dot{X} &= (A - BK)X \\ Y &= (C - DK)X \end{aligned} \quad (13)$$

La ecuación característica del sistema en lazo cerrado es

$$|sI - A + BK| = 0 \quad (14)$$

Control de un Servomecanismo de Corriente Directa en Lazo de Realimentación de Estado

Con la ley de control

$$U = -[k_1 \quad k_2] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{b}(-k_1x_1 - k_2x_2) \quad (15)$$

Y en sus variables originales

$$U = \frac{1}{b}(-k_1y - k_2\dot{y}) \quad (16)$$

Se determinan los polos del sistema en lazo cerrado, como

$$A - BK = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ bk_1 & -a + bk_2 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Entonces

$$\begin{aligned} |sI - A + BK| &= \left| \begin{bmatrix} s & -1 \\ -bk_1 & s + a - bk_2 \end{bmatrix} \right| = \\ &= s^2 + (a - bk_2)s - bk_1 = \\ &= s^2 + \alpha_1s + \alpha_2 \end{aligned} \quad (18)$$

Al sistema se le puede aplicar una realimentación de estado, para cambiar la posición de sus polos, siempre y cuando el sistema sea plenamente controlable

El cálculo de la matriz de realimentación se obtiene empleando la fórmula de Ackermann.

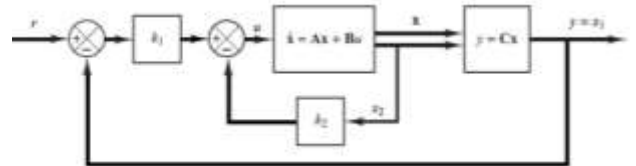


Figura 3 Servomecanismo de corriente directa en lazo de realimentación de estado

Fuente: Ogata, K. (2010). Ingeniería de control moderna. Pearson Educación

Primero se calcula la matriz de controlabilidad

$$M = [B \quad AB] \quad (20)$$

Si el sistema es controlable, se determinan los valores de los polos deseados en lazo cerrado $s = -\mu_1$ & $s = -\mu_2$

$$P(s) = (s + \mu_1)(s + \mu_2) = s^2 + \alpha_1 s + \alpha_2 \quad (21)$$

Después se calcula

$$\phi(A) = A^2 + \alpha_1 A + \alpha_2 I \quad (22)$$

Para encontrar el valor de las ganancias de realimentación del estado K

$$K = [0 \quad 1][B \quad AB]^{-1} \phi(A) =$$

$$[0 \quad 1] \begin{bmatrix} 0 & -b \\ -b & ab \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \alpha_2 & -a + \alpha_1 \\ 0 & a^2 - \alpha_1 a + \alpha_2 \end{bmatrix} =$$

$$[0 \quad 1] \begin{bmatrix} -\frac{a}{b} & -\frac{1}{b} \\ -\frac{1}{b} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_2 & -a + \alpha_1 \\ 0 & a^2 - \alpha_1 a + \alpha_2 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} \alpha_2 & -a + \alpha_1 \\ -b & -b \end{bmatrix} = [-k_1 \quad -k_2] \quad (23)$$

Simulación y Control de un Servomecanismo de Corriente Directa Mediante la Asignación de Polos.

Para las simulaciones numéricas se toman los parámetros en variables de estado:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -0.47 \end{bmatrix} \quad \& \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ -50.97 \end{bmatrix}$$

Para ejecutar la simulación, los cálculos se realizan previamente con el apoyo de Matlab, y para ello se utiliza el siguiente procedimiento:

- Se asignan los valores para el factor de amortiguamiento (ζ) y la frecuencia natural no amortiguada (ω_n).

- Se encuentra el polinomio característico

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = 0$$

- Se genera el vector con los coeficientes del polinomio

- $P = [1 \quad 2\zeta\omega_n \quad \omega_n^2]$

- Se obtienen las raíces (polos del sistema) del polinomio P , utilizando el comando *roots*

- $J = \text{roots}(P)$

- Se obtienen las ganancias de realimentación de estado k_1 y k_2 utilizando el comando *acker*

- $K = \text{acker}(A, B, J)$

- Y aplicamos las ganancias para después ejecutar la simulación en la plataforma de LabVIEW.

El resultado de la ejecución del ejercicio en la ventana de comandos de Matlab es la siguiente:

```
A = [0 1; 0 -0.47];
B = [0; -50.97];
lapsi = 1;
wn = 10;
P = [1 2*lapsi*wn wn^2];
J = roots(P);
K = acker(A, B, J)
```

K = -1.9619 -0.3832

El código anterior se ejecutó nueve veces para obtener los valores de K , para los diferentes valores dados de ζ y ω_n , como se muestran en la tabla 1.

Las simulaciones se realizan en la plataforma de LabVIEW utilizando la herramienta *Control Design & Simulation*.

El diagrama de bloques y el panel frontal a utilizar se muestran en las figuras 4 y 5.

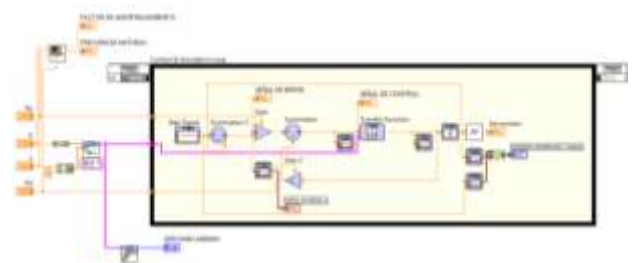


Figura 4 Diagrama de Bloques de un Controlador Proporcional Derivativo en LabVIEW

En el diagrama de bloques se construye un Sistema de Control PD.

Y en el panel frontal se establecen los valores de las ganancias proporcional (K_p) y Derivativa (K_d) obtenidas para la simulación.



Figura 5 Panel Frontal del Instrumento Virtual del Controlador Proporcional Derivativo en LabVIEW.

Las condiciones para ejecutar la simulación se configuran en el Control & Simulation Loop como se muestra en la figura 6.

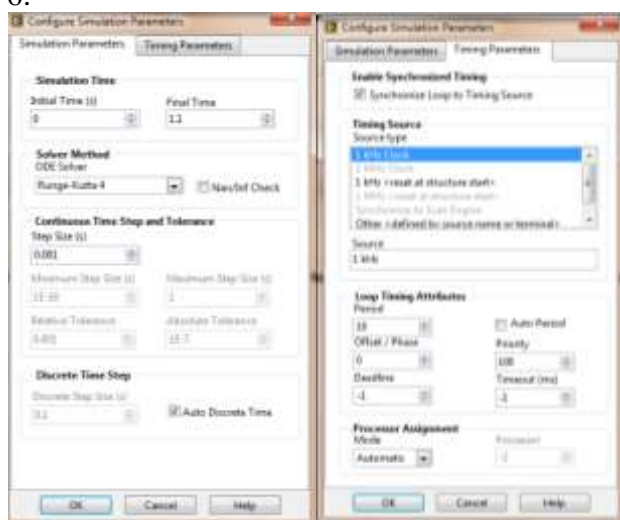


Figura 6 Condiciones de Simulación.

Resultados

Se realizaron nueve simulaciones numéricas para diferentes valores de ζ y ω_n . En la tabla 1 se muestran las ganancias obtenidas $K_p = -k_1$ y $K_d = -k_2$ utilizando la fórmula de Ackermann.

	ω_n	S_1	S_2	$-k_1$	$-k_2$
1	10	-10	-10	1.9619	0.3832
1	20	-20	-20	7.8478	0.7756
1	30	-30	-30	17.6574	1.1679
1.8	10	-32.9666	-3.0334	1.9619	0.6971
1.5	20	-52.3607	-7.6396	7.8478	1.1679
1.2	30	-55.8997	-16.1003	17.6574	1.4034
0.8	10	-8+6j	-8-6j	1.9619	0.3047
0.5	20	-10+17.3j	-10-17.3j	7.8478	0.3832
0.3	30	-9+28.61j	-9-28.61j	17.6574	0.3439

Tabla 1 Tabla de resultados usando Matlab

Para los valores de $\zeta=1$ y $\omega_n=10$, se ejecuta la simulación con los valor de $K_p = -k_1=1.9619$ y $K_d = -k_2 = 0.3832$ obtenidos. Ver figura 7.

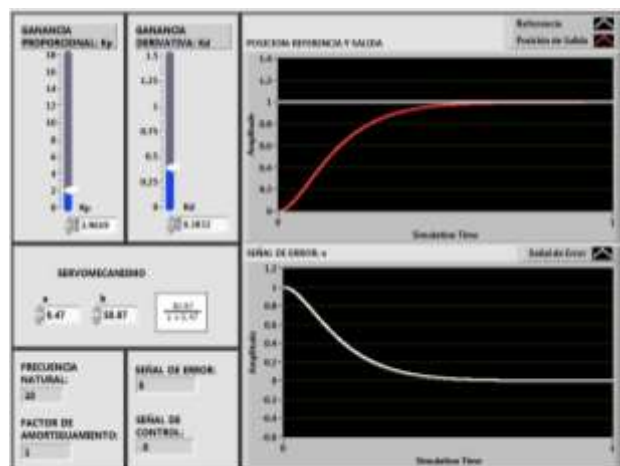


Figura 7 Respuesta amortiguada del sistema para los valores de K ingresados.

Con los valores de $\zeta=1.5$ y $\omega_n=20$, se ejecuta la simulación con los valor de $K_p = -k_1=7.8478$ y $K_d = -k_2 = 1.1679$ obtenidos. Ver figura 8.

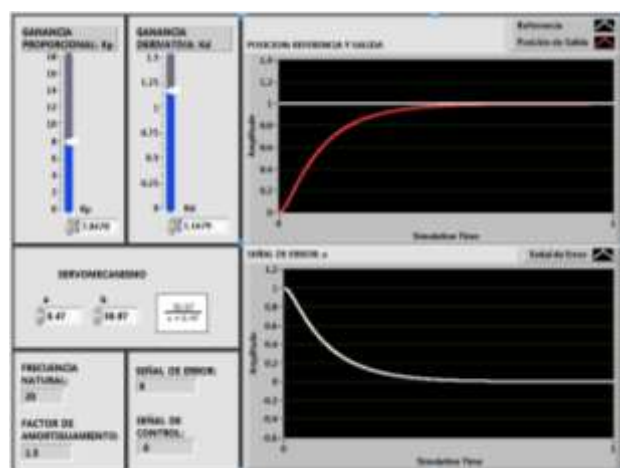


Figura 8 Respuesta sobreamortiguada del sistema para los valores de K ingresados.

Y para valores de $\zeta=0.3$ y $\omega_n=30$, se ejecuta la simulación con los valor de $K_p = -k_1=17.6574$ y $K_d = -k_2 = 0.3439$ obtenidos. Ver figura 9.

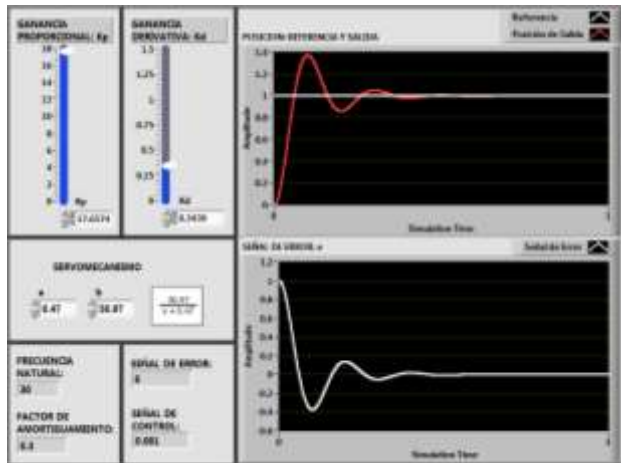


Figura 9 Respuesta subamortiguada del sistema para los valores de K ingresados.

Agradecimientos

A la División Académica de Mantenimiento Industrial y Mecatrónica de la Universidad Tecnológica Fidel Velázquez por el apoyo brindado para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Conclusiones

Con el método mostrado en este trabajo, Matlab permite obtener de forma sencilla y práctica los valores de las ganancias de realimentación de estado K ($K_p = -k_1$ & $K_d = -k_2$). Por los datos obtenidos en la tabla 1 de la sección de resultados, se tiene que si se incrementa el valor de la ω_n el valor de K_p aumenta y si se incrementa el valor del ζ el valor de K_d aumenta.

Las simulaciones numéricas mostradas en las figuras 7, 8 y 9 de este trabajo se ejecutan en LabVIEW ingresando en el panel frontal los valores de las ganancias K , obtenidas con Matlab, y dejando fijos los valores a y b que son los parámetros del servomecanismo. Se observa que para valores de $0 < \zeta < 1$ se obtiene una respuesta subamortiguada por lo que el sistema oscila y existe la presencia de sobreenlongación.

Referencias

Ogata, K. (2003). Ingeniería de control moderna. Pearson Educación.

Dorf, Richard C., Bishop, Robert H. (2005). *Sistemas de control moderno*. Pearson Educación.

Reyes Cortés, F. (2012). *MATLAB APLICADO A ROBÓTICA Y MECATRÓNICA* (No. 681.51 670.4272).

Reyes Cortés, F., & Cid Monjaraz, J. (2013). *Mecatrónica: control y automatización* (No. 621 R49 2013.).

Hans-Petter Halvorsen. (2016). Tutorial: *Control and Simulation in LabVIEW*. Recuperado de <http://home.hit.no/~hansha/documents/labview/training/Control%20and%20Simulation%20in%20LabVIEW/Control%20and%20Simulation%20in%20LabVIEW.pdf>. University College of Southeast Norway

Ronald W. Larsen. (2011). *LabVIEW for Engineers*. Pearson.

Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

[Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2^{do} Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3^{er} Coautor

Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)

International Identification of Science - Technology and Innovation

ID 1^{er} Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 2^{do} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 2^{do} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 3^{er} Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3^{er} Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Español)

Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Inglés)

Citación: Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista de Simulación Computacional. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No. 10 y Negrita]

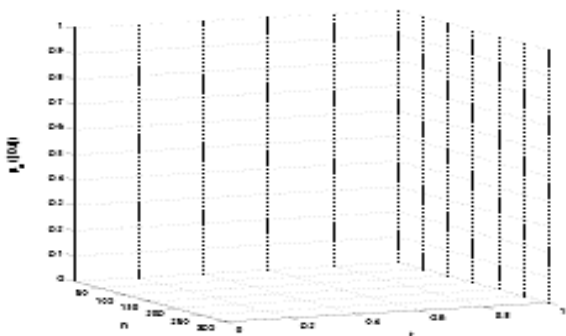


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

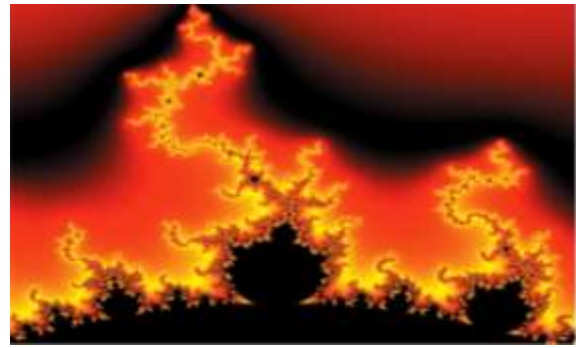


Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Cada Artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Título secuencial.

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Referencias

Utilizar sistema APA. No deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Artículo.

Utilizar Alfabeto Romano, todas las referencias que ha utilizado deben estar en el Alfabeto romano, incluso si usted ha citado un Artículo, libro en cualquiera de los idiomas oficiales de la Organización de las Naciones Unidas (Inglés, Francés, Alemán, Chino, Ruso, Portugués, Italiano, Español, Árabe), debe escribir la referencia en escritura romana y no en cualquiera de los idiomas oficiales.

Ficha Técnica

Cada Artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

Reserva a la Política Editorial

Revista de Simulación Computacional se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los Artículos a la Política Editorial del Research Journal. Una vez aceptado el Artículo en su versión final, el Research Journal enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación del Artículo.

Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Declaración de Originalidad y carácter inédito del Artículo, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución

La Dirección de ECORFAN-México, S.C reivindica a los Autores de Artículos que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes del Artículo deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia del Artículo propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título del Artículo:

- El envío de un Artículo a Revista de Simulación Computacional emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones serias para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en este Artículo ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en el Artículo, así como las teorías y los datos procedentes de otros Artículos previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Taiwan considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de este Artículo se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en el Artículo.

Copyright y Acceso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-México, S.C en su Holding Taiwan para su Revista de Simulación Computacional, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada del Artículo y la puesta a disposición del Artículo en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título del Artículo:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre Artículos enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio al Artículo el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de los Artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los Artículos que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al que hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter el Artículo a evaluación.

Responsabilidades de los Autores

Los Autores deben garantizar que sus Artículos son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Artículos definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza del Artículo presentado a arbitraje.

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

Servicios Editoriales

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Artículo con PLAGSCAN

Evaluación de Artículo

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Artículo

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Traducción

Publicación de Obra

Certificado de Obra

Facturación por Servicio de Edición

Política Editorial y Administración

244 - 2 Itzopan Calle. La Florida, Ecatepec Municipio México Estado, 55120 Código postal, MX. Tel: +52 1 55 2024 3918, +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 4640 1298; Correo electrónico: contact@ecorfan.org www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editora en Jefe

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Redactor Principal

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Asistente Editorial

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Editor Ejecutivo

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Editores de Producción

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Administración Empresarial

REYES-VILLAGO, Angélica. BsC

Control de Producción

RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

Editores Asociados

OLIVES-MALDONADO, Carlos. MsC

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD

CHIATCHOUA, Cesaire. PhD

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

CENTENO-ROA, Ramona. MsC

ZAPATA-MONTES, Nery Javier. PhD

VALLE-CORNAVACA, Ana Lorena. PhD

ALAS-SOLA, Gilberto Américo. PhD

MARTÍNEZ-HERRERA, Erick Obed. MsC

ILUNGA-MBUYAMBA, Elisée. MsC

Publicidad y Patrocinio

(ECORFAN®- Mexico- Bolivia- Spain- Ecuador- Cameroon- Colombia- El Salvador- Guatemala- Nicaragua- Peru- Paraguay- Democratic Republic of The Congo- Taiwan),sponsorships@ecorfan.org

Licencias del Sitio

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. financingprograms@ecorfan.org

Oficinas de Gestión

244 Itzopan, Ecatepec de Morelos–México.

21 Santa Lucía, CP-5220. Libertadores -Sucre–Bolivia.

38 Matacerquillas, CP-28411. Morazarzal –Madrid-España.

18 Marcial Romero, CP-241550. Avenue, Salinas I - Santa Elena-Ecuador.

1047 La Raza Avenue -Santa Ana, Cusco-Peru.

Boulevard de la Liberté, Immeuble Kassap, CP-5963. Akwa- Douala-Cameroon.

Southwest Avenue, San Sebastian – León-Nicaragua.

6593 Kinshasa 31 – Republique Démocratique du Congo.

San Quentin Avenue, R 1-17 Miralvalle - San Salvador-El Salvador.

16 Kilometro, American Highway, House Terra Alta, D7 Mixco Zona 1 -Guatemala.

105 Alberdi Rivarola Captain, CP-2060. Luque City- Paraguay.

Distrito YongHe, Zhongxin, calle 69. Taipei-Taiwán

Revista de Simulación Computacional

“Programa simulador de efectos de cambios de masa y longitud de eslabones en modelo dinámico y cinemático de brazo manipulador de 4 Gdl”

ALGARÍN-PINTO, Juan Antonio, AGUILERA-HERNÁNDEZ, Martha Isabel, ORTIZ-SALAZAR, Manuel, ORTIZ-SIMÓN, José Luis y ROJO-VELÁZQUEZ, Gustavo

Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo

“Evaluación de un sistema de compresión de biogás purificado para el sector agropecuario”

MOJICA-MESINAS, Cuitláhuac, ACOSTA-PINTOR, Dulce, VIDAL-BECERRA, Eleazar y RUEDA-CHÁVEZ, Belzabet

Instituto Tecnológico de Ciudad Valles

“Repercusión de la degradación arrecifal en la disipación del oleaje”

CHÁVEZ-CÁRDENAS, Xavier, DELGADILLO-CALZADILLA, Miguel Ángel, GALVÁN-CHÁVEZ, Arturo y MORENO-MARTÍNEZ, Jatziri Yunuén

Universidad de Guanajuato

“Simulación y control de la posición de un servomecanismo de corriente directa por asignación de polos”

HERNÁNDEZ-BORJA, Carlos, PEREZ-GALINDO, Liliana Eloisa y HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, Leticia

Universidad Tecnológica Fidel Velázquez

