



Científica

ISSN
2594-2921

Científica: The Mexican Journal of Electromechanical Engineering • Volumen 23 Número 1 • edición semestral: enero-junio 2019 • México • www.cientifica.esimez.ipn.mx



Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
«La Técnica al Servicio de la Patria»



DIRECTORIO

Guillermo
Urriolagoitia Calderón
Director

Alma Vicenta
Miranda Godínez
**Coordinadora
Editorial**

Cuauhtémoc
Jiménez Pérez
**Editor
Técnico**

Martín Luis Octavio
Vázquez Cajiga
**Página
Web**

Indizada en:

Redalyc: Red de Revistas Científicas
de América Latina y el Caribe,
España y Portugal.
www.redalyc.org

Latindex: Sistema Regional
de Información en Línea para
Revistas Científicas de América Latina,
el Caribe, España y Portugal.
www.latindex.org

Periódica:
Índice de Revistas Latinoamericanas
en Ciencias.
www.dgbiblio.unam.mx

Contenido

Producción eficiente de biogás mediante calentamiento del sustrato con energía solar térmica de baja temperatura

Efficient Production of Biogas through Heating the Substrate with Low Temperature Solar Thermal Energy

S. J. Guasumba-Codena, P. M. Tafur-Escanta, L. Tipanluisa, E. Ocaña, J. E. Pérez-Rosales | ECUADOR

03-12

Impacto de la matemática en el contexto de las ciencias con software matemático en ecuaciones diferenciales

Impact of Mathematics in the Context of Science with Mathematical Software in Differential Equations

L. Ruiz-Moreno, S. del Rivero-Jiménez | MÉXICO

13-21

Diseño de la coquilla para fundición de pistones Yuchai

Yuchai Piston Casting Mold Design

T. M. Pérez-Sajudo | CUBA

23-30

Dinámica fractal de niños con trastornos en el aprendizaje en México

Fractal Dynamics of Children with Learning Disorders in Mexico

I. Lina-Reyes, O. Morales-Matamoros,

J. J. Moreno-Escobar, T. I. Contreras-Troya | MÉXICO

31-41

Análisis comparativo de la densidad y velocidad de ignición óptimas para la combustión completa del olote perteneciente al Zea Mays L.

Comparative Analysis of the Optimum Density and Ignition Speed for the Complete Combustion of the Corn cob Belonging to the Zea Mays L.

M. S. Arroyo-López, F. M. Guerrero-Espinosa

E. R. Gutiérrez-Gualotuña | ECUADOR

43-50

Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos

Reliability Centered Maintenance Methodology (RCM) Considering Equipment Taxonomy, Data Bases and Effects Criticality

O. Campos-López, G. Tolentino-Eslava,

M. Toledo-Velázquez, R. Tolentino-Eslava | MÉXICO

51-59

El desarrollo de habilidades blandas en la formación de ingenieros

Development of Soft Skills in the Training of Engineers

M. E. Zepeda-Hurtado, E. O. Cardoso-Espinosa

C. Rey-Benguría | MÉXICO - CUBA

61-67

Modelos matemáticos de los parámetros energéticos de desempeño de gasificadores tipo downdraft mediante técnicas de regresión

Mathematical modeling of energetic performance parameters for downdraft gasifiers through regression techniques

E. R. Gutiérrez-Gualotuña, J. A. Soria-Amancha, P. M. Tafur-Escanta,

N. Rodríguez-Trujillo, Á. H. Villavicencio-Poveda, J. Arzola-Ruiz

ECUADOR - CUBA

69-81

Juan Abugaber Francis | Remembranza

83

COMITÉ EDITORIAL

Edison Bonifaz
Universidad San Francisco de Quito (ECUADOR)

Jinhui Shao
University of Shuo (JAPÓN)

Juan Alfonso Beltrán Fernández
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Ku Zilati Ku Shaari
Universiti Teknologi Petronas (MALASIA)

Luis Héctor Hernández Gómez
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Manuel Elices Calafat
Universidad Politécnica de Madrid (ESPAÑA)

María Teresa Alonso Rasgado
University of Manchester (REINO UNIDO)

Marco Ceccarelli
University of Cassino (ITALIA)

Mokhtar Awang
Universiti Teknologi Petronas (MALASIA)

Rômulo Maziero
Universidade Federal de Minas Gerais (BRASIL)

Silvia González Prolongo
Universidad Rey Juan Carlos (ESPAÑA)

EDITORES ASOCIADOS

Apolinar Reinoso Hernández
Centro de Investigación y de Estudios
Superiores de Ensenada
(MÉXICO)

Baltasar Mena Inesta
Universidad Nacional Autónoma de México
(MÉXICO)

Édgar Sánchez Sinencio
Texas A&M University College Station
(ESTADOS UNIDOS)

Francisco Sánchez Sesma
Universidad Nacional Autónoma de México
(MÉXICO)

Garret Sautis
University of Sheffield
(REINO UNIDO)

Hidilberto Jardón Aguilar
Centro de Investigaciones
y Estudios Avanzados (MÉXICO)

Israel Saucedo Meza
Universidad de Baja California
(MÉXICO)

Joaquín Fernández Valdivia
Universidad de Sevilla
(ESPAÑA)

José de Jesús Álvarez Ramírez
Universidad Autónoma Metropolitana
(MÉXICO)

José Luis del Río Correa
Universidad Autónoma Metropolitana
(MÉXICO)

Manuel A. Duarte Marmoud
Universidad de Chile (CHILE)

Michael Shapiro Fihman
Centro de Investigaciones
y Estudios Avanzados (MÉXICO)

Miguel Ángel Rodríguez Díaz
Instituto de Física de Cantabria
(ESPAÑA)

Miguel Castro Fernández
Centro de Investigación y Pruebas
Electromagnéticas de Cuba (CUBA)

Pablo Rogelio Hernández Rodríguez
Centro de Investigaciones
y Estudios Avanzados (MÉXICO)

Rafael Castro Linares
Centro de Investigaciones
y Estudios Avanzados (MÉXICO)

Régulo López Callejas
Instituto Nacional de
Investigaciones Nucleares (MÉXICO)

Valery Kontorovich
Centro de Investigaciones
y Estudios Avanzados (MÉXICO)

Víctor Champac Vilela
Instituto Nacional de Astrofísica,
Óptica y Electrónica (MÉXICO)

Victor Kravchenko
Moscow Institute of Physics
and Technology (FEDERACIÓN RUSA)

Vladislav Kravchenko
Centro de Investigaciones
y Estudios Avanzados
Querétaro (MÉXICO)

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

VOLUMEN 23, NÚMERO 1,
ENERO-JUNIO 2019

LA REVISTA MEXICANA
DE INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA

THE MEXICAN JOURNAL OF
ELECTROMECHANICAL
ENGINEERING

Científica

ISSN 1665-0654 [VERSIÓN IMPRESA]
ISSN 2594-2921 [VERSIÓN WEB]

Científica, Volumen 23, Número 1, enero-junio de 2019, es una revista semestral editada por el Instituto Politécnico Nacional a través de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Av. Luis Enrique Erro S/N, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Col. Zacatenco, Delegación Gustavo A. Madero, C.P. 07738, Ciudad de México, Tel. +52 55 5729 6000 ext. 54518, www.cientifica.esimez.ipn.mx, revistacientificpn@yahoo.com.mx. Editor responsable: Guillermo Urriolagoitia Calderón.

[Versión impresa: **ISSN 1665-0654**, Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-112516365800-102, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor, Licitud de Título No. 10962, Licitud de Contenido No. 7611, otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Este número se terminó de imprimir el 15 de enero de 2019. Tiraje: 200 ejemplares]

[Versión web: **ISSN 2594-2921**, Reserva de Derechos al Uso Exclusivo 04-2018-021313432600-203].

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Esta es una obra intelectual protegida por la Ley Federal del Derecho de Autor, puede ser reproducida con fines no lucrativos, siempre y cuando se cite la fuente completa; su uso para otros fines, requiere autorización previa y por escrito de la Dirección General del Instituto Politécnico Nacional.

EDITORIAL

Científica, en este primer semestre del volumen 23, publica artículos de investigación que cubren las disciplinas que le competen y le invita a consultar los artículos y números completos en línea en su página electrónica www.cientifica.esimez.ipn.mx.

En el primer artículo se presenta un proyecto de investigación que tiene la finalidad de mejorar la producción de biogás mediante el calentamiento del sustrato, con energía solar térmica de baja temperatura inferior a los 100°C. Esta nueva alternativa para producir biogás puede ser útil en los sectores agrícolas y ganaderos para la obtención de biocombustible.

El segundo trabajo tiene la finalidad de describir el impacto de trabajar con la fase didáctica de la teoría de la Matemática en el Contexto de las Ciencias y con el uso de un software matemático, al realizar una investigación cuyo objetivo fue evaluar el desarrollo de habilidades operacionales de estudiantes de ingeniería, al resolver eventos contextualizados de la transformada de Laplace en el contexto de los circuitos eléctricos. Se aplicaron dos encuestas de opinión cuyos resultados indican que trabajar con una matemática contextualizada y con el uso de software les ayuda a los estudiantes, entre otras cosas, a entender mejor los procedimientos en matemáticas y ser más eficientes y eficaces para resolver problemas.

Cuba a través de sus años de revolución ha cruzado por una economía abierta y dependiente de sus relaciones económicas externas, no estando exonerada de los impactos de la crisis que se han manifestado en la inestabilidad de los precios de los productos que intercambia. Debido a esto y como parte de la reorganización de la industria metalmecánica, la fundición de pistones que estuvo enclavada en el Cerro-La Habana, pasó a Pinar de Río a la entidad llamada Empresa Integral de Servicios Automotores (EISA), quien asume el reto de continuar la fundición de este importante elemento de máquina, para lo cual debía dotarse de las herramientas necesarias. Esto se muestra en el tercer artículo de este fascículo.

En el siguiente trabajo se caracteriza la dinámica de fluctuaciones de series de tiempo de niños con trastornos de aprendizaje en México, específicamente con problemas de lecto-escritura, aplicando la geometría fractal y la teoría del crecimiento de interfaces rugosas. En este trabajo se halló que el comportamiento de niños evaluados con problemas de lecto-escritura, es semejante al escalamiento dinámico de Family-Vicsek para la cinética de rugosidad de una interface en movimiento. Por consiguiente, sería posible emplear las herramientas de la teoría de la rugosidad cinética para caracterizar y modelar las fluctuaciones de series de tiempo de procesos cognitivos que emergen del cerebro humano.

El quinto artículo presenta modelos matemáticos de los indicadores físicos que caracterizan el desempeño del material combustible estudiado, para la determinación de los parámetros óptimos de fabricación del olote del *Zea Mays L.* para su uso posterior como combustible.

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es una metodología ampliamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento de equipos industriales basándose en asegurar las funciones del equipo para la satisfacción del usuario o propietario. Actualmente existen varias metodologías de RCM, sin embargo la esencia de esta metodología está contenida en la norma SAE JA1011. Se presenta y analiza de forma breve un caso de aplicación de la metodología propuesta.

El séptimo artículo propone estrategias de enseñanza aprendizaje aplicables en el aula que propician la formación de alumnos del área de formación físico matemáticas, en concreto de las ingenierías, no exclusivo de ellas. Una vez que se identifican dentro de los perfiles de egreso de carreras de ingeniería se proponen estrategias didácticas que las promueven: lectura y el aprendizaje basado en problemas.

Se realizan en el último trabajo publicado, estudios bibliográficos de los trabajos de investigaciones previos, vinculados al modelado matemático de instalaciones energéticas por las diferentes técnicas reflejada en la literatura especializada. Se realiza un plan experimental 3N con tres réplicas, a partir del cual se elaboran, utilizando técnicas de linealización de modelos, cuatro modelos de regresión no lineales correspondientes a respectivos indicadores de desempeño, con satisfactorios resultados de su evaluación a partir de los coeficientes de regresión y errores estándar utilizando tres tipos de biomasa. Se describe la instalación experimental y el sistema de adquisición de datos desarrollados.

Finalmente, los integrantes del Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada (LABINTHAP) LABINTHAP hacen un reconocimiento a un miembro importante de nuestra comunidad, M. en C. Juan Abugaber Francis, a quien recordamos con afecto y no le decimos adiós, sino ¡hasta luego!

Producción eficiente de biogás mediante calentamiento del sustrato con energía solar térmica de baja temperatura

Segundo José Guasumba-Codena^{1a}

Paúl Michael Tafur-Escanta^{1b}

Luis Tipanluisa²

Edwin Ocaña³

José Emilio Pérez-Rosales^{1c}

^{1a}Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"

^{1b}Grupo de Investigación en Energías Renovables

^{1b}Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

^{1c}Laboratorio de Mecánica de Materiales

CP 171103

ECUADOR

²Escuela Superior Politécnica de Chimborazo "ESPOCH"

Escuela de Ingeniería Automotriz, Facultad de Mecánica, 060155

ECUADOR

³Universidad Tecnológica Indoamérica

Facultad de Ingenierías de la Información y Comunicación

Carrera de Ingeniería Industrial, 170103

ECUADOR

correos electrónicos (email): sjguasumb@espe.edu.ec

pmtafur@espe.edu.ec, luis.tipanluisa@epoch.edu.ec

edwin.ocana@uti.edu.ec, jeperez@espe.edu.ec

Recibido 02-07-2018, aceptado 09-10-2018.

Resumen

Este proyecto de investigación tiene la finalidad de mejorar la producción de biogás mediante el calentamiento del sustrato (lodo), con energía solar térmica de baja temperatura inferior a los 100°C. Para calentar una masa biodegradable de 693 kg, compuesta por estiércol de vacuno, *pennisetum clandestinum*, urea y agua, se utilizaron 6 colectores planos (CSP) con potencia térmica total de 6000 W, orientados al sur y ángulo de inclinación de 20° en una región de latitud -0.3°. El agua caliente sanitaria (ACS) ingresa a la región anular del digestor a una temperatura promedio de 35°C logrando mantener la fermentación anaeróbica durante el día y la noche a una temperatura cercana a los 26°C, dentro del rango mesofílico. El equipo utilizado para el ensayo es un digestor de cilindros concéntricos construido en acero al

carbono. El sustrato y el gasómetro se localizan en la parte interna del recipiente y el agua caliente circula por la pared anular del tanque que se encuentra aislado por el exterior para reducir las pérdidas térmicas al ambiente. Por otra parte, para determinar de manera indirecta la producción eficiente de biogás, se utiliza una variable física: la presión interna del recipiente que contiene el gas generado. En el transcurso de 30 días de retención hidráulica (TRH), se logra un incremento en la presión interna de 4.8 PSI/día, en forma lineal. Esta nueva alternativa para producir biogás puede ser útil en los sectores agrícolas y ganaderos para la obtención de biocombustible.

Palabras clave: biogás, sustrato, calefacción solar, fermentación anaeróbica, espacio anular.

Abstract

(Efficient Production of Biogas through Heating the Substrate with Low Temperature Solar Thermal Energy)

This research project aims to improve the production of biogas by heating the substrate (mud), with solar energy from low temperature lower than 100°C. To heat a biodegradable mass of 693 kg composed of cow dung, *pennisetum clandestinum*, urea and water, 6 are used. Flat collectors (CSP) with 6000 W of thermal power, oriented with 20° of inclination in south direction in a region of latitude -0.3°. Domestic hot water (DHW) enters the annular region of the digester at an average temperature of 35°C achieving maintain an aerobic fermentation during the day and night at a temperature close to 26°C, within the mesophilic range. The equipment used for the test is a digester of concentric cylinders built in carbon steel, where the substrate and the gasometer are located on the inside and hot water circulates through the annular walls of the tank which is isolated with rock wool to reduce losses to the environment. On the other hand, to determine indirectly the efficient production of biogas, a physical variable is used: the internal pressure of the container that contains the gas generated. In the course of 30 days of hydraulic retention (TRH), an increase in the internal pressure of 4.8 PSI/day is achieved, in a linear way. This new alternative to produce biogas can be useful in the agricultural sectors and live stock farmers to obtain biofuels.

Index terms: biogas, subtract, solar heating, anaerobic fermentation, annular space.

1. Introducción

El sol es el origen y sostén de la vida sobre el planeta. Los vegetales mediante la fotosíntesis captan la energía solar y lo transforman en energía química elaborando moléculas orgánicas para lo cual necesitan absorber CO_2 atmosférico [1]. La eficiencia de la fotosíntesis es baja, tiene un valor menor al 5%. Por lo que se necesitan 88 kWh de horas de sol pico, para producir 1 kg de glucosa $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Esta biomasa producida puede ser aprovechada de manera directa por combustión, tomando en cuenta que para quemarla se necesita realizar el pre secado en campo que se puede realizar con energía solar, en esta etapa se retira el agua libre y mediante un secado artificial en hornos, se extrae parte del agua higroscópica. El contenido de humedad final (XW_p) en el combustible sólido debe ser inferior al 15%, con el propósito de reducir las emisiones del CO .

Por otra parte, para mejorar los procesos de conversión de la energía existen instalaciones de cogeneración a partir de biomasa [2], para lo cual se pueden utilizar cultivos energéticos, residuos forestales y agrícolas. Otra posibilidad de aprovechamiento de la biomasa es por combustión indirecta, como es el caso del mosto de uva, por acción de levaduras, sus azúcares se transforman en alcohol, que a su vez puede usarse como fuente energética. Además, entre los procesos termoquímicos se encuentra la pirólisis donde la biomasa sólida, se somete a altas temperaturas cercanas a los 600°C , para obtener carbón vegetal, gas de síntesis y combustibles líquidos. Además, en los procesos biológicos, de conversión de la biomasa se utilizan ciertos organismos que se alimentan de esta materia prima (sustrato) y en sus procesos metabólicos descomponen las moléculas más simples pero de alto poder calorífico.

Para producir los biocombustibles de primera generación, se han utilizado, el maíz, caña de azúcar, sorgo, aceites vegetales y animales, con lo que se obtienen combustibles líquidos [3]. En los últimos años se están utilizando tierras de cultivos agrícolas que son poco rentables, para plantaciones de cultivos energéticos con especies herbáceas o leñosas como alternativa a los cereales extensivos [4]. Se puede obtener energía de la biomasa a partir de residuos orgánicos, aguas servidas, basura, residuos agrícolas y forestales, utilizando procesos de conversión biológica para obtener etanol, biodiesel, o biogás [5], siempre y cuando se cuente con las tecnologías adecuadas de transformación de los recursos disponibles poniendo especial interés en la seguridad alimentaria, ambiental y económica de una región o del país.

En la conversión biológica para la obtención de combustibles gaseosos se encuentra la fermentación anaeróbica, conocida

tradicionalmente como digestión que se realiza en ausencia de oxígeno [6]. Para la obtención del biogás se deben cumplir tres etapas tróficas, en las cuales participan un grupo de bacterias específicas, en la hidrólisis las bacterias hidrolíticas que degradan el sustrato, ya sean hidratos de carbono, lípidos y proteínas, en ácidos grasos, polisacáridos, productos neutros, posteriormente en la acidogénesis de las que se encargan las bacterias cetogénicas y homoacetogénicas, se produce ácido acético, H_2 y CO_2 partiendo del sustrato (lodo) hidrolizado. Para finalizar las bacterias metanogénicas transforman el CO_2 , el H_2 , y el ácido acético en metano (CH_4). Para la obtención de biogás de manera tradicional se han utilizado los digestores chino e hindú, que se construyen con mampostería de ladrillo. En este tipo de instalaciones el tiempo de retención hidráulico (TRH), y biológico (TRB), pueden ser muy prolongados. Por otra parte, debido a la porosidad de las paredes de los digestores y al nivel freático, se puede filtrar el agua hacia el interior, aumentando la cantidad de humedad del sustrato. Además, se presentan fugas por los ductos de alimentación de la materia prima. Por lo tanto, el uso de esta tecnología tradicional ya no es adecuado.

Existen otros tipos de digestores que sirven para procesos continuos o discontinuos en los cuales se añaden al sustrato catalizadores o ciertos tipos de bacterias para acelerar el proceso de fermentación, pero en la mayoría de casos pueden ser costosos. En la presente investigación se utiliza un método alternativo para producir biogás con mejores características energéticas y menor tiempo de fermentación, utilizando la energía solar de baja temperatura con captadores planos, para calentamiento de agua (ACS), que mantiene el sustrato a una temperatura constante de 26°C , durante el día y la noche.

Es importante dar a conocer la contribución de la biomasa en el contexto energético mundial. Este recurso renovable aporta con aproximadamente el 14.6%, distribuidos de la siguiente manera, en los países industrializados el aporte en el consumo energético total es del 2.8%, mientras que en los países en vías de desarrollo alcanza el 37.8 % del consumo energético total [7]. Además, según estimaciones del banco mundial, la biomasa es en la actualidad la principal fuente de energía de unos 2250 millones de personas por lo que es necesario seguir mejorando y optimizando los procesos de conversión energética de estos recursos para mejorar la calidad de vida y el entorno natural.

La biomasa en el mundo tiene un papel muy básico en mantener el entorno, de forma que es importante no solo las ventajas en el uso de la bioenergía, sino también los posibles efectos destructores locales y globales debido a la interferencia humana y tecnológica en estos procesos naturales [8]. En el

mediano y largo plazo la bioenergía aplicada en la generación de vapor pasaría de tener un rendimiento del 20% hasta un 40%, de acuerdo a lo que se explica en [9].

Entre las características de la materia prima para elaborar el sustrato se encuentra el contenido de celulosa del pasto [10] que tiene un porcentaje máximo de 32.8%. Dependiendo de la temperatura en la cual se desarrolle la digestión [11] aparecen unas especies bacterianas u otras, por lo que existen tres rangos de trabajo; psicofílico (<25°C), mesofílico de (25 y 45°C), y el termofílico (>45°C). Para preparar mezclas de estiércol de vacuno con vegetales se debe triturar la biomasa vegetal [12], esto permitiría obtener un sustrato con menores espacios intersticiales. Además de la temperatura, el incremento de la actividad bacteriana benéfica está relacionado con el incremento de materia orgánica [13]. Es decir, la materia orgánica es vital como fuente de alimento y refugio de los microorganismos. Para finalizar, existe un estudio donde se determina la factibilidad de integración entre la energía solar térmica y el proceso de digestión anaeróbica (DA). Con este propósito se realiza en [14] un modelo de simulación de un digestor (V=70 L) acoplado con un nuevo diseño de calentador solar térmico desarrollado con el programa TRNSYS. Sin embargo, en el presente proyecto se realiza el estudio experimental del proceso de fermentación anaeróbica de una carga de sustrato compuesta por estiércol de vacuno y pasto (*pennisetum clandestinum*), con calefacción solar utilizando colectores planos.

2. Fundamentos teóricos

2.1. Biomasa

Para caracterizar las materias primas bioproductoras de metano y sus rendimientos en biogás es necesario cuantificarlas por la cantidad de masa seca (M_s), y para el análisis estequiométrico de acuerdo con el contenido de celulosa. En el primer caso la masa seca del estiércol de vacuno y del pasto (*pennisetum clandestinum*), se determinan en función de su masa húmeda (M_h) y el contenido de humedad inicial (XW_i)

$$M_s = M_h \frac{100 - XW_i}{100} \quad (1)$$

Considerando los requerimientos de la ecuación (1), la humedad inicial del estiércol de vacuno que se recoge en el establo es del 79 %, y del pasto recién cortado del 67 %, valores que son característicos de cada biomasa [15]. En lo referente a la producción total de biogás y metano (CH_4), por kg de masa seca, el estiércol de vacuno produce 0.24 m^3/kg y 0.19 m^3/kg respectivamente, y los pastos 0.5 m^3/kg de biogás, y 0.42 m^3/kg de metano [16].

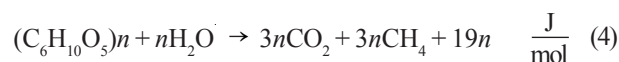
Por otra parte, si se requiere mejorar la producción de biogás y aumentar sus rendimientos de forma convencional, se deben evitar fluctuaciones térmicas en el interior y exterior del sustrato, mantener baja presión interna sobre el lecho bacteriano para no afectar su crecimiento por aplastamiento, controlar los niveles de pH entre 6.5 y 7.5, la relación carbono/nitrógeno (C/N) de 25/1 a 30/1, y usar catalizadores para reducir los tiempos de fermentación de la materia orgánica hidrolizada. Además, en el proceso previo a la preparación del sustrato, se debe tener en cuenta el tamaño de las partículas, especialmente de las hierbas y hojas secas, que deben ser trituradas para obtener harina vegetal, mediante el secado y molienda. Un material orgánico de gran tamaño puede aumentar considerablemente los tiempos de degradación del sustrato, y reducir la producción de biogás. En el secado del pasto se debe remover una cantidad de agua (ΔW), que se calcula con la siguiente función:

$$\Delta W = M_s \left[\frac{XW_i}{100 - XW_i} - \frac{XW_f}{100 - XW_f} \right] \quad (2)$$

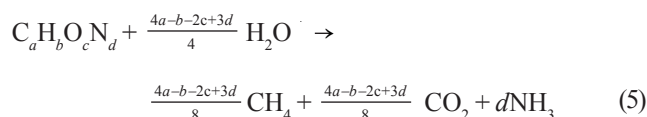
Donde: XW_i contenido de humedad inicial de la materia prima vegetal que viene del campo, en %; XW_f contenido de humedad final, en % luego del secado. Para el último término de la ecuación (2), se recomienda que el $XW_f = 12\%$, de acuerdo con lo indicado por Ortega [1]. A continuación, se necesita conocer la cantidad efectiva de *pennisetum clandestinum* a mezclar con el estiércol de vacuno, para lo cual es de utilidad reemplazar el valor de la relación (C/N) de cada componente en la expresión:

$$\frac{C}{N} = \frac{\%C_e M_e + \%C_p M_p}{\%N_e M_e + \%N_p M_p} \quad (3)$$

De allí que, el porcentaje de carbono en el estiércol $\%C_e = 32\%$, y del pasto $\%C_p = 41\%$. El porcentaje de nitrógeno del estiércol $\%N_e = 1.5\%$, y del *pennisetum clandestinum* $\%N_p = 1\%$. Estos datos corresponden a la caracterización físico-química de desechos existentes en el medio rural [10]. Después de realizar el balance de masas secas de estiércol (M_e) y pasto (M_p) es necesario estimar la cantidad de agua que hay que añadir en la mezcla para formar el lodo (sustrato), por lo que se pueden aplicar dos criterios. En el primero el lodo debe tener un contenido de humedad [1] superior al 85%. Y en el segundo caso, al considerar la celulosa ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) como componente principal de la biomasa, se puede calcular la cantidad de agua y los productos de la reacción, con la expresión dada para la fermentación anaeróbica [6]:



donde, n es el número de moles de celulosa y el término $19n$ es la cantidad de calor generado por la transformación bioquímica, por acción de los microorganismos. En la ecuación (4), se observa que por cada n moles de celulosa, hay que añadir n moles de agua. Además, si se requiere cuantificar el biogás que se produce en la fermentación anaeróbica de materiales orgánicos de rápida degradación, se puede utilizar el criterio de Zubkov y Burkill, el cual se complementa con la teoría de Tchobanoglous [17], donde se propone el modelo estequiométrico para la obtener la cantidad de metano (CH_4) generado a partir de la expresión empírica $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d$, obteniéndose una reacción típica definida por la ecuación:



Con la masa de los elementos constitutivos y la masa atómica, se calcula el número de moles de cada componente. En el siguiente paso se determinan los coeficientes a , b , c , d , considerando despreciable el número de moles de azufre, y tomando como menor valor para la división, el número de moles de nitrógeno. A continuación se halla el valor adimensional del metano, mediante la relación entre el contenido de metano y de la sustancia a degradar. La masa final de CH_4 es el producto entre masa seca, el contenido de metano y un factor de seguridad de 0.85. Con el procedimiento propuesto por Tchobanoglous [17], y utilizando la ecuación (5), para los residuos de poda se obtiene se obtiene una producción teórica de metano de 14.73 m^3 . Y con lo sugerido en la Bioconversión de la Energía [16] se obtiene 13.86 m^3 . Finalmente, La producción total de biogás en una carga es de 28.74 m^3 , masa de 34.48 kg equivalente 2.3 cilindros de gas (propano) de uso doméstico (véase Tabla 1).

2.2. Estudio del recurso solar

Para reducir el tiempo de retención hidráulico (TRH), y el tiempo de retención biológico (TRB), se utilizó la energía solar térmica para obtener agua caliente sanitaria (ACS), que se suministró por la región anular del digestor que contiene en la parte central el lecho de sustrato hidrolizado. La tecnología de calentamiento de agua consiste en el uso de colectores planos orientados al sur, con ángulo de inclinación de 20° . En

el dimensionamiento de colectores se consideró el Código Técnico de la Edificación (CTE) capítulo H_4 , el cual indica lo siguiente: $60 < M/A < 100 \text{ L/m}^2\text{d}$.

Donde: M volumen que calienta el sistema, A área de captación de la energía solar. Un parámetro importante de esta investigación es la determinación del recurso solar local para el mes peor sobre superficie inclinada, la misma que se encuentra con la ecuación ISF [18] dada por la función:

$$G_{dm}(\beta) = A_0 G_{dm}(0) + B_0 (G_{dm}(0))^2 \quad (6)$$

$G_{dm}(0)$ irradiación solar sobre superficie horizontal en kWh/m^2 día, este parámetro puede ser tomado del mapa de radiación solar local, de los anuarios meteorológicos, datos de satélite (NASA), (GOES), Isocad, o mediante la medición con instrumentos llamados piranómetros para radiación global, directa y difusa del cielo. En la ecuación (6), el coeficiente A_0 , depende de la inclinación del colector, y del coeficiente de reflectividad del suelo (ρ). Para el pavimento, este valor es de 0.4, el coeficiente B_0 depende de la latitud del emplazamiento, la inclinación del panel y del mes del año. Encontrado $G_{dm}(\beta)$, para el mes peor, y al dividir para la media mundial de la irradiancia $I_m = 1000 \text{ (W/m}^2\text{)}$, se obtienen las horas de sol pico (HSP).

Conocido (HSP), se puede encontrar la potencia térmica necesaria para el calentamiento del agua y del sustrato, con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{M_a}{\text{HSP}} c \Delta T \quad (7)$$

Donde: P extracción de energía por unidad de tiempo, en W ; M_a masa de agua, en kg ; ΔT diferencia de temperatura entre la suministrada por la red y la temperatura de proceso, en $^\circ\text{C}$; c capacidad calorífica del agua, en $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$. Por otra parte, con la expresión desarrollada por Hotel-Whillier y Bliss, se puede calcular la ganancia de energía instantánea por unidad de tiempo y unidad de área de los colectores planos [19]:

$$Q = F_R [E k \tau \alpha - U_L (T_1 - T_2)] \quad (8)$$

Donde: Q ganancia de energía instantánea por unidad de tiempo y unidad de área, en W ; F_R factor de remoción del calor; E irradiancia sobre el plano del colector, en W/m^2 ; k factor de

Tabla 1. Componentes químicos de los residuos de poda [17].

Componentes	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre	Ceniza
%	47.8	6.0	38.0	3.4	47.8	2-6
Masa atómica	12.011	1.0079	15.999	14.007	32.065	

sombra y suciedad; τ , transmitancia de la cubierta de vidrio; α , absortancia del captador, U_L coeficiente global de transferencia de calor, en $\text{W/m}^2\text{K}$; T_1 y T_2 son las temperaturas de entrada y salida del agua en el colector solar plano, en $^{\circ}\text{C}$.

Por lo que, la cantidad de calor necesario para calentar el sustrato (lodo hidrolizado) está dado por:

$$Q_N = Q_u + Q_p \quad (9)$$

$$Q_u = \frac{M_s C_p (T_{s2} - T_{s1})}{\text{HSP}} \quad (10)$$

Donde: M_s masa del sustrato, en kg; C_p capacidad calorífica del lodo, en $\text{kJ/kg } ^{\circ}\text{C}$; T_{s2} y T_{s1} temperatura inicial y final del sustrato, en $^{\circ}\text{C}$. La ecuación (10) tiene como base la expresión (7), añadiendo en el denominador el aporte solar en HSP. Además, el calor perdido por las paredes del digestor anaeróbico (Q_p) se calcula con la ley de Fourier:

$$Q_p = U_0 A_p (T_i - T_0) \quad (11)$$

Dónde: U_0 es el coeficiente global de transferencia de calor [20], para flujo de calor de agua que fluye y gas que fluye tiene un valor de 10 a $50 \text{ W/m}^2\text{K}$. A_p área de pared vertical del digestor, en m^2 ; T_i temperatura del agua en la región anular del digestor, en $^{\circ}\text{C}$; T_0 temperatura ambiente, en $^{\circ}\text{C}$.

2.3. Fracción solar

El método de las curvas f es uno de los más utilizados para hacer cálculos de las prestaciones en los sistemas de calentamiento de agua con energía solar térmica de baja temperatura inferior a 100°C . Se desarrolló en la Universidad de Wisconsin [21].

Definición del método. Siendo f , la fracción solar (porcentaje de la demanda que cubre el sol), se utiliza una función del tipo:

$$f = f(X, Y) \quad (12)$$

Para este caso se tiene las siguientes variables de diseño: área de captación, capacidad de almacenamiento, caudales de fluido, prestaciones de intercambiadores, en este caso de tipo tubular. Los tipos de sistemas que pueden evaluarse con el método son:

- Calefacción, y agua caliente sanitaria (ACS), donde el sistema de captación es de líquido o de aire.
- Producción de ACS solo, tanto con sistema de captación por líquido o aire.

Los parámetros adimensionales utilizados por el método son:

$$X = \frac{\text{pérdidas del captador}}{\text{demanda}} = \frac{A_c F'_R U_L (T_{ref} - T_a) \Delta t}{Lo} \quad (13)$$

$$X = \frac{\text{energía absorbida}}{\text{demanda}} = \frac{A_c F'_R (\tau\alpha) H_r}{Lo} \quad (14)$$

Donde: A_c área de captación, en m^2 ; F'_R factor captador-intercambiador; U_L coeficiente global de pérdidas del captador solar, en $\text{W/m}^2\text{K}$; Δt tiempo total del mes, en s; T_a temperatura ambiente media mensual, en $^{\circ}\text{C}$; Lo demanda mensual de energía, en J; H_r radiación diaria media mensual sobre captadores, en J/m^2 ; N número de días del mes; $(\tau\alpha)$ media mensual del producto $\tau\alpha$; T_{ref} temperatura de referencia se toma de 100°C .

Para calcular el factor captador-intercambiador se utiliza la expresión:

$$\frac{F'_R}{F_R} = \left[1 + \left[\frac{A_c F'_R U_L}{(mC_p)_c} \right] \left[\frac{(mC_p)_c}{\varepsilon(mC_p)_{min}} - 1 \right] \right]^{-1} \quad (15)$$

Sistemas con líquido. Cuando el fluido de transferencia y almacenamiento es un líquido, que en este caso es el agua. La expresión que da la cobertura solar en función de los parámetros definidos es:

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3 \quad (16)$$

Cuando la capacidad de almacenamiento no es de 75 L/m^2 , debe modificarse el parámetro X , antes de utilizar la correlación:

$$\frac{X_c}{X} = \left[\frac{V/A_c}{75} \right]^{-0.25}$$

3. Diseño experimental

El equipo de fermentación anaeróbica con calefacción solar tiene las siguientes características técnicas:

- Volumen máximo del sustrato 700 litros,
- Volumen de ACS 277 litros,
- Inclinación de colectores planos: 20° hacia el sur,
- Número de colectores: 6,
- Presión biogás: 80 PSI,
- Temperatura del sustrato: 26°C ,
- Rango mesofílico se logra con la temperatura del fluido de proceso de 25 a 45°C .

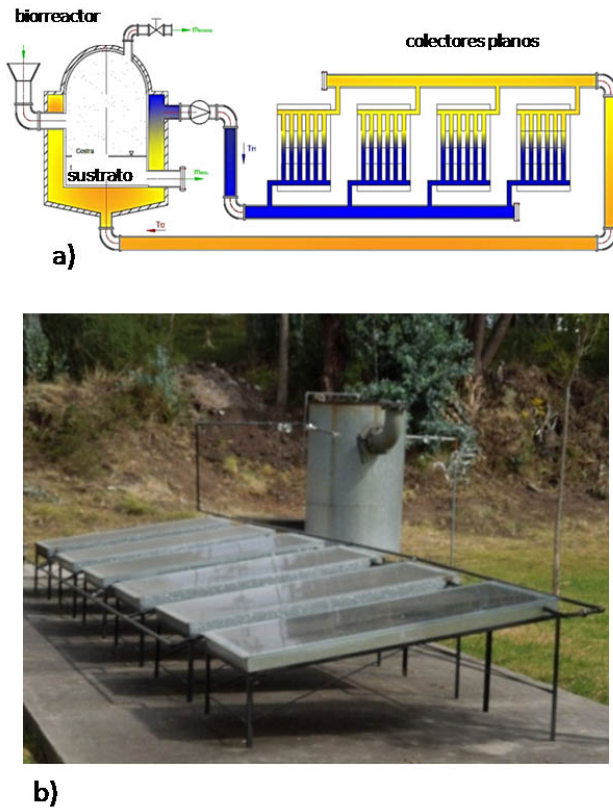


Fig. 1. Digestor con calentamiento del sustrato con energía solar.

3.1. Equipo utilizado

En la instalación solar térmica para calentamiento del sustrato con energía solar, el fluido caliente (ACS) se suministra por la parte inferior del recipiente, hacia la región anular del digestor (véase Fig. 1a), con el fin de producir flujo constante de calor por convección natural. El tanque de acumulación que contiene el sustrato y el gas tiene una capacidad de 0.5 m³ (véase Fig. 1b).

En la Fig. 2 se presenta un corte de los cilindros concéntricos, con el propósito de desarrollar el procedimiento para encontrar los coeficientes U_i , U_o de transferencia de calor hacia el sustrato y la pérdida de energía térmica hacia el exterior del recipiente. Estos coeficientes se establecen a partir de Pitts [22], y se estructuran para el modelo de transferencia de calor en el digestor anaeróbico con calefacción solar.

$$U_i = \frac{1}{\frac{r_1}{r_i h_s} + \frac{r_1 \ln(r_1/r_i)}{k_a} + \frac{r_1}{(r_2 - r_1)h_0}} \quad (17)$$

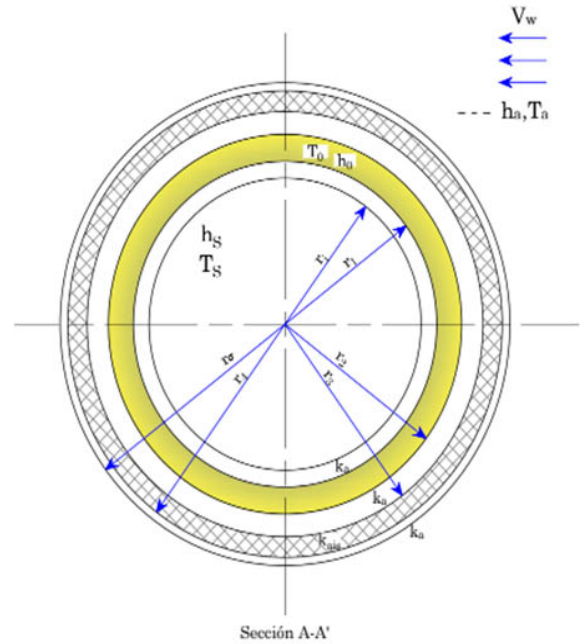


Fig. 2. Paredes compuestas del digestor de cilindros concéntricos con calefacción solar.

$$U_o = \frac{1}{\frac{r_0}{(r_2 - r_1)h_0} + \frac{r_0 \ln(r_3/r_2)}{k_a} + \frac{r_0 \ln(r_4/r_3)}{k_{ais}} + \frac{r_0 \ln(r_0/r_4)}{k_a} + \frac{1}{h_e}} \quad (18)$$

Donde: h_s coeficiente de convección para el sustrato, en W/m²K; k_a conductividad térmica del acero, en W/mK; k_{ais} conductividad térmica de la lana de roca; en W/mK; h_e coeficiente de convección externo. También, se pueden encontrar los coeficientes de transferencia de calor para varias aplicaciones de acuerdo con Beek y Muttzal [20]. Para agua y otros líquidos $U_i = 200-1000$ W/m²K, y $U_o = 10-50$ W/m²K. U_o se reemplaza en la ecuación (11) descrita anteriormente.

Por otra parte, para analizar el campo de colectores se parte de los conceptos energéticos definidos en [19] y [23] para el balance de energía y las propiedades ópticas de los materiales. El modelo se observa en la Fig. 3.

El campo de colectores planos de la Fig. 1 puede suministrar con energía solar (gratuita y no contaminante) una potencia térmica máxima de 6 kW, suficientes para mantener la carga de sustrato de 693 kg, a una temperatura promedio de 26°C. Si el digestor se calienta con resistencias eléctricas, se tendría un



Tabla 3. Parámetros energéticos del proceso de fermentación anaeróbica.

Parámetros energéticos en media diaria mensual	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
Temperatura ambiente, T_a (°C)	22.95	19.71	20.27	20.98
Velocidad del viento, V_w (m/s)	0.62	0.43	0.33	0.46
Irradiancia solar, I (W/m ²)	523.73	453.79	497.79	491.77
Humedad relativa, HR (%)	49.35	63.53	56.36	56.41
Temperatura del agua de red, T_{RE} (°C)	19.00	19.00	19.00	19.00
Temperatura inferior del digestor, T_{FB} (°C)	12.06	10.73	9.78	10.86
Temperatura del sustrato, T_S (°C)	26.19	25.41	25.76	25.79
Temperatura de ingreso a colectores, T_1 (°C)	25.56	22.66	22.55	23.59
Temperatura de salida de colectores, T_2 (°C)	33.99	33.35	33.72	33.69
Presión interna del digestor, P_B (PSI)	44.89	84.71	56.35	61.98
Albedo de la hierba, I_a (W/m ²)	89.37	77.47	88.27	85.04
Horas de sol pico, HSP	3.88	3.63	3.73	3.75

salto térmico en el (ACS) por el aumento de la radiación solar que puede sobrepasar los 1000 W/m² en el verano. La población bacteriana es muy sensible a los cambios bruscos de temperatura que inhibe su crecimiento e incluso muere a temperaturas sobre los 48°C.

Para determinar las bondades del proceso de fermentación anaeróbica con calefacción solar del sustrato a 26°C, se tienen algunos aspectos importantes entre los cuales se puede indicar los siguientes: En los recipientes sin aporte térmico, se logra una presión interna del biogás de 18 (PSI) en 20 días, mientras que de acuerdo con la Fig. 4, esta presión se supera en solo 5

días después de haber realizado la carga, con lo que se puede afirmar que la actividad bacteriana es más representativa al utilizar (ACS). Otro aspecto está relacionado con la rapidez de producción de gas, en el primer caso se obtiene biogás a los 60 días de fermentación, y en el digestor con camisa de agua caliente sanitaria se produce biogás en solo 12 días con una composición de (CH₄) del 23.8% y (CO₂) del 75.03%. Por otra parte, es necesario indicar que en la investigación preliminar de este proyecto se utilizaron 10 recipientes cilíndricos para cargar mezclas de estiércol de vacuno y pasto, de los cuales solo en 4 digestores produjeron biogás y en los 6 restantes no se produjo actividad bacteriana, consiguiendo una efectividad tan solo del 40%, debido a los cambios bruscos de temperatura ambiental y a la ausencia de suministro de calor a los tanques. Posteriormente al realizar las cargas en el nuevo digestor con calentamiento indirecto mediante energía solar se puede alcanzar una efectividad del 100%.

A continuación, en la Fig. 5 y Fig. 6, se presentan los perfiles de temperatura del (ACS), sustrato y del ambiente correspondientes al digestor y colectores planos.

La temperatura del sustrato tiende a mantenerse en 26°C, durante la fermentación de la materia orgánica, debido al aporte térmico solar y a la generación de calor producido por los microorganismos. La

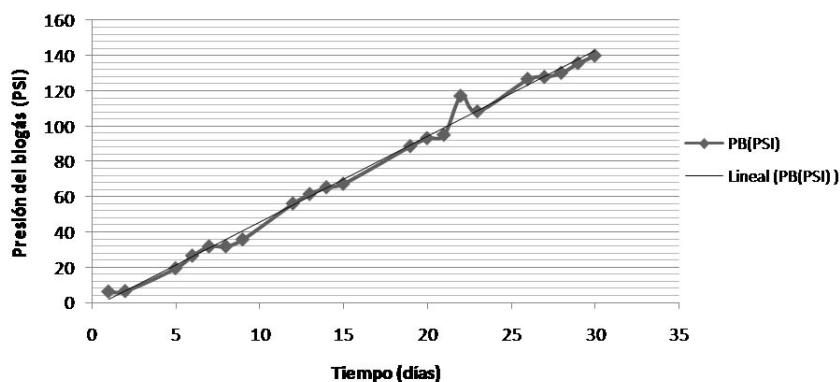


Fig. 4. Incremento constante de la presión interna del digestor, en 30 días de fermentación se alcanza 142.7 PSI; donde la ecuación de tendencia es $P = 4.8538t - 2.9114$ con $R^2 = 0.9928$.

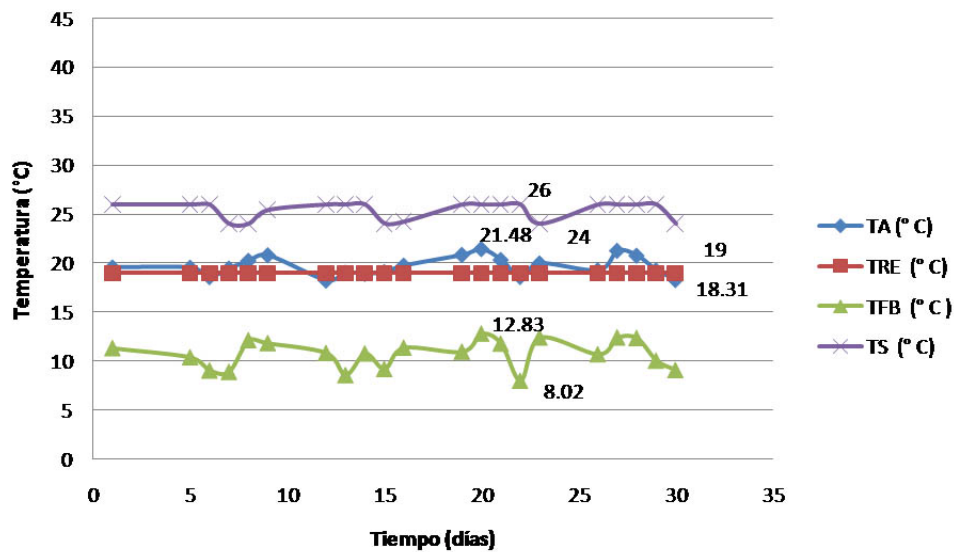


Fig. 5. Temperatura del sustrato, BIOL.

temperatura de suministro del agua (TRE), se mantiene constante en un valor 19°C.

El agua caliente que suministra el campo de colectores planos, llega al digestor a una temperatura promedio de 35°C, a lo largo del intervalo de tiempo (días) de retención de la biomasa.

5. Conclusiones

Existen varios aspectos que son relevantes en este proceso de fermentación anaeróbica, entre ellos la relación C/N que

debe estar en el intervalo de 25/1 a 30/1, el tipo de biomasa vegetal y su tamaño para mejorar la producción de biogás, la elaboración de las mezclas para obtener un lodo con contenido de humedad superior al 85%, el nivel de pH entre 6.5 y 7.5, la temperatura de permanencia del sustrato de 26°C, lograda durante las 24 horas con el aporte solar. Sin este medio de calentamiento, la temperatura del sustrato bajaría a 8°C, afectando totalmente la producción bacteriana. Por otra parte, una característica importante para saber de manera indirecta la bondad del proceso fue el incremento diario de la presión interna del recipiente en el orden de 4.8 PSI/día.

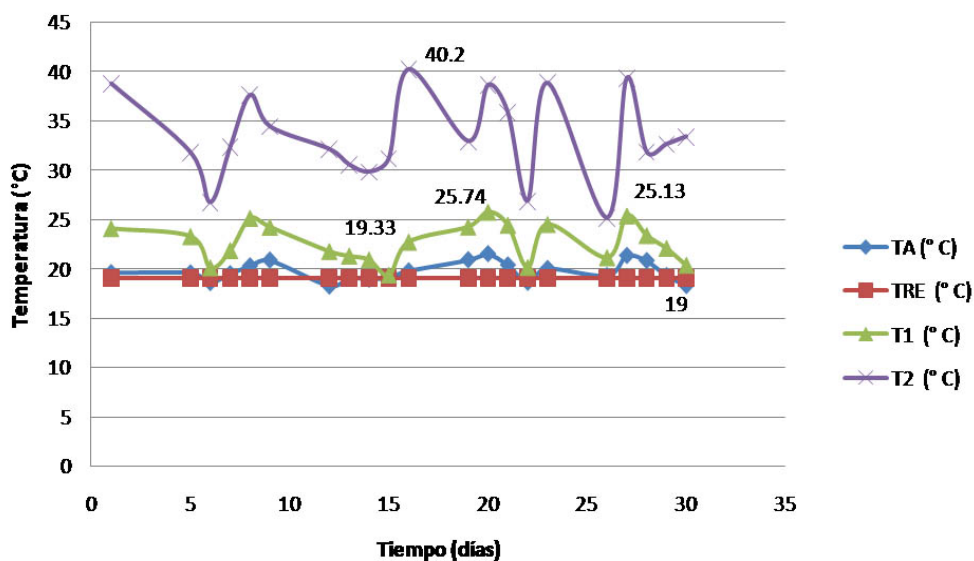


Fig. 6. Temperatura T1, T2 de entrada y salida del agua calientes sanitaria (ACS).

En la etapa previa al desarrollo del digestor con calefacción solar, se realizaron ensayos de fermentación anaeróbica utilizando mezclas combinadas de estiércol de vacuno y pasto. Los tanques no tenían calefacción, es decir estaban expuestos a la intemperie y sometidos a los cambios de temperatura ambiente en el intervalo de 22°C a 11°C. En lo referente a la presión del biogás en el cilindro con mejor proceso de degradación del sustrato se consiguió 18 (PSI) en 20 días. En el transcurso de 60 días solo 4 digestores produjeron biogás y en los 6 restantes no se produjo ninguna actividad bacteriana, consiguiendo una efectividad tan solo del 40%.

Partiendo de los escasos resultados obtenidos en los 10 recipientes cilíndricos, y con el propósito de mejorar el proceso de producción de biogás se procedió al desarrollo e implementación del digestor anaeróbico calentado con energía solar, logrando en solo 12 días de fermentación un biogás con composición química de (CH₄) del 23.8% y (CO₂) del 75.03%.

Agradecimientos

Este trabajo de investigación sobre las aplicaciones de energía solar para mejorar la producción de biogás, se realizó con la cooperación técnica del Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE de Ecuador, y del Centro de Investigaciones Energéticas Tecnológicas y Ambientales CITECNIA CORP., Instituciones a las cuales los autores expresan su profundo agradecimiento. Además, no podemos olvidar al selecto grupo de profesionales que apoyaron esta noble causa, para ellos nuestro sentimiento de infinita gratitud.

Referencias

- [1] M. Ortega Mario, *Energías renovables*, Madrid, España: Paraninfo, 2000.
- [2] A. Madrid, *Energías renovables*, Madrid, España: AMV Ediciones, 2009.
- [3] B. Linscott, *Renewable Energy*, 5a ed., Oklahoma, USA: Tate Publishing Enterprises, 2011.
- [4] J. Gonzáles-Velasco, *Energías renovables*, Barcelona, España: Reverté, 2009.
- [5] R. A. Hinricgs, M. Kleinbach, *Energy, Its Use and the Environment*, 4a. ed., Belmont, CA, USA: Thomson, 2006.
- [6] B. Sorensen, *Renewable Energy*, 4a. ed., Burlington, USA: Elsevier, 2011.
- [7] J. M. de-Juana, *Energía renovables*, Madrid, España: Thomson-Paraninfo, 2003.
- [8] G. G. García, *Energías del siglo XXI*, Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa, 2008.
- [9] J. Fanchi, *Energy, Technology and Directions to the Future*, Burlington, USA: Elsevier, 2004.
- [10] H. J. Correa, M. L. Pavón, J. E. Carulla, "Valor nutricional del pasto kikuyo (*PennisetumClandestinum*) para la producción de leche en Colombia: I-composición química y digestibilidad ruminal y posruminal," *Livestock Research for Rural Development*, vol. 20, núm. 4, 2008.
- [11] D. Cendales, S. Rincón, *Producción de biogás mediante la codigestión de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bobino*, Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- [12] J. F. Herrán, R. Serrato-Flores, A. Armenta-Bojórquez, "Propiedades microbiológicas de compostas maduras producidas a partir de diferente materia orgánica, Ra Ximhai," *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, vol. 6, núm. 1, 2010.
- [13] L. J. Sikora, D.E. Stott, "Soil organic carbon and nitrogen," In: *Methods for assessing soil quality, SSSA Special Publication 49*, USA: Soil Science Society of America, pp.157-167, 1996,
- [14] B. Ouhammou, M. Aggour, A. Frimane, "Feasibility study of integrating solar energy into anaerobic digester reactor for improved performances using TRNSYS Simulation: application Kenitra Morocco," *4th International Conference on Energy and Environment Research, ICEER 2017*, Porto, Portugal, Energy Procedia 13, pp. 402-407, 2017.
- [15] Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas, *Cómo construir un digestor*, Lima, Perú: ITINTEC, 1983.
- [16] J. Vega, F. Castillo, J. Cárdenas, *La bioconversión de la energía*, Madrid, España: Pirámide, 1983.
- [17] G. Tchobanoglous, F. Kreith, *Handbook of solid waste management*, 2a. ed., USA: McGrawHill, 2002.
- [18] Ingeniería sin Fronteras (ISF), *Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo*, Madrid, España: IEPALA, 1999.
- [19] J. I. B. Wilson, *La energía solar*, Madrid, España: Alhambra, 1982.
- [20] F. Kreith, *Principios de transferencia de calor*, 6a. ed., México: Thomson, 2001.
- [21] J. Duffie, *Solar Engineering Thermal Processes*, 3a. ed., New Jersey, USA: Jhon Wiley, 2013.
- [22] D. R. Pitts, *Transferencia de calor*, Bogotá: McGraw-Hill, 1980.
- [23] R. Almanza, *Ingeniería de la energía solar*, México: El Colegio Nacional, 1994.
- [24] F. Vega, R. Rodríguez, L. Cumbal, J. Guasumba, *Sistema de Biodegradación Acelerada para la Reutilización de Desechos Vegetales*, Ecuador: Centro de Investigación Científica y Tecnológica del Ejército-Ecuador, 2006.

Impacto de la matemática en el contexto de las ciencias con software matemático en ecuaciones diferenciales

Leonsio **Ruiz-Moreno**
Socorro **del Rivero-Jiménez**

Instituto Tecnológico Superior de Cajeme
Departamento de Ciencias Básicas
Carretera Internacional a Nogales km 2 s/n
CP 85024, Cd. Obregón, Sonora.
MÉXICO

Tel + (52) (644) 410 86 50
correos electrónicos (email):
lrui@itesca.edu.mx
sriv@itesca.edu.mx

Recibido 13-06-2018, aceptado 26-10-2018.

Resumen

Este trabajo tiene la finalidad de describir el impacto de trabajar con la fase didáctica de la teoría de la Matemática en el Contexto de las Ciencias y con el uso de un software matemático, al realizar una investigación cuyo objetivo fue evaluar el desarrollo de habilidades operacionales de estudiantes de ingeniería, al resolver eventos contextualizados de la transformada de Laplace en el contexto de los circuitos eléctricos. Se aplicaron dos encuestas de opinión cuyos resultados indican que trabajar con una matemática contextualizada y con el uso de software les ayuda a los estudiantes, entre otras cosas, a entender mejor los procedimientos en matemáticas y ser más eficientes y eficaces para resolver problemas.

Palabras clave: tecnologías de la información y comunicación, software matemático, enseñanza tradicional, matemáticas en el contexto de las ciencias, estrategia didáctica.

Abstract

(Impact of Mathematics in the Context of Science with Mathematical Software in Differential Equations)

This work has the purpose of describing the impact of working with the didactic phase of the theory of mathematics in the

context of science and with the use of mathematical software when conducting a research whose objective was to evaluate the development of operational skills of engineering students, by solving contextualized events of the Laplace transform in electrical circuits. The results indicate that working with a contextualized mathematics and with the use of software helps students among other things to better understand the procedures in mathematics and be more efficient and effective in solving problems.

Index terms: information and communication technologies, mathematical software, traditional education, mathematics in the context of sciences, teaching strategy.

1. Introducción

El presente trabajo forma parte de una investigación que se llevó a cabo en el Instituto Tecnológico Superior de Cajeme (ITESCA) que se encuentra ubicado en Ciudad Obregón, Sonora, México: el cual tuvo por objetivo evaluar el desarrollo de habilidades operacionales de estudiantes de ingeniería al resolver eventos contextualizados de la transformada de Laplace en el contexto de los circuitos eléctricos, al implementar actividades didácticas con el uso de un software matemático y la fase didáctica de la teoría denominada la Matemática en el Contexto de las Ciencias (MCC). La investigación fue de tipo comparativo entre dos grupos de alumnos uno, control y otro experimental, donde se diseñaron e implementaron, de acuerdo con la teoría de la MCC, eventos contextualizados que ambos grupos resolvieron: el grupo control de manera tradicional y el grupo experimental con estrategias didácticas con uso de software matemático. Los resultados indican que el uso de software matemático para prerequisites favorece el desarrollo de las habilidades operacionales en conceptos nuevos para resolver eventos de la transformada de Laplace en el contexto de los circuitos eléctricos; los cuales se pueden consultar en [1]. De manera adicional se aplicaron al grupo experimental dos encuestas de opinión las cuales se presentan en este trabajo, que tuvieron por objetivo medir el impacto: una de trabajar con la fase didáctica de la teoría de la MCC y la otra referente a trabajar con el uso de software matemático. En ambas encuestas se miden aspectos importantes que inciden en el aprendizaje de las matemáticas.

1.1. La Matemática en el Contexto de las Ciencias

Un hecho conocido por la mayoría de las personas que están involucradas en la educación, es la problemática existente en el aprendizaje de las matemáticas en cualquier nivel educativo. Para el caso del nivel superior y en especial para las carreras del área de ingeniería, la matemática es considerada como una herramienta de utilidad con el fin de que el estudiante pueda hacer uso de ella para dar solución a problemas prácticos relacionados con su área de estudio, sin embargo, este fin u objetivo queda muy corto de lograrse como lo afirma Camarena [2]:

Teóricamente se estipula que la matemática en la ingeniería es una herramienta para las ciencias que las conforman. En atención a ello, los currícula exigen un cierto conocimiento en este terreno y presenta un contenido matemático que no está acorde a lo que se busca. Con relación a la enseñanza y la forma como se muestran los conceptos, las matemáticas se encuentran lejos de ser un instrumento y soporte para la ingeniería, sin olvidar el carácter formativo que ésta ofrece.

Un autor importante que ha contribuido en la solución de esta problemática a nivel superior es Patricia Camarena Gallardo, creadora de la Teoría denominada la Matemática en el Contexto de las Ciencias (MCC), la cual nace en 1982 en el Instituto Politécnico Nacional de México y reflexiona acerca de la relación que debe existir entre la matemática y las diferentes ciencias que la requieran. La teoría contempla cinco fases: la curricular (desde 1984), la didáctica (desde 1987), la epistemológica (desde 1988), la docente (desde 1990) y la cognitiva (desde 1992). En el salón de clases están presentes los contenidos de las cinco fases y estas interactúan entre sí en un ambiente social, económico y político; es decir, los cinco elementos no están aislados unos de los otros y tampoco son ajenos a las condiciones sociológicas de los actores del proceso educativo [15] (véase Fig. 1).

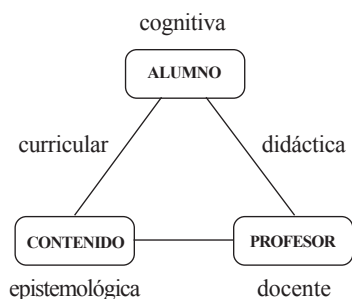


Fig. 1. Una terna dorada en la educación [2].

En especial la fase didáctica contempla un proceso metodológico para el desarrollo de las competencias profesionales, referidas a la resolución de eventos contextualizados. Incluye tres etapas: a) Presentar la estrategia didáctica de la matemática en contexto en el ambiente de aprendizaje; b) Implantar cursos extracurriculares en donde se lleven a cabo habilidades del pensamiento, habilidades metacognitivas y habilidades para aplicar heurísticas al resolver problemas, así como actividades para bloquear creencias negativas; c) Implementar un taller integral e interdisciplinario en los últimos semestres de los estudios de los alumnos, en donde se resuelvan eventos reales de la industria [3].

En la primera etapa se aplica una estrategia didáctica que tiene como objetivo lograr que el alumno adquiera y desarrolle habilidades para resolver problemas contextualizados, referentes a la vida real y a su profesión de estudio. Esta estrategia didáctica es denominada la Matemática en Contexto, la cual contempla nueve etapas, en las cuales, para su implementación el maestro debe seleccionar equipos formados por tres estudiantes con una característica especial, uno de ellos deberá ser el líder académico, otro el líder emocional y el tercero líder operativo.

Etapas de la matemática en contexto [3, p.6]

1. Identificar los eventos contextualizados.
2. Plantear el evento contextualizado.
3. Determinar las variables y las constantes del evento.
4. Incluir los temas y conceptos matemáticos necesarios para el desarrollo del modelo matemático y solución del evento.
5. Determinar el modelo matemático.
6. Dar la solución matemática del evento.
7. Determinar la solución requerida por el evento.
8. Interpretar la solución en términos del evento y disciplinas del contexto.
9. Presentar una matemática descontextualizada.

Con esta forma de trabajar con problemas de interés real para el alumno, se pasa de un proceso de enseñanza-aprendizaje centrado en la enseñanza a uno centrado en el aprendizaje, con lo cual se incrementa el factor motivacional generando a su vez condiciones para que el aprendizaje sea significativo, en la concepción de Ausubel [4].

Existen algunos investigadores que han trabajado en relación a esta teoría, entre ellos se puede mencionar a Muro [5], Olazábal [6], Trejo [7], De Pavia [8], Sauza [9], Alvarado [10], Rojas [11], Accostupa [12], Neira [13], Camarena y Flores [14], Camarena [2], [15], [16], quienes han mostrado bajo investigaciones que trabajar con una matemática contextualizada genera condiciones que mejoran el factor motivacional en el alumno y aprendizajes más significativos.

1.2. Las tecnologías de la información y comunicación en la educación superior

La rápida evolución de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) han hecho necesaria la incorporación de herramientas tecnológicas como la computadora en el ámbito educativo, la cual sirve como un apoyo en el proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que mediante ella se pueden diseñar estrategias didácticas que pueden ser detonadores para la motivación y el aprendizaje de los estudiantes. Solomon [17], presenta una explicación acerca de los beneficios de la computadora en la educación: la computadora tiene varias formas de introducirse en el proceso de enseñanza-aprendizaje, 1) como apoyo para las tareas que a diario se les pueden presentar a maestros y estudiantes, 2) como un tutor mecánico mediante el uso de programas educativos matemáticos, 3) en un contexto de mediación psicosocial intencionado, que se puede convertir progresivamente, en sí misma, en mediadora educativa, más allá del aprendizaje de los contenidos que proporciona la índole del programa utilizado.

En el caso del nivel superior las herramientas más comunes son las plataformas tecnológicas como la plataforma Moodle donde se favorece el intercambio de información y de participación entre los alumnos y el maestro; por ejemplo por medio de mensajería el alumno puede contactar al maestro para resolver dudas, enviar archivos para su corrección, puede mediante foros intercambiar ideas con otros estudiantes y el mismo maestro, etcétera.

Para el caso específico de las carreras del área de ingeniería y de manera concreta en las materias de matemáticas cada vez es más común el incorporar el uso de software matemático como GeoGebra, Derive, Maple, Matlab, Mathematica que, además de servir como auxiliares en los cálculos, permiten el desarrollo de procesos cognitivos [18].

El uso de las TIC en la enseñanza y aprendizaje rompe con el paradigma tradicional de enseñanza en el aula donde la parte activa la representa el maestro y la parte pasiva el alumno; este como mero receptor del conocimiento. Existen diversos estudios de investigación que han mostrado la ineficacia de la enseñanza tradicional ya que el conocimiento no es transferible de persona a persona, sino que este debe construirse. Al respecto Alanís [19], comenta que existen investigaciones que han mostrado que la enseñanza en forma tradicional, la cual supone una transferencia simple del conocimiento del profesor al alumno ha fracasado, debido que genera en el alumno un aprendizaje a corto plazo, es decir no significativo, en la concepción de Ausubel [4]. Algunas opiniones sobre el impacto que han tenido las TIC en la enseñanza son las siguientes.

Cabero [20, p. 82], señala que:

La llegada de las tecnologías de la información y la comunicación al sector educativo viene enmarcada por una situación de cambios (cambios en los modelos educativos, cambios en los usuarios de la formación, cambios en los escenarios donde ocurre el aprendizaje...), que no pueden ser considerados al margen de los cambios que se desarrollan en la sociedad relacionados con la innovación tecnológica, con los cambios en las relaciones sociales y con una nueva concepción de las relaciones tecnología-sociedad que determinan las relaciones tecnología-educación.

Camarena [21] menciona:

Las nuevas tecnologías han impactado de tal manera a la sociedad que es imposible prescindir de ellas, bien sea que la escuela, el aula o espacio didáctico, las tenga o no. Sin embargo, su utilización es la de mediadoras entre el docente, el saber (objeto de estudio) y el estudiante. Cada tecnología tiene su propio lenguaje y su propio canal para procesar y proporcionar la información; y de cada una de ellas, se pueden aprovechar sus posibilidades para promover y acompañar los procesos de enseñanza y de aprendizaje.

Villanueva [22] comenta:

El uso de la computadora es altamente deseable en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias y de la matemática en particular. Su incorporación a la enseñanza debe hacerse fundamentalmente para estimular la creatividad, el interés por el aprendizaje, la apropiación de los conocimientos, y fomentar el desarrollo intelectual.

Por último, Gómez y Mateos [23] afirman: solo mediante el análisis crítico de los medios de comunicación y las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) como instrumentos que les dan forma y capacidad de desarrollo, es posible llevar a efecto una labor realmente formativa.

1.3. El software en la enseñanza de las matemáticas

A continuación se presentan algunos antecedentes de las ventajas de hacer uso de un software matemático en el aprendizaje de las matemáticas.

Galdo y Cociña [24] describen una experiencia con el software "Mathematica". Donde establecen que el uso del software "favorece los procesos inductivos y la visualización de conceptos complejos. Permite comparar, verificar o refutar hipótesis, cambiar postulados y someterlos a prueba y conjeturar, apoyándose en la construcción de modelos".

Dávila *et al.* [25], realizaron una experiencia con el software "Derive" para que los estudiantes entrelazaran los conceptos

matemáticos con los contenidos de otras asignaturas. Según estos autores, el software les proporcionó datos, gráficos, resultados que debieron interpretar para dar la solución y explicaciones al problema. Además, apuntaron que al usar el software se debe: (a) diseñar situaciones de aprendizaje donde el alumno o alumna desconozca si los resultados obtenidos están bien de forma inmediata; (b) diseñar prácticas que los obliguen a trabajar, a pensar, estudiar, para dar solución a los problemas y (c) fomentar la labor tutorial del profesor.

Fallad [26] realizó investigaciones con un software educativo orientado al aprendizaje centrado en el docente y al aprendizaje colaborativo. Entre los resultados obtenidos por Fallad, para el discente el uso de un software: (a) conlleva un impacto notable en el aprendizaje de la matemática, reflejado posteriormente en su desempeño profesional; (b) le facilita el aprendizaje, pues le proporciona herramientas para resolver problemas, incorporar estrategias de aprendizaje colectivo y el trabajo en equipo; y (c) le permite realizar analogías o extrapolaciones a otros problemas.

Por último, Cuicas, Debel, Casadei y Álvarez [27], presentaron un trabajo sobre la relación que existe entre el uso de estrategias instruccionales basadas en el software matemático Mathlab y el desarrollo de habilidades del pensamiento y mejoramiento en el aprendizaje de la asignatura Matemáticas II en los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA). La investigación fue cuasi-experimental y usó para el contraste de hipótesis la prueba t de student para muestras relacionadas. Además se aplicaron dos pruebas, tres asignaciones, una lista de cotejo y una entrevista semiestructurada. Los datos recogidos se analizaron, utilizando estadística descriptiva, llegando a la conclusión de que: a) los conocimientos de los discentes mejoraron y b) estos pusieron en práctica sus procedimientos mejorando sus habilidades cognoscitivas y metacognitivas. Por lo tanto, el estudio aportó evidencias para usar el software matemático bajo una metodología constructivista.

2. Método de trabajo

En la investigación se aplicaron dos encuestas de opinión al grupo experimental una respecto al impacto que les pudo haber generado el trabajar con la estrategia didáctica de la Matemática en Contexto (MC) de la teoría de la MCC y la otra respecto al trabajar con el uso del software Maple 13. El cuestionario sobre la estrategia didáctica de la Matemática en Contexto propia de la MCC, consiste en siete preguntas y el de uso de software maple de cinco.

De acuerdo al impacto en los estudiantes al trabajar con una estrategia didáctica nueva y el uso de software, es importan-

te indagar acerca de cómo perciben los alumnos las siguientes características.

Para la estrategia didáctica de la Matemática en Contexto, por la forma de llevarse a cabo la estrategia de la Matemática en Contexto en el salón de clases y el foco de la investigación global, las características de análisis incluidas son:

- Trabajo en equipo
- Autonomía
- Motivación
- Habilidades procedimentales
- Importancia de la matemática

Para el uso del software Maple 13, como herramienta en prerrequisitos previos, junto con la Matemática en Contexto, las características de análisis establecidas son:

- Motivación
- Eficiencia para usar matemáticas
- Habilidades procedimentales
- Autonomía

Con estas características a indagar, se diseñaron dos cuestionarios cuya relación con la MC se muestra en Tabla 1 y Tabla 2.

2.1. Cuestionario sobre la estrategia didáctica de la MC

1. ¿Consideras que tu motivación por aprender matemáticas se favorece con la resolución de eventos contextualizados? Esta pregunta pretende ver si consideran que los motiva la MC.
2. ¿Consideras que tus capacidades para aprender matemáticas se ven favorecidas con la resolución de eventos contextualizados? Con esta otra pregunta se busca identificar si sienten que con la MC tienen más habilidades para trabajar con matemáticas.
3. ¿Consideras que obtienes un conocimiento más real con la resolución de eventos contextualizados? El objetivo de esta pregunta es ver si sienten que adquieren un conocimiento con sentido a través de la MC.
4. ¿Consideras que el trabajar en equipo favorece tu aprendizaje de las matemáticas? El objetivo de esta pregunta es ver si sienten que la interacción de conocimiento entre ellos, la cual es parte de la MC, les favorece para aprender matemáticas.
5. ¿Consideras que el trabajar en la resolución de eventos contextualizados te ayuda a entender mejor los procedimientos en matemáticas? Con esta pregunta se pretende ver si sienten que trabajar con la MC les ayuda a adquirir destreza en el desarrollo de los procedimientos en matemáticas.

Tabla 1. Asociación entre preguntas del cuestionario sobre la MC y características de análisis.

PREGUNTAS	CARACTERÍSTICAS				
	Trabajo en equipo	Autonomía	Motivación	Habilidades procedimentales	Importancia de la matemática
1			X		
2				X	
3					X
4	X				
5				X	X
6		X			
7					X

6. ¿Consideras que el trabajo en la resolución de eventos contextualizados te da una mejor visión de los procesos matemáticos para que lo puedas hacer tú sólo? Con esta pregunta se pretende ver si sienten que con la MC adquieren habilidades para trabajar de manera autónoma.
7. ¿Consideras que el trabajo en la resolución de eventos contextualizados te ayuda a ver que si son importantes las matemáticas y quererlas estudiar? Con esta pregunta se pretende ver si la MC favorece a ver las matemáticas como una herramienta de utilidad.

2.2. Cuestionario sobre el uso de software

1. ¿Te sientes más motivado(a) por aprender matemáticas con el uso del software maple? Esta pregunta pretende ver si los motiva el software maple.
2. ¿Consideras que tu capacidad en la realización de operaciones matemáticas se ven favorecidas con el uso del software maple? Esta pregunta tiene la intención de ver si sienten una mejora en los desarrollos procedimentales con el software.

3. ¿Consideras que con el uso del software maple resuelves los problemas con menos tiempo? Esta pregunta pretende ver si con el uso del software maple se sienten más eficientes para resolver problemas.
4. ¿Consideras que con el uso del software maple se mejora tu capacidad para lograr resolver los problemas? Esta pregunta pretende ver si con el uso del software maple se sienten más eficaces para resolver problemas.
5. ¿Consideras que el uso del software maple tú solo puedes aprender matemáticas? Con esta pregunta se pretende ver si con el software adquieren habilidades para trabajar de manera autónoma.

3. Resultados

Análisis de las respuestas de las encuestas

Resultados sobre la opinión de los alumnos sobre la fase didáctica de la Matemática en el Contexto de las Ciencias.

Tabla 2. Asociación entre preguntas del cuestionario sobre la MC y características de análisis.

PREGUNTAS	CARACTERÍSTICAS			
	Motivación	Eficiencia para usar matemáticas	Habilidades procedimentales	Autonomía
1	X			
2			X	
3		X		
4			X	
5				X

Tabla 3. Resultados de la encuesta sobre la MCC del grupo experimental.

PREGUNTA	NADA	POCO	REGULAR	MUCHO
1	0	0	6	7
2	0	0	7	6
3	0	2	4	7
4	0	0	3	10
5	0	2	5	6
6	0	1	2	10
7	0	1	9	3

El número de alumnos del grupo experimental que contestó la encuesta son 13, en la Tabla 3, se muestran los resultados en forma tabular.

Como puede apreciarse, tener impacto nulo no se presenta en alguna de las siete preguntas formuladas en la encuesta, los impactos varían en los valores de poco, regular y mucho, siendo más significativos en regular y mucho. En concreto, la

Trabajo en equipo

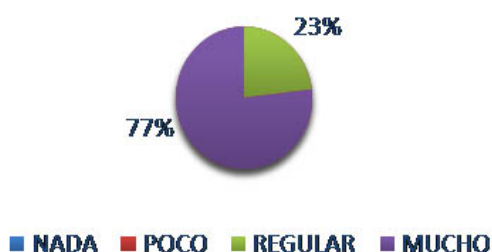


Fig. 2. Porcentaje de trabajo en equipo con la MCC.

Autonomía

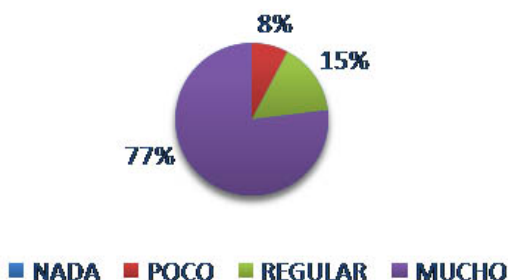


Fig. 3. Porcentaje de trabajo autónomo con la MCC.

encuesta revela que los estudiantes perciben a la MCC, como una estrategia que les desarrolla habilidades de trabajo en equipo y habilidades de trabajo autónomo como se puede mostrar en porcentajes en la Fig. 2 y Fig. 3. Posteriormente un mayor impacto lo tiene el desarrollo motivacional y de habilidades procedimentales (véase Fig. 4 y Fig. 5). Con respecto a si los estudiantes ven con la MCC a las matemáticas más importantes como para estudiarlas, la mayoría se pronunció a favor de la opción regular, como se muestra en la Fig. 6.

Motivación

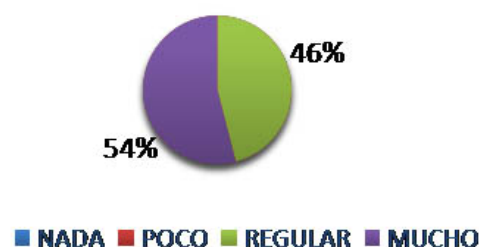


Fig. 4. Porcentaje de motivación con la MCC.

Habilidad procedimental

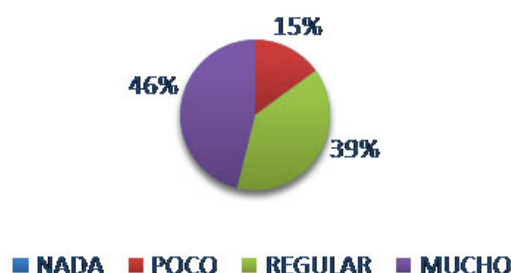


Fig. 5. Porcentaje de habilidad procedimental con la MCC.

Importancia de las matemáticas

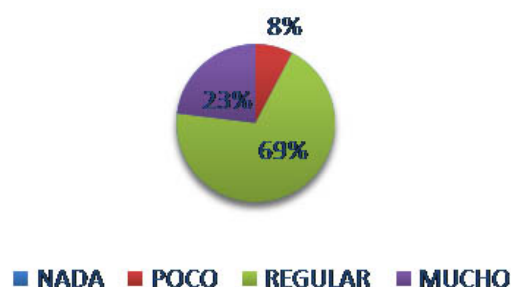


Fig. 6. Porcentaje de interés en la matemática con la MCC.

Tabla 4. Resultados de la encuesta sobre uso de software.

PREGUNTA	NADA	POCO	REGULAR	MUCHO
1	0	0	2	10
2	0	0	4	8
3	0	0	2	10
4	2	3	6	1
5	1	6	3	2

Resultados sobre la opinión de los alumnos sobre el uso del software maple 13

El número de alumnos del grupo experimental que contestaron la encuesta son 12, en la Tabla 4 se muestran los resultados.

Los impactos varían en el rango de valores de nada, poco, regular y mucho, siendo en su mayoría, más significativos en regular y mucho. En particular la encuesta revela que con

el uso del software maple 13, los alumnos se sienten más motivados por aprender matemáticas y son más eficientes en resolver problemas, los porcentajes se muestran en la Fig. 7 y Fig. 8. Posteriormente un mayor impacto lo tiene el desarrollo de habilidades procedimentales, como se muestra en la Fig. 9 y a diferencia de la encuesta de la MCC, el aprender matemáticas de manera autónoma se distribuye en los cuatro valores cayendo la mayor parte en nada y poco (véase Fig. 10).

4. Conclusiones

Según la opinión expresada en las encuestas, los porcentajes del 54% y el 83% para la medida de "mucho" sobre la "motivación", permiten concluir que el trabajar con medios didácticos diferentes al tradicional como implementar la fase didáctica de la teoría de la MCC y la incorporación de la tecnología en el aula, motiva el interés de los estudiantes por aprender. Asimismo, el 77% a la medida de "mucho" con la estrategia didáctica



Fig. 7. Porcentaje de motivación con software.

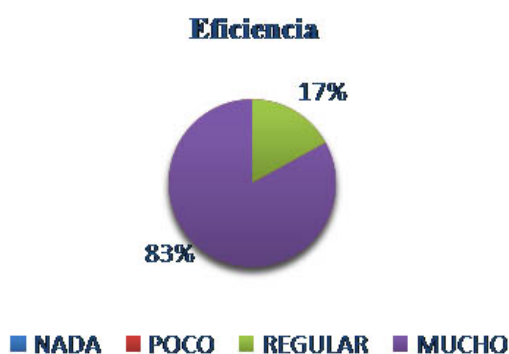


Fig. 8. Porcentaje de eficiencia con software.



Fig. 9. Porcentaje de habilidad procedimental con software.

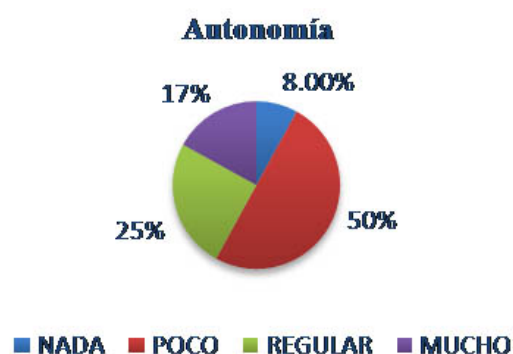


Fig. 10. Porcentaje de trabajo autónomo con software.

de la MC, indica que el trabajo en equipo lo consideran de beneficio para su aprendizaje. El 77% de los estudiantes perciben que la didáctica del contexto les favorece el trabajo autónomo, mientras que el 50% considera que la tecnología poco favorece el trabajo autónomo.

El 83% de los estudiantes expresan que con la tecnología para prerequisites, se sienten más eficientes al resolver problemas, que es una de las funciones más importantes de la matemática en las ingenierías.

Los porcentajes sobre las habilidades procedimentales describen que con la estrategia didáctica de la MC el 46% de los estudiantes consideran que se les desarrollan, mientras que el 67% de los estudiantes, opinan que el uso de la tecnología les ayuda a desarrollar estas habilidades. Por otro lado, el 69% de los alumnos declaran sobre la importancia de la matemática para resolver problemas de su profesión.

Resultados similares en cuanto al uso de la tecnología obtuvieron, por un lado, la investigación de Guedez [28] el cual presenta una investigación sobre el aprendizaje de funciones reales utilizando un software educativo, donde concluye en parte que la implementación de tutoriales con el uso de software permitió a los estudiantes mejorar su rendimiento académico, además de ser más activos, creativos, participativos y autónomos. Por otro lado, Costa, Di, y Vacchino [29] trabajaron en la materia de Cálculo Integral y Vectorial de una y varias variables en la Universidad Nacional de la Plata en Argentina, donde usaron el software Maple como herramienta de cálculo, manipulación y visualización matemática para resolver problemas en las áreas de ciencias e ingeniería donde se concluye que:

Trabajar en el aula con materiales distintos a los tradicionales, motiva el interés de los alumnos y estimula la actividad intelectual, dado que el proceso por el cual las personas construyen representaciones mentales es beneficiado si se le presentan imágenes que puedan interpretar, manipular, experimentar y extraer conclusiones de las mismas. Además, la incorporación de tecnología en el aula, favorece la participación activa de los estudiantes, la reflexión crítica, el trabajo grupal, la interacción con los docentes, en definitiva, redundando en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Una investigación que difiere en parte con esta es la de Escudero *et al.* [30], quienes presentaron un estudio en el primer congreso internacional de educación mediada con tecnologías sobre la influencia de la tecnología en las asignaturas de Cálculo Diferencial y Estadística Descriptiva; donde se encontró que estadísticamente no se obtuvieron diferencias significativas entre el grupo de control y el experimental del efec-

to de la tecnología en el aprendizaje de las materias mencionadas, sin embargo, el estudio descriptivo y cualitativo pone en evidencia una tendencia al mejoramiento del aprendizaje del cálculo y de la estadística cuando se utilizan los medios computacionales como herramientas o medios cognitivos para el desarrollo del pensamiento matemático.

Referencias

- [1] L. Ruiz, P. Camarena, S. del-Rivero, "Prerrequisitos deficientes con software matemático en conceptos nuevos: Transformada de Laplace," *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, vol. 21, núm. 69, pp. 349-383, 2014. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662016000200349
- [2] P. Camarena, El currículo de las matemáticas en ingeniería, *Memorias de las Mesas redondas sobre definición de líneas de investigación en el IPN*, México, 1984.
- [3] P. Camarena, "Teoría de la Matemática en el Contexto de las Ciencias," *Actas del III Coloquio Internacional sobre Enseñanza de las Matemáticas*, Conferencia Magistral, 2008, pp. 83-107, Lima, Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú. Disponible en <http://irem.pucp.edu.pe/162/iii-coloquio-internacional-sobre-ensenanza-de-las-matematicas>
- [4] D. Ausubel, *Psicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo*, México: Trillas, 1976.
- [5] C. R. Muro, "Análisis del conocimiento del estudiante relativo al campo conceptual de la serie de Fourier en el contexto de un fenómeno de transferencia de masa," Tesis Doctoral, IPN, México, 2004.
- [6] C. Olazábal, "Categorías en la traducción del lenguaje natural al algebraico de la matemática en contexto," Tesis de Maestría en Ciencias en Matemática Educativa del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, México, 2005.
- [7] E. Trejo, "La Ecuación Diferencial en el Contexto de las Reacciones Químicas de primer Orden," Tesis en Maestría en Orientación Educativa de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, 2005.
- [8] P. De-Pavia, "Desarrollo de habilidades del pensamiento para la matemática en el contexto de las ciencias," Tesis de Maestría en Ciencias en Matemática Educativa, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, México, 2006.
- [9] T. M. Souza, "Una propuesta didáctica del análisis matemático en el contexto de la ingeniería de control," Tesis de Maestría en Orientación Educativa, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. 2006.
- [10] P. Y. Alvarado, "Análisis del significado de la solución de las ecuaciones diferenciales lineales en la volatilización

- de compuestos orgánicos," Tesis de Maestría en Orientación Educativa, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, 2008.
- [11] B. J. Rojas, "Aplicación de los campos de Galois en el contexto de la corrección y detección de errores en comunicaciones basadas en los códigos BCH, con un enfoque didáctico," Tesis de Maestría en Telecomunicaciones, México: Instituto Politécnico Nacional, 2008.
- [12] H. J. Accostupa, "Propuesta didáctica para las funciones sinusoidales de la forma $f(x)=A+B\sin(Cx+D)$ en el contexto de los circuitos eléctricos del área de la Ingeniería," Tesis de Magíster en Enseñanza de las Matemáticas, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2009.
- [13] F. V. Neira, "Modelación de problemas contextualizados usando sistemas de ecuaciones lineales con dos variables: basado en el enfoque de la Matemática en el Contexto de las Ciencias," Tesis de Magíster en Enseñanza de las Matemáticas, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012.
- [14] P. Camarena, A. I. P. Flores, "La interdisciplinariedad: nivel superior. Colección: Experiencias de investigación. Tomo III," en Procesos de enseñanza y aprendizaje: estudios en el ámbito de la educación media superior y superior, Coordinadores: Gutiérrez R. D., Cenicerós D. C., Monárrez V. H. pp. 150- 167. Red Durango de Investigadores Educativos A. C., México, 2012.
- [15] P. Camarena, Etapas de las matemáticas en el contexto de la ingeniería, Reporte del proyecto de investigación, México: ESIME-IPN, 2000.
- [16] P. Camarena, "A treinta años de la teoría educativa Matemática en el Contexto de las Ciencias," *Revista Innovación Educativa*, vol. 13, núm. 62, pp. 17-44, 2013.
- [17] C. Solomon, *Entornos de aprendizaje con ordenadores*, Barcelona, España: Paidós, 1987.
- [18] R. M. García, P. Camarena, "La tecnología como herramienta cognitiva en la matemática contextualizada," *Memorias del IX Congreso Nacional de Investigación Educativa*, Mérida, Yucatán: COMIE. 2007. Disponible en <http://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v09/>
- [19] J. A. Alanís, "La predicción. Un hilo conductor para el rediseño del discurso escolar del cálculo," Tesis Doctoral, CINVESTAP-IPN, México. 1996.
- [20] J. Cabero, "Las nuevas tecnologías en la actividad universitaria," *Pixel-Bit: Revista de medios y educación*, núm. 20, pp. 81-100, 2003. Disponible en <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=310497>
- [21] P. Camarena, *Guía para el diseño didáctico*, Reporte de Investigación, México: DINME-SA-IPN, 2006.
- [22] Y. Villanueva, "Tendencias actuales en la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas y la utilización de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones en la educación," En J. Lezama, M. Sánchez, J. G. Molina (Eds.), *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa* (pp. 701-706). México: Comité Latinoamericano de Matemática Educativa A. C., 2005.
- [23] J. Gómez, S. Mateos, "Retos educativos en la sociedad de la información y la comunicación," *Revista latinoamericana de tecnología educativa*, vol. 1, núm. 1, pp. 9-22, 2002. Disponible en <http://mascvuex.unex.es/revistas/index.php/relatec/article/viewFile/497/395>
- [24] C. Galdo, A. Cociña, "Matemática III con Mathematica en la UCA," En Cruz C., Serres Y., Bayer W., Mosquera J. y Millán O. (Eds.), *Memorias III Congreso Iberoamericano de Educación Matemática* (pp. 667-669). Caracas, Venezuela: FAPUVA-UCV, 1998.
- [25] N. Dávila, J. Hernández, D. García, M. Martel, E. Gómez, F. Vásquez, *El uso del ordenador en las matemáticas para la economía y la empresa: Una experiencia en la Universidad de las Palmas de de Gran Canaria*, 1998.
- [26] J. Fallad, "Software educativo para la asignatura de matemática I de nivel de licenciatura," *Memorias del Simposio Internacional del TIC en la Educación 1999*, Sociedad Mexicana de Computación en la Educación (SOMECE), 1999.
- [27] M. Cuicas, E. Debel, L. Casadei, Z. Álvarez, "El software matemático como herramienta para el desarrollo de habilidades del pensamiento y mejoramiento del aprendizaje de las matemáticas," *Actualidades Investigativas en Educación*, vol. 7, núm. 2, pp. 1-34, 2007. Disponible en <http://www.redalyc.org/html/447/44770209/>
- [28] M. Guedez, "El aprendizaje de funciones reales con el uso de un software educativo: una experiencia didáctica con estudiantes de educación de la ULA-Táchira," *Acta Pedagógica*, vol. 14, núm. 1, pp. 38-49, 2005. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2968990>
- [29] V. Costa, M. Vacchino, "Material educativo digital como recurso didáctico para el aprendizaje del cálculo integral y vectorial," *Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, núm. 21, pp. 173-185, 2010. Disponible en http://www.fisem.org/www/union/revistas/2010/21/Union_021_018.pdf
- [30] R. Escudero, H. Llinas, V. Obeso, C. Rojas, "Influencia de la tecnología en el aprendizaje de las asignaturas: cálculo diferencial y estadística descriptiva," *Zona próxima: revista del Instituto de Estudios Superiores en Educación*, núm. 6, pp. 94-105, 2005. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2503188>

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas
de América Latina y el Caribe,
España y Portugal

XML JATS en Redalyc

Redalyc ha emprendido una transición y se suma al estándar XML JATS, bajo la especificación JATS4R, lenguaje de metamarcado con reglas simples, que provee de un método uniforme para describir e intercambiar datos estructurados

xmljatsredalyc.org

REDALYC 3.0

Diseño de la coquilla para fundición de pistones Yuchai

Tania María Pérez-Sajudo

Universidad de Pinar del Río
Departamento de Ingeniería Mecánica
Calle A, entre 2da y 5ta,
reparto 26 de Julio, Pinar del Río.
CUBA

Tel. +(53)54735372
correos electrónicos (email):
tsanjudo@gmail.com,
taniap@upr.edu.cu

Recibido 31-07-2018, aceptado 30-11-2018.

Resumen

Cuba a través de sus años de revolución ha cruzado por una economía abierta y dependiente de sus relaciones económicas externas, no estando exonerada de los impactos de la crisis que se han manifestado en la inestabilidad de los precios de los productos que intercambia. Debido a esto y como parte de la reorganización de la industria metalmeccánica, la fundición de pistones que estuvo enclavada en el Cerro-La Habana, pasó a Pinar de Río a la entidad llamada Empresa Integral de Servicios Automotores (EISA), quien asume el reto de continuar la fundición de este importante elemento de máquina, para lo cual debía dotarse de las herramientas necesarias. Para lograr este objetivo se propuso una tecnología para la fundición de pistones Yuchai en moldes metálicos, contribuyendo así a cumplir junto a la compañía su encargo social, al sustituir importaciones en la importante tarea de la remotorización y recuperar el transporte automotor.

Palabras clave: pistón Yuchai, fundición, moldes metálicos.

Abstract (Yuchai Piston Casting Mold Design)

Cuba through its years of Revolution has crossed by an open economy and dependent on its external economic relations, not being exempt from the impacts of the crisis that have manifested in the instability of the prices of the products that it exchanges. Due to this and as part of the reorganization of the Metal-Mechanical Industry, the piston smelter that was located

in Cerro-La Habana, went to Pinar de Río to the entity called Integral Company of Automotive Services (EISA), who assumes the challenge of continuing the casting of this important machine element, for which it had to equip itself with the necessary tools. To achieve this goal, a technology for the casting of Yuchai pistons in metal molds was proposed, thus contributing to fulfill the social commitment with the company, by substituting imports in the important task of remotorization and recovering automotive transport.

Index terms: Yuchai piston, cast iron, metal molds.

1. Introducción

Desde el año 2005, en Cuba, se evidenciaron las limitaciones de la economía para enfrentar el déficit de la cuenta financiera de la balanza de pagos, las retenciones bancarias de transferencias al exterior y el elevado monto de los vencimientos de la deuda, todo lo que significó una gran tensión en el manejo de la economía. En enero del 2012 en el Sexto Congreso del Partido se tomaron como acuerdos o lineamientos, poner en práctica algunos cambios que favorecieran la economía dentro del país. Se pusieron entonces en práctica un importante grupo de inversiones industriales de carácter estratégico en cuanto al desarrollo del país. Cada una de estas se introdujeron dentro las empresas e instituciones, priorizando las que fuesen potencias productoras en cada provincia. Como un ejemplo eficaz de esto se encontraba la empresa fundada el 1 de enero de 1983, en su forma abreviada EISA Pinar actualmente integrada al Grupo Industrial Automotriz (UNECAMOTO), subordinada al Ministerio de la Industria Sidero-Mecánica (SIME), con nombre comercial ALMEC.

Esta fue creada con la finalidad de producir piezas de repuestos para la disminución de las importaciones de las mismas. Para cumplir con su objeto social, la empresa cuenta entre otros locales con un taller de fundición con la siguiente tecnología de trabajo: un horno de fusión, capacidad de 500 kg, tres hornos eléctricos de crisol con una capacidad de 250 kg cada uno, dos bancos de coquilla hidráulicos y dos cubas de enfriamiento, un banco de coquilla neumático, espectrómetro y un taller de preparación de muestras.

De manera que, dicha empresa ha llegado a ser un puntal dentro de la industria mecánica y automotriz, utilizando la fundición como parte de uno de los procesos de obtención de pie-

zas y semiproducto, en lo cual es más ventajosa que los demás procesos, especialmente, si son piezas grandes o de configuración compleja hechas de materiales, que por sus propiedades no pueden ser obtenidos por otro método.

Entre los autos a los que les da mantenimiento se encuentran las guagua de transporte público, las cuales trabajan con pistones Yuchai en su motor, los que no se producen en el país, por lo que no se cuenta con la tecnología de fundición de los mismos.

Como objeto del trabajo entonces se propone el proceso de fundición en moldes metálicos y como objetivo el diseñar la tecnología de fundición del pistón Yuchai por el método de moldes metálicos.

2. Materiales y métodos

La tecnología se desarrolla a partir de un plano de maquinado en el que vienen consignados las medidas finales que va a tener la pieza, el peso de la misma y el material a emplear. En este punto se procederá al análisis, basándonos en que existen varios métodos de moldeo: en moldes metálicos o coquillas, colada centrífuga, a la cera perdida, en cáscara, arena manual o convencional y moldeo en arena a máquina. Para la elección del proceso tecnológico más adecuado se deben tener en cuenta diferentes aspectos:

- Cantidad de piezas a obtener (50000 unidades).
- Dimensiones y complejidad de la pieza ($d = 108 \text{ mm}$, $h = 111 \text{ mm}$ con una complejidad media).
- Tipo de aleación (aluminio y 12% de silicio).
- Peso de la pieza (1,2 kg).

Metodología de cálculo

Esta fue elaborada mediante [1] y [2]:

1. Análisis de las características constructivas de la pieza y justificación del método de fundición seleccionado.
2. Posición de la pieza en el molde y selección del plano divisor.
3. Cálculo de sobremedida de maquinado.
4. Determinación de las inclinaciones de salida.
5. Contracción de fundición.
6. Cálculo del sistema de alimentación.
7. Mazarota.
8. Diseño de la coquilla.

2.1. Geometría de la pieza

En los dibujos de la pieza fundida se indica la superficie de división del molde de la plantilla, la posición de la pieza fundida durante el vertido, las partes sueltas de la plantilla, márgenes de maquinado, machos, mazarotas y respiraderos, tragaderos y enfriaderos. Todo esto se realiza bajo las normas y requisitos establecidos para diseñar y dibujar un plano de pieza. En el Anexo 1 y Anexo 2 se muestran los planos de pieza, con las dimensiones principales del pistón Yuchai [3].

2.2. Cálculo de los espesores mínimos

Esto se hace para ver si la pieza puede ser obtenida por fundición o maquinado, se realiza a partir de la dimensión equivalente calculada por la expresión siguiente, y el tipo de aleación.

$$N = \frac{2l + b + h}{3} \quad (1)$$

Donde:

N : dimensión equivalente, en m.

l , b , h : dimensiones máximas de la pieza (longitud, ancho, altura), en m.

2.3. Posición de la pieza en el molde y selección del plano divisor

Se realiza teniendo en cuenta los aspectos expuestos a continuación [4], [5]:

- Las superficies importantes (maquinado y de fricción) deben quedar hacia abajo o a los lados o en el fondo.
- Extracción fácil de la plantilla, esto se logra con pocas partes sueltas (método de las sombras).
- Al ubicar la pieza en el molde hay que seguir el principio de la solidificación dirigida, ya que esta asegura la obtención de la pieza con la porosidad de contracción mínima, al igual que las cavidades.
- Las paredes más delgadas deben quedarse hacia abajo y si es posible en dirección vertical, ya que tienen poco espesor.
- La cantidad de machos debe ser mínima o se cambiarán por machos naturales si esto no aumenta la tolerancia de fabricación.
- Los machos deben de quedar lo más estables posibles. Para eliminar el surgimiento de las sopladuras de gas, la posición escogida durante el llenado tiene que asegurar la salida de los gases preferiblemente por encima de los machos.
- Fácil y segura evacuación de gases.
- Fácil corte de los sistemas de alimentación.

2.4. Cálculo de sobremedida de maquinado

La sobremedida es el exceso de material que se adiciona a la superficie de las piezas fundidas, para llevarlas mediante el maquinado a la medida establecida en el diseño de la pieza terminada. La cantidad de sobremedida se indica en una tabla especial al margen del diseño. El extremo de la sobremedida se hace en escala con lápiz rojo y se sombrea en la superficie de corte de la pieza fundida con el sombreado rojo. Está determinada por la NC-1007, sus dimensiones están establecidas por la dimensión básica y la determinante [4].

2.5. Dimensiones de la sobremedida

Básica: determina la magnitud de la sobremedida para el maquinado, adoptándose como tal la distancia entre las superficies maquinada o entre una superficie maquinada y otra, o un eje de referencia.

Determinante: es la mayor medida perpendicular a la dimensión básica que afecte a la misma. Es aquella que determina la longitud de la superficie a elaborar.

Los sobreespesores vienen determinados según el grado de precisión y el tipo de aleación con que se va fundir, para este trabajo específicamente los grados de precisiones son: a) aquel que se aplica a piezas fundidas moldeadas mecánicamente, b) para producciones de piezas fundidas en serie, moldeadas mecánicamente, c) se aplica a la producción de piezas fundidas moldeadas manualmente. El tipo de aleación se designa por los números 1 y 2, que significan (1) aceros y (2) otras fundiciones. Una vez analizado estas condiciones se obtienen los valores requeridos para cada superficie [4].

2.6. Determinación de las inclinaciones de salida

Estas inclinaciones se le adicionan a la pieza fundida, si esta no las tiene de construcción, permitiendo un fácil moldeo y asegurando la extracción de la plantilla de forma cómoda. Estas inclinaciones se realizan en aquellas superficies de la pieza que sean perpendiculares al plano divisor. La magnitud de las inclinaciones de moldeo se reglamenta según NC-1008 (Tabla 2.12, página 48). Esta norma establece las inclinaciones requeridas en los modelos metálicos o de madera para piezas de metales no ferrosos.

2.7. Cálculo del sistema de alimentación

Existen diferentes métodos para el cálculo del sistema de alimentación para aleaciones de aluminio. En este proyecto se tomó la fórmula análoga a la que se utiliza para calcular piezas de acero en moldes de arena [2].

Se comienza entonces por el cálculo de área, en este caso la de la sección del tragadero:

$$F_t = G/tk \quad (2)$$

Donde:

F_t , área de la sección del tragadero (cm²).

G , peso del metal fundido que pasa por el alimentador (kg).

t , tiempo de colada (s).

k , velocidad específica de vertido (kg/scm²).

$$t = s\sqrt{G} \quad (3)$$

Donde:

t , tiempo de colada (s).

s , coeficiente que depende del espesor medio de la pared de la pieza.

G , peso del metal fundido que pasa por el alimentador (kg).

k , velocidad específica de vertido (kg/scm²)

Depende de k_v , que no es más que la compatibilidad relativa de la pieza (kg/dm³)

$$k_v = G_p/V_e \quad (4)$$

$$V_e = lah \quad (5)$$

Donde:

G_p , peso de la pieza fundida (kg).

V_e , volumen espacial, determinado por las dimensiones máximas externas de la pieza (dm³).

Después de efectuar los cálculos de las ecuaciones según este orden 3, 4 y 5 y hacer las sustituciones correspondientes se calcula la sumatoria de áreas de los conductos de alimentación. Utilizando la siguiente relación de colada. Obteniéndose las dimensiones para cada parte del sistema de alimentación.

Relación de colada: $\Sigma F_{tr} : \Sigma F_{esc} : \Sigma F_{al} = 1:2:3$

2.8. Cálculo de la mazarota

Método de los módulos [5] :

$$M_m \geq 1.2 M_p \quad (6)$$

Donde:

M_m , módulo de la mazarota (dm).

M_p , módulo de la pieza (dm).

$$M_p = dh/2(d+2h) \quad (7)$$

Científica, vol. 23, núm. 1, pp. 23-30, enero-junio 2019. ISSN 1665-0654 [impresa], ISSN 2594-2921 [web], IPN México.

Superficie	Z(mm)	S(mm)
P1 108	111	3.0 mm
P2 111	111	3.0 mm
P3 38	108	2.5 mm

Resultados de los cálculos para ver el método de obtención de los orificios (véase Fig. 2a):

Agujero	d- Diámetro del agujero	h- Altura del agujero	
1	d= 38 mm	h= 29 mm	d > 18,7 mm
2	d= 108 mm	h= 82 mm	d > 34,6 mm
3	d= 3 mm	h= 13 mm	d < 13,9 mm

3.1. Descripción de los agujeros [1]

1. Orificio por donde pasa el bulón, que se ajusta posteriormente a la biela.
2. Orificio perteneciente al vaciado del pistón.
3. Orificios de lubricación del pistón.

3.2. Cálculo del sistema de alimentación

Siguiendo el método expuesto en capítulo anterior tenemos que con los datos $l = h = 1,11$ dm y $a = 1,08$ dm, se obtiene $V_e = 1,33$ dm³.

Sustituyendo este valor en (4) resulta $k_v = 0,88$ kg/dm³.

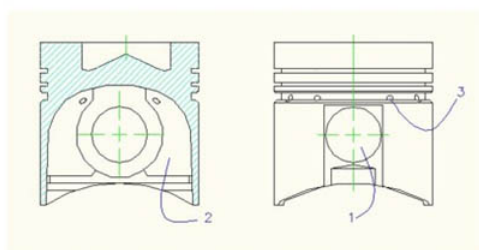
El cual se introduce en la Tabla 1 para tener la velocidad específica de vertido.

Se tiene que $k = 0,22$ kg/s cm².

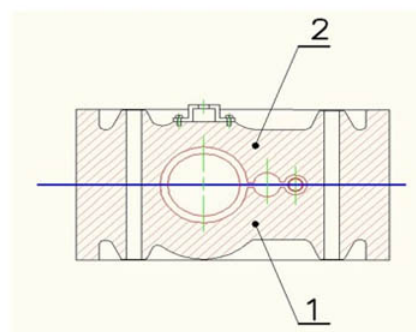
El área de la sección del tragadero es $F_t = 2,84$ cm².

Con este valor y la relación de colada para piezas de aluminio, obtenemos:

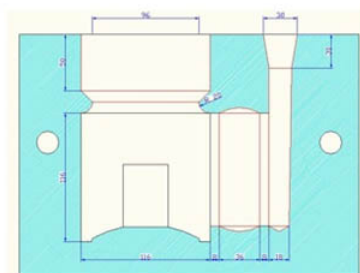
Relación de colada: $\Sigma F_{tr} : \Sigma F_{esc} : \Sigma F_{al} = 1:2:3$



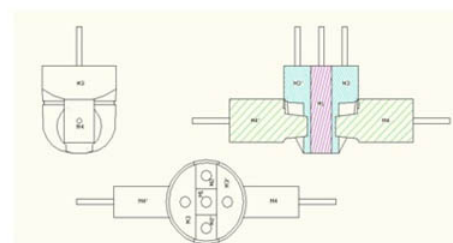
a. Orificios fundidos o maquinados (de la pieza terminada).



c. Diseño de la coquilla.



b. Sistema de alimentación y mazarotado.



d. Diseño de los machos

Fig. 2. a) Orificios fundidos o maquinados (de la pieza terminada), b) Sistema de alimentación, c) Diseño de la coquilla, d) Diseño de los machos.

Tabla 1. Valor de la velocidad específica de vertido k en (kg/s cm^2) .

Compactividad relativa de la pieza	hasta	hasta	hasta	hasta	hasta	hasta	hasta
k_v en kg/dm^3	0,30-0,50	0,6-1,0	1,1-1,5	1,6-2,0	2,1-2,5	2,6-3,0	3,1-4,0
Velocidad específica de vertido							
k en kg/s cm^2	0,20	0,22	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45

$$F_a = 3F_t = 8,52 \text{ cm}^2$$

$$F_e = 2F_t = 5,68 \text{ cm}^2$$

$$d_a = 4F_e / \pi = 36 \text{ mm}$$

$$d_e = 4F_t / \pi = 18 \text{ mm}$$

Del alimentador tenemos que:
(ancho) $b = 100 \text{ mm}$ y (altura) $a = 8 \text{ mm}$,
se toman lo más corta posible y (largo) $l = 5 \text{ mm}$.

Teniendo en cuenta lo anterior expuesto queda como resultado del diseño de la coquilla (véase Fig. 2c) y los valores: $Q = 277632,2863 \text{ cal}$, $t_m = 60,56275892 \text{ s}$, $q = 4584,208039 \text{ cal/s}$, $L_c = 5,360126133 \text{ cm}$. La coquilla tendrá un espesor de 54 mm en cada cara. El espesor obtenido por este criterio es mayor que el de los criterios prácticos expuestos por varios autores, por tanto, se propone tomar este como espesor final para del diseño de la coquilla.

3.3. Valoración económica

Como aspecto relevante además de los anteriormente mencionados, no puede dejar de destacarse el hecho de que, el precio según la metodología de cálculo empleada para los semiproductos de la coquilla elaborada por la tecnología propuesta es de $2\,916,6 \text{ CUP}$ y $116,6 \text{ CUC}$. Estos costos de fabricación se determinaron teniendo en cuenta los gastos directos de producción y los indirectos de producción, como son salario de los obreros y especialistas que intervinieron en la fabricación y el diseño, los gastos de transportación el consumo de energía, el costos de los materiales y las herramientas de corte, el material de oficina, la depreciación de los equipos entre otros.

Esta pieza es de origen brasileño y el precio de esta coquilla en el mercado internacional se encuentra valorada entre $20\,000 - 25\,000 \text{ USD}$. La empresa ha remotorizado alrededor de 500 carros con pistones importados, teniendo un gasto de $7\,000,00$

CUC. Esto es solo en la provincia, si contamos en todo el país sería mayor el dinero utilizado para reponer el pistón en los motores Yuchai.

El precio según la metodología de cálculo empleada en EISA Pinar para el pistón Yuchai elaborado por la tecnología propuesta es de $6,62 \text{ CUC}$ y $0,27 \text{ CUP}$; mientras que antes este salía a $14,00 \text{ USD}$, siendo importado. Como puede verse el precio disminuye en más del 90% , por lo que es rentable la elaboración de la fundición de la coquilla para EISA Pinar, ya que ayuda a aumentar los ingresos y la posibilidad de comprar equipos y materias primas necesarias para el aumento de la producción y aumentar el salario de los trabajadores a través del estímulo.

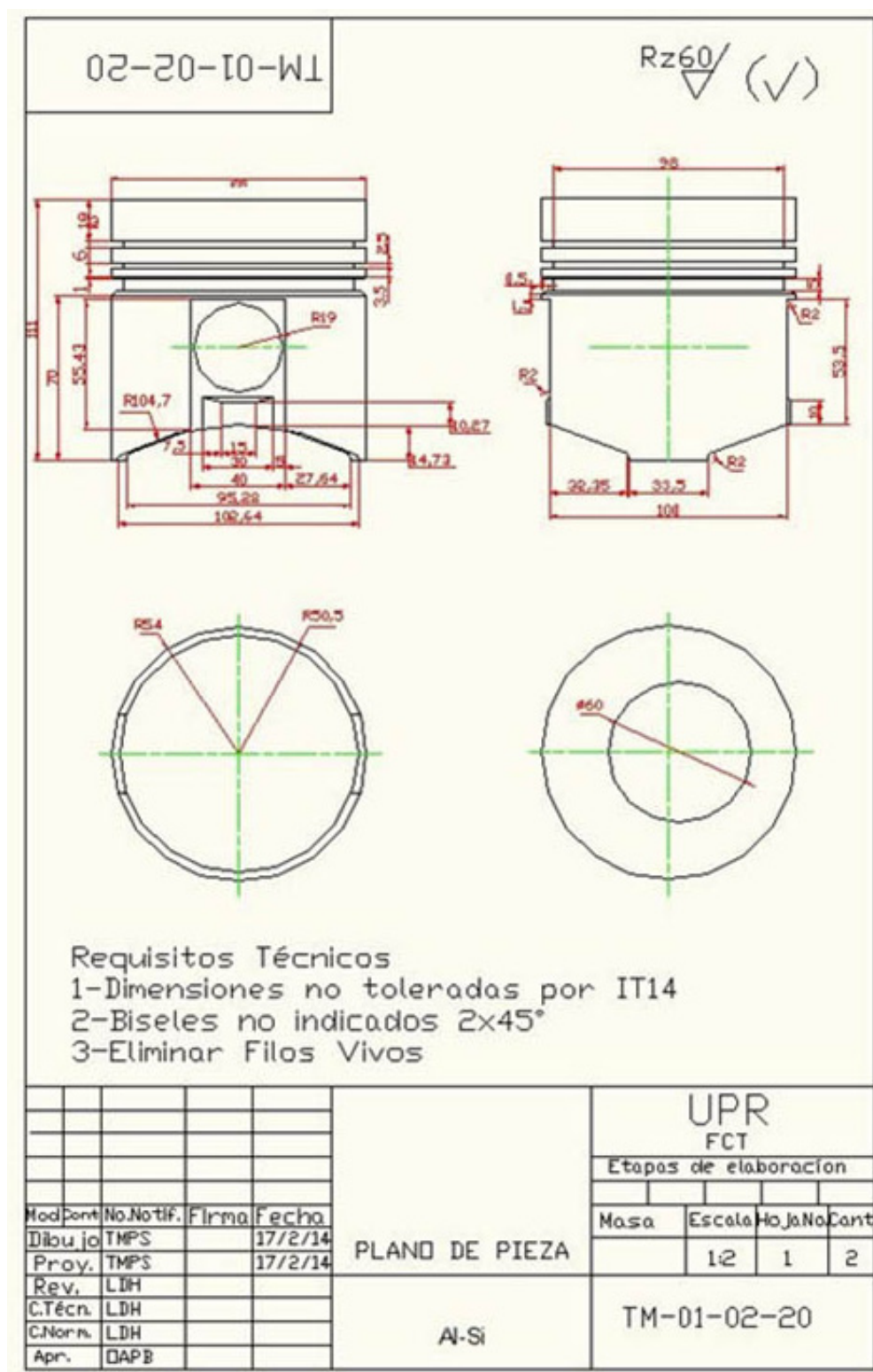
4. Conclusiones

- Teniendo en cuenta los parámetros tecnológicos para la elaboración de moldes metálicos, así como las condiciones de explotación del pistón Yuchai y las aleaciones requeridas, se puede contar con la coquillas para la función de las los dispositivos en Cuba.
- La utilización de estas herramientas ayuda al país en la remotorización de automóviles pesados con los estándares de seguridad requeridos internacionalmente.
- Se logró una producción de estos elementos con un costo económicamente factible para la empresa y el país.

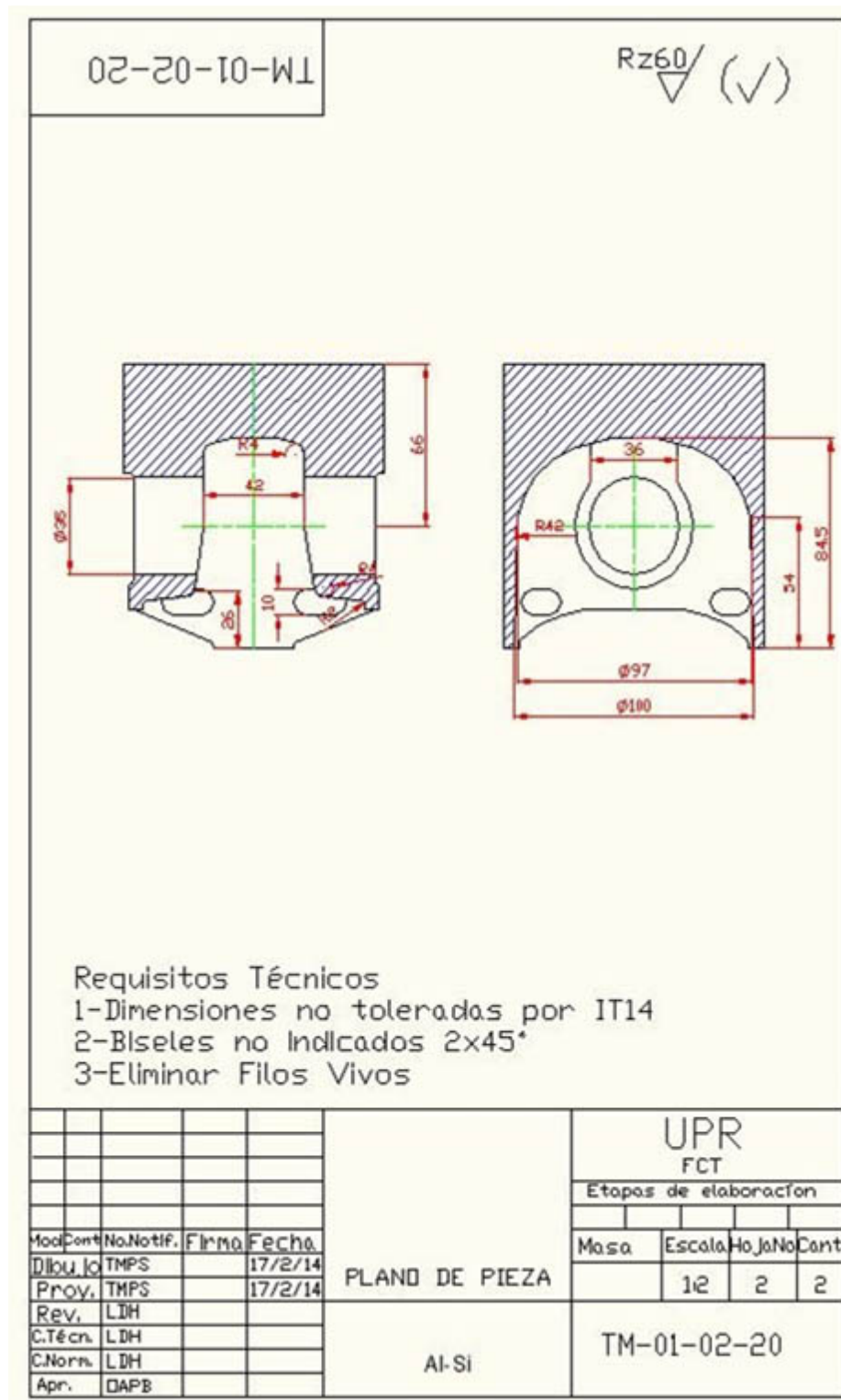
Referencias

- [1] F. Enrique, *Manual del fundidor*, La Habana: Científico-Técnica, 1986.
- [2] U. C. Villas, *Guía tecnológica de fundición*, La Habana: ISPJAE, 1970.
- [3] E. Yuchai, *Manual de operaciones y mantenimiento del motor de diesel*, China: Guangxi Ltda, 2009.
- [4] L. Goyo, *Tecnología de fundición II*, La Habana: ISPJAE, 1984.
- [5] N. Titov, *Tecnología de fundición*, Moscú: MIR, 1981.

Anexo 1. Plano de pieza, dimensiones y diámetros principales del pistón.



Anexo 2. Plano de pieza, dimensiones y diámetros interiores del pistón.



Dinámica fractal de niños con trastornos en el aprendizaje en México

Ixchel **Lina-Reyes**¹
Oswaldo **Morales-Matamoros**¹
Jesús Jaime **Moreno-Escobar**¹
Teresa Ivonne **Contreras-Troya**²

¹Instituto Politécnico Nacional
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Edificio 5 2do. Piso, Col. Lindavista,
CP 07738 Ciudad de México.
MEXICO

²Universidad Autónoma del Estado de México
Campus Ecatepec
Calle José Revueltas 17, Col. Tierra Blanca,
C.P. 55020, Ecatepec de Morelos.
MEXICO

Teléfonos: ¹57296000 ext. 54639; ²57873626 ext.147

correos electrónicos (emails):
sadness966@hotmail.com
omoralesm@ipn.mx
vonnetroya@gmail.com

Recibido 30-08-2018, aceptado 7-11-2018.

Resumen

En este trabajo se caracteriza la dinámica de fluctuaciones de series de tiempo de niños con trastornos de aprendizaje en México, específicamente con problemas de lecto-escritura, aplicando la geometría fractal y la teoría del crecimiento de interfaces rugosas. A partir de EEG de niños diagnosticados, se construyeron series de tiempo desviaciones estándar $v(t, \tau)$ para cada uno de los diecinueve canales distribuidos en diferentes regiones de la corteza cerebral. La autoafinidad de las series de tiempo $v(t, \tau)$ (tratadas como interfaces en movimiento) se caracterizó por el escalamiento dinámico de la estructuras de función: (i) $\sigma \propto (\delta)^\zeta$, con ζ como el exponente local, y (ii) $\sigma \propto (\tau)^\beta$, con β como el exponente de crecimiento de fluctuaciones. En este trabajo se halló que el comportamiento de niños evaluados con problemas de lecto-escritura, es semejante al escalamiento dinámico de Family-Vicsek para

la cinética de rugosidad de una interface en movimiento. Por consiguiente, sería posible emplear las herramientas de la teoría de la rugosidad cinética para caracterizar y modelar las fluctuaciones de series de tiempo de procesos cognitivos que emergen del cerebro humano.

Palabras clave: lecto-escritura, EEG, fluctuaciones, autoafinidad, escalamiento dinámico, correlaciones, interfaces rugosas.

Abstract (Fractal Dynamics of Children with Learning Disorders in Mexico)

This work characterizes the dynamics of time series fluctuations of children with learning disorders in Mexico, specifically with reading problems, by applying fractal geometry and roughness interface growth theory. From the EEG of children diagnosed were built time series of standard deviation $v(t, \tau)$ for each of the 19 channels distributed in different regions of the cerebral cortex. The self-affinity of the time series $v(t, \tau)$ (treated as interfaces in motion) is characterized by the scaling behavior of the structure functions by one hand $\sigma \propto (\delta)^\zeta$, with ζ as the local exponent, and the other hand $\sigma \propto (\tau)^\beta$, with β as the fluctuation growth exponent. It was found that the behavior of children with reading problems is similar to the Family-Vicsek scaling dynamic for a kinetic roughening of moving interface. Therefore it would possible to characterize and model the studied time series $v(t, \tau)$ by using the tools from the theory of kinetic roughening.

Index terms: reading, EEG, fluctuations, self-affinity, dynamic scaling, power laws, correlations, rough interfaces.

1. Introducción

Para Mandelbrot [1], los fractales son objetos matemáticos que generalizan a los objetos geométricos euclidianos para dimensiones no enteras y permiten ahondar en el estudio de los sistemas complejos, del desorden y del caos.

Los fractales no solo se refieren a los objetos geométricos sino, de manera más amplia, a cualquier clase de fenómenos que posean escalamiento que exhiba simetría de dilatación, o invariancia de escala, frecuentemente caracterizada por la apariencia de una distribución de ley de potencia. Los fenómenos

fractales de este tipo encuentran aplicaciones en diversas disciplinas de interés, tales como finanzas y economía, geología, el análisis de las secuencias del ADN, biología, entre otros.

Los sistemas invariantes de escala normalmente se caracterizan por dimensiones no enteras (fractales). La noción de dimensiones no enteras y varias propiedades básicas de los objetos fractales fueron estudiadas desde el siglo XIX por Georg Cantor, Giuseppe Peano y David Hilbert, así como al inicio del siglo XX por Helge von Koch, Waclaw Sierpinski, Gaston Julia y Felix Hausdorff. En el siglo pasado, Mandelbrot [1] desarrolló la idea de la geometría fractal para unificar un número de estudios previos sobre formas irregulares y procesos naturales. Mandelbrot se enfocó en un conjunto particular de tales objetos y formas, a saber, aquellos que son autosimilares, es decir, donde una parte del objeto es idéntica a una pieza mayor. Mandelbrot dobló estos fractales, hallando la sorprendente ubicuidad de formas autosimilares en la naturaleza.

La geometría fractal es una herramienta matemática para tratar con sistemas complejos que no tengan una escala característica de longitud, o invariancia de escala. Un ejemplo bien conocido es la forma de una línea costera. Cuando se observan dos fotos de una línea costera en dos escalas diferentes, con 1 cm correspondiente a 0.1 km, no es posible decir a qué escala pertenece cada foto: ambas fotos parecen iguales; y estas características se aplican también a otros patrones geográficos como ríos, grietas, montañas y nubes.

Según Mandelbrot [2] [1], se habla de fractales determinísticos cuando se separa una pieza pequeña de un fractal y se magnifica isotrópicamente al tamaño de la original, luciendo ambas igual. Al magnificar isotrópicamente, se han rescalado las direcciones x , y y z por el mismo factor.

Por otra parte, existen sistemas que son invariantes solo bajo magnificaciones "anisotrópicas"; a los cuales se les llama fractales autoafines (véase Fig. 1). Por ejemplo, si la estructura es invariante bajo la magnificación anisotrópica $x \rightarrow 4x$, $y \rightarrow 2y$ y se separa una pequeña pieza de la estructura original (en el límite de $n \rightarrow \infty$ iteraciones) y se rescala el eje x por un factor de cuatro y el eje y por un factor de dos, se obtendrá exactamente la estructura original.

Si una curva autoafin es invariante de escala bajo la transformación $x \rightarrow bx$, $y \rightarrow ay$, se tiene que:

$$F(bx) = aF(x) = b^H F(x) \quad (1)$$

donde $H = \log a / \log b$ es el exponente de Hurst [1] [2] (véase Fig. 2).

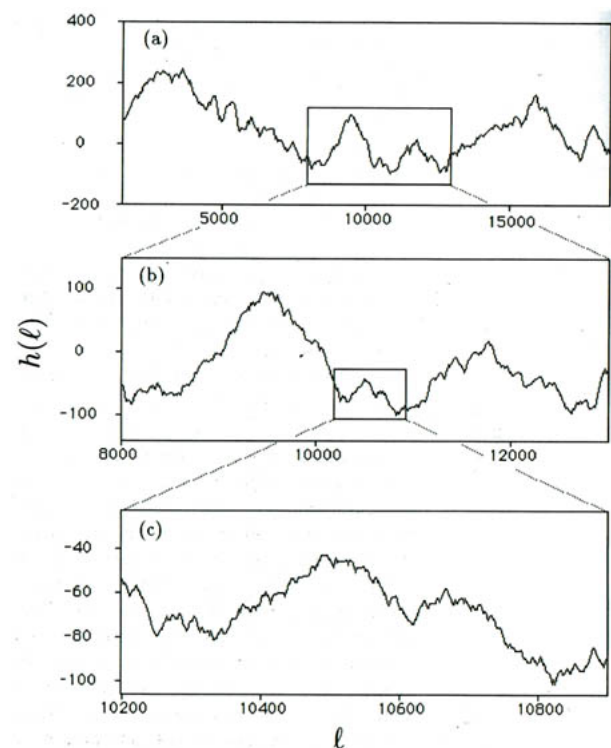


Fig. 1. Función rescalada autoafin [3].

Las series de tiempo son conjuntos de datos o registros de alguna variable observable en estudio. Dichos registros están separados por un mismo intervalo de tiempo, como segundos, minutos, horas, semanas, meses, años, etc. Las series de tiempo reflejan el comportamiento de un sistema complejo a través del tiempo.

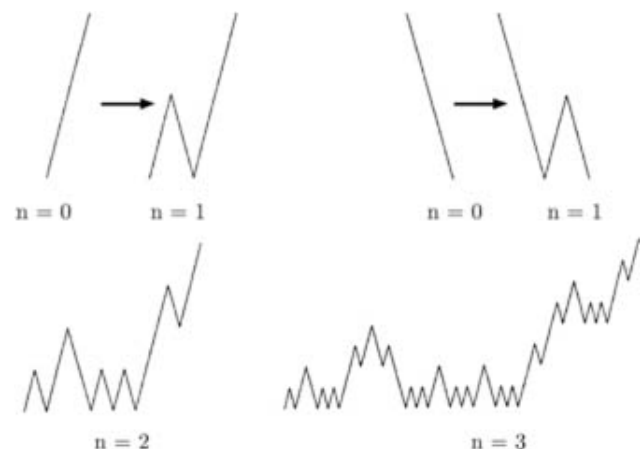


Fig. 2. Modelo determinístico de un fractal autoafin.

Kantz y Schreiber [4] proponen como enfoque para estudiar dichos sistemas al análisis de las fluctuaciones de series de tiempo (autoafines) de las variables (observables) seleccionadas, que refleja el estado del sistema en una representación dimensionalmente reducida. A partir de estas series de tiempo de fluctuaciones es posible caracterizar la dinámica de los sistemas complejos mediante leyes de escalamiento, las cuales son válidas en un rango amplio (posiblemente ilimitado) de escalas de tiempo (invariancia de escala o autosimilitud) y que son una propiedad de los fractales.

Si se encuentra que un sistema complejo se caracteriza por la dinámica fractal de fluctuaciones con exponentes de escalamiento particulares, esto ayudaría a obtener predicciones sobre el comportamiento futuro del sistema y sobre su reacción a perturbaciones externas o cambios en las condiciones de frontera. Las transiciones de fases en la regulación del comportamiento de un sistema complejo frecuentemente se asocian a sus de fluctuaciones, permitiendo detectar tales transiciones (o los estados correspondientes) por análisis fractal. Un ejemplo para la aplicación exitosa de este enfoque es el sistema cardiovascular humano, donde la fractalidad del intervalo de tiempo del latido del corazón demostró reflejar ciertos deterioros cardíacos, así como las etapas de sueño [5] [6].

Al realizar un análisis o caracterización fractal de las fluctuaciones de series de tiempo generadas por algún sistema complejo, lo que se busca es encontrar comportamiento persistente, ya que esto permitirá realizar predicciones probabilísticas sobre los estados futuros del sistema en cuestión con base en el valor de los exponentes de escalamiento obtenidos para dicho comportamiento.

Para determinar si el comportamiento de un sistema complejo, a partir de las fluctuaciones de series de tiempo autoafines o estocásticas generadas por dicho sistema, despliega persistencia a diferentes escalas de tiempo, se debe obtener, en principio, el valor del exponente Hurst (H) o de rugosidad para las series de tiempo autoafín, con base en la ecuación (1).

Los valores de $H < 1/2$ indican comportamiento anticorrelacionado (o antipersistente) a largo plazo: si los valores de la variable observable van aumentando, lo más probable es que el siguiente valor sea menor al último, y viceversa; valores de $H > 1/2$ indican comportamiento correlacionado positivo (o persistente) a largo plazo: si los valores de la variable observable van aumentando, lo más probable es que el siguiente valor sea mayor al último, y viceversa. Por último, para valores de $H = 1/2$ no existe correlaciones, es decir, se tiene un comportamiento totalmente aleatorio.

Muchos registros naturales están caracterizados por correlaciones a corto plazo pronunciadas como complemento al escalamiento de las correlaciones a largo plazo. Por ejemplo, existen correlaciones a corto plazo debido a situaciones particulares del clima en los datos de la temperatura y debido a efectos respiratorios en los datos de los latidos del corazón. Los *crossovers* (o puntos críticos en donde se tiene un cambio de fase o de régimen del sistema) en el comportamiento de escalamiento de las series de tiempo complejas pueden también ser causados por distintos mecanismos de regulación y escalas de tiempo lentas y rápidas. Las fluctuaciones de un río, por ejemplo, muestran diferente comportamiento de escalamiento en escalas de tiempo por abajo y por arriba de aproximadamente un año.

Por otro lado, la teoría de sistemas desordenados ha jugado un papel principal en el estudio de los sistemas complejos, específicamente el campo del crecimiento desordenado de superficies, las cuales pueden ser suaves, pero al mismo tiempo rugoso (véase Fig. 3 y Fig. 4). En general, la morfología depende de la longitud en la escala de observación. Los objetos fractales en la naturaleza son los mismos en diversas escalas de observación. Muchas interfaces y superficies son ejemplos de objetos autoafines, los cuales están entre los objetos fractales y los no fractales cuando se hace un cambio de escala que es el mismo en todas las direcciones, los objetos autoafines cambian su morfología. Por otra parte, cuando un cambio de escala se realiza y es diferente en cada direc-

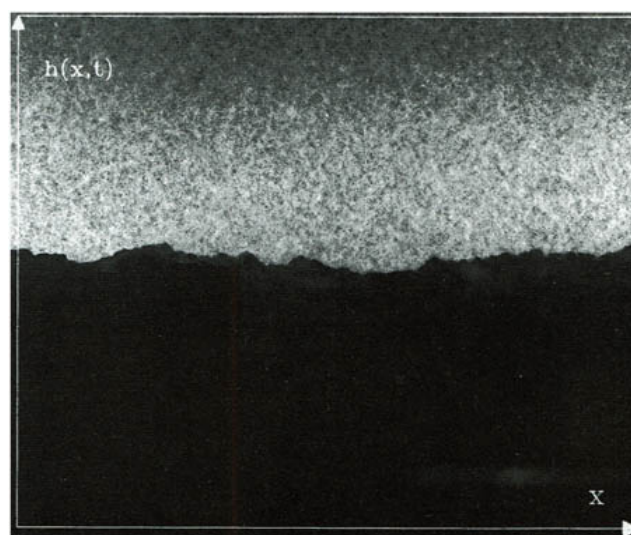


Fig. 3. Un segmento de papel de 8cm en el que se propaga el fuego de abajo hacia arriba [7].

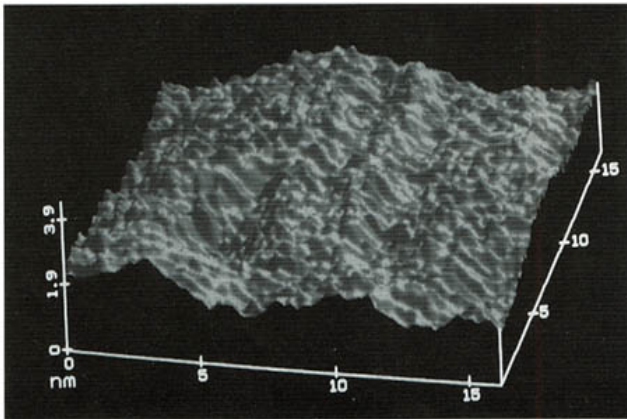


Fig. 4. Imagen de un sustrato rugoso de plata [7].

ción, las interfaces no cambian en su morfología. Más bien se comportan como objetos fractales que parecen iguales antes y después de la transformación.

Existen ejemplos de interfaces interesantes en diversos sistemas complejos biológicos, como es el crecimiento de colonias de bacterias. Por ejemplo, al preparar agar en un plato de petri, en la parte media del agar una bacteria se inocula hasta multiplicarse. A escalas microscópicas la bacteria exhibe un movimiento aleatorio. Pero al observar a distancia, un rango de morfologías interesantes se aprecian. La morfología real

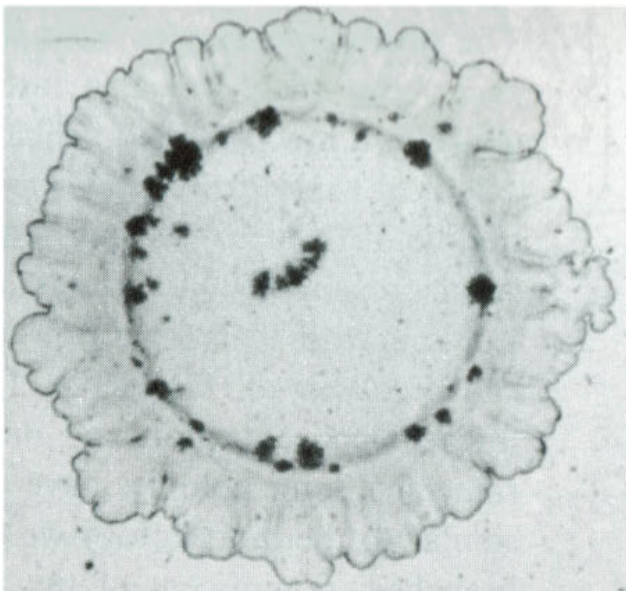


Fig. 5. Colonia de bacterias con una forma rugosa compacta [7].

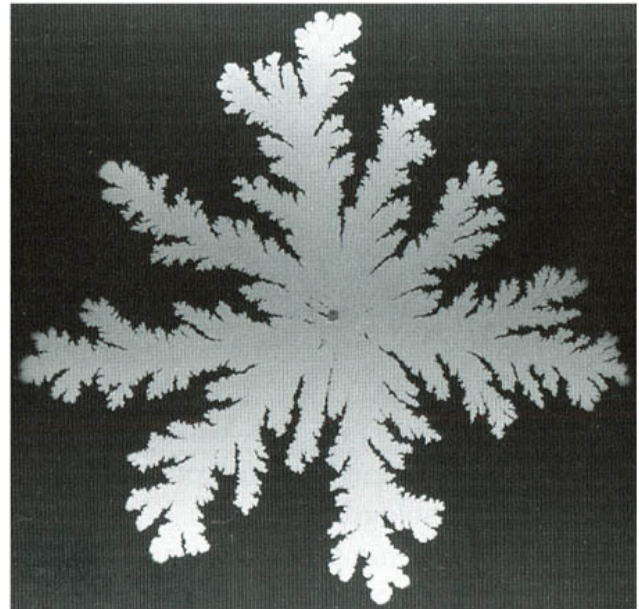


Fig. 6. Colonia de bacterias con morfología ramificada, parecida al modelo de crecimiento de Agregación de Deposición Limitada [7].

depende de la concentración de nutrientes y de otros parámetros experimentales controlables. Algunas colonias tienen una forma compacta, con una superficie rugosa, similar a la morfología del café derramado. Otras colonias tienen formas ramificadas, que se parecen a las islas observadas en la deposición atómica (véase Fig. 5 y Fig. 6).

En la Fig. 7 se muestra una gráfica representativa de la evolución temporal del ancho de la superficie, en la cual se tienen dos regiones separadas por un tiempo de cruce t_x (*crossover*). Inicialmente, el ancho aumenta como una potencia de tiempo:

$$w(L, t) \sim t^\beta \quad [t \ll t_x] \quad (2)$$

donde el exponente β , llamado exponente de crecimiento de fluctuaciones, caracteriza el tiempo dependiente de la dinámica del proceso de rugosidad.

El aumento en el ancho de la ley de potencia (2) no continúa de forma indefinida, sino que es seguida por un régimen de saturación (la región horizontal de la Fig. 7) durante el cual el ancho alcanza un valor de saturación, w_{sat} . Conforme aumenta el tamaño del sistema, L , el ancho de saturación, w_{sat} , también crece y, por ende, la dependencia también sigue la ley de potencia:

$$w_{sat}(L) \sim L^\alpha \quad [t \ll t_x] \quad (3)$$

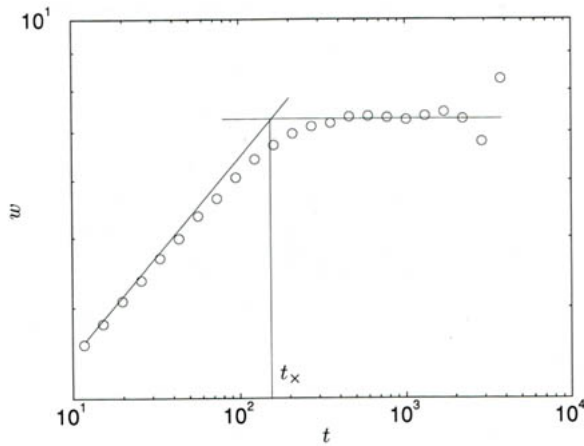


Fig. 7. Crecimiento de la interfaz con el tiempo para un sistema de tamaño L . Hay dos regímenes característicos: (i) crecimiento ley de potencia, que aparece como una línea recta en la gráfica log-log, y (ii) saturación [7].

donde el exponente α , llamado exponente de rugosidad o de Hurst, caracteriza la rugosidad de la interface saturada.

De acuerdo a Barabási y Stanley [7], debido a que el tiempo de saturación al cual la interface cruza el límite del comportamiento de la ecuación (2) hacia el de la ecuación (3) depende del tamaño del sistema y a que $w(L, t)/w_{sat}(L)$ es una función solo de t/t_x , es decir, $w(L, t)/w_{sat}(L) \sim f(t/t_x)$, donde $f(u)$ es una función de escalamiento, al reemplazar w_{sat} y t_x en $w(L, t)/w_{sat}(L) \sim f(t/t_x)$, con sus respectivas formas de escalamiento, se obtiene el comportamiento de escalamiento dinámico de Family-Vicsek:

$$w(L, t) \sim L^\alpha f(t/L^{\alpha/\beta}) \quad (4)$$

Para el escalamiento dinámico de la ecuación (4) existen dos tipos diferentes de regímenes, dependiendo de su argumento $u \equiv t/t_x$. Por un lado, para u pequeña, la función de escalamiento incrementa conforme a la ley de potencia. En este régimen, se tiene:

$$f(u) \sim u^\beta \quad [u \ll 1] \quad (5)$$

Por otro lado, conforme $t \rightarrow \infty$, el ancho se satura. La saturación es alcanzada para $t \gg t_x$, es decir, el argumento de la función de escalamiento $u \gg 1$. En este límite, se tiene:

$$f(u) = \text{constante} \quad [u \gg 1] \quad (6)$$

Como ya se mencionó, una propiedad muy importante de la mayoría de las superficies es la existencia de correlaciones en el sistema, lo que implica que cuando el ancho se satura, se alcanza una región crítica, en la cual las fluctuaciones del ancho prácticamente no varían y estas se explican mediante leyes de potencia. Asimismo, en la región crítica el valor de los exponentes de escalamiento α y β prácticamente no varían, por lo que se despliega la simetría del sistema conocida como invariancia de escala.

Asimismo, como ya se señaló, un sistema complejo en estudio despliega comportamiento aleatorio cuando $\alpha = 0.5$ (ruido blanco), comportamiento persistente cuando (invariancia de escala asociada a correlaciones positivas a largo plazo), y comportamiento antipersistente cuando $0 < \alpha < 0.5$ (invariancia en la escala asociada a correlaciones negativas a largo plazo).

También ya se explicó que el ancho de la interface w se incrementa como una potencia del tiempo, y la rugosidad saturada despliega una dependencia de ley de potencia con respecto al tamaño del sistema. El lenguaje natural para describir e interpretar dicho comportamiento de escalamiento es el de fractales. Las superficies son generalmente invariantes bajo transformaciones anisotrópicas, y pertenecen a la clase más amplia de los fractales autoafines.

Para cuantificar superficies desordenadas, existe una subclase especial de fractales anisotrópicos, descritos para funciones con un solo valor llamadas funciones autoafines. Con base en la ecuación (1), para cualquier función autoafin de un solo valor $h(x)$, con x definida en el intervalo $[0, 1]$, se establece que:

$$h(x) \sim b^{-\alpha} h(bx) \quad (7)$$

donde α es el exponente autoafin o exponente de rugosidad o de Hurst, el cual ofrece una medición cuantitativa de la "rugosidad" de la función $h(x)$. La relación de la ecuación (7) formula, en términos generales, que una función autoafin debe ser rescalada de diferente manera en el plano horizontal que en plano vertical: si se 'amplia' la función horizontalmente con un factor b ($x \rightarrow bx$), esta debe ser 'ampliada' verticalmente con un factor b^α [$h \rightarrow b^\alpha h$], a fin de que el objeto resultante conserve la misma simetría de la generación previa. Para el caso especial $\alpha = 1$, la transformación es isotrópica y el sistema es autosimilar.

2. Desarrollo

Para realizar esta investigación, se recolectaron los registros, por una parte, de una muestra de 20 niños con trastornos de aprendizaje, específicamente pacientes con problemas de lecto-

escritura (grupo experimental) residentes de la Ciudad de México y de la zona conurbada.

Cabe resaltar que los registros (electroencefalogramas, EEG) de algunos niños evaluados fueron proporcionados por la doctora Alejandra Fávila, docente investigadora de la Universidad Autónoma del Estado de México, campus Ecatepec.

Todos los niños cursaban el tercer grado de primaria. Los criterios de inclusión fueron: (i) un coeficiente intelectual igual o mayor a 85; (ii) para formar el grupo experimental se seleccionaron a los niños que obtuvieran en los dominios de lenguaje, habilidades metalingüísticas y de lectura en la evaluación neuropsicológica un rango percentil de 3 a 25 (bajo); y (iii) los criterios de exclusión fueron padecer problemas auditivos, visuales y motores, así como dificultades en la articulación de sonidos, historia de problemas neurológicos o psiquiátricos.

A cada niño evaluado se le colocaron 19 electrodos (canales) en su corteza cerebral, a saber: C3, C4, CZ, F3, F4, F7, F8, FP1, FP2, FZ, O1, O2, P3, P4, PZ, T3, T4 T5, y T6, por lo que se generaron 19 EEG por cada niño evaluado (véase Fig. 8). A partir de cada EEG, se obtuvo una serie de tiempo original.

De acuerdo con Kantz y Schreiber [4], la dinámica interna de muchos sistemas complejos se ha estudiado a través de la caracterización de las fluctuaciones de las series de tiempo generadas por estos sistemas. En principio, y desde un punto de vista estadístico, las fluctuaciones de las series de tiempo, $z(t)$, se caracterizan por sus desviaciones estándar:

$$v(t, \tau) = \sqrt{\sum (z(t) - \overline{z(t)})^2 / n} \quad (8)$$

para el intervalo de tiempo de una muestra, τ [9].

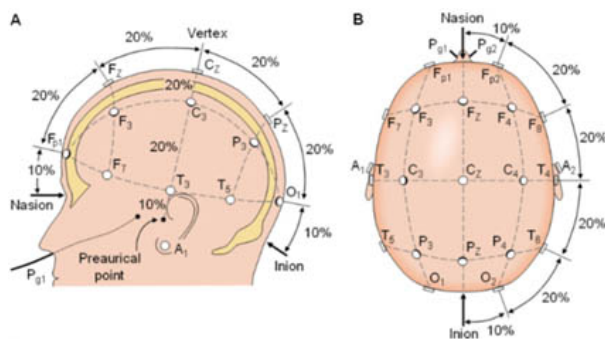


Fig. 8. Sistema Internacional 10-20 [8].

Balankin y Morales [10] reportaron que las fluctuaciones, tratadas como desviaciones estándar, de algunos sistemas complejos despliegan una propiedad fundamental de los fractales: correlaciones de ley de potencia a largo plazo (persistencia), concluyendo que los sistemas no responden inmediatamente a cierta cantidad de información que fluye hacia los mismos, sino que estos asimilan dicha información después de cierto periodo de tiempo.

De acuerdo con Balankin y Morales [10], el análisis de las propiedades de escalamiento de las fluctuaciones ha puesto al descubierto información relevante concerniente a los procesos subyacentes responsables del comportamiento macroscópico observado en la dinámica del mercado petrolero.

De acuerdo con Constantin y Das Sarma [9] y con Balankin y Morales [10], la memoria a largo plazo en las series de tiempo de fluctuaciones se ha analizado frecuentemente a través de su función de estructura, definida como:

$$\sigma(\tau, \delta_t) = \overline{[v(t + \delta_t, \tau) - v(t, \tau)]^2}^{1/2} \quad (9)$$

donde la barra superior denota promedio sobre todos los tiempos t en las series de tiempo de longitud $T - \tau$ (con T como la longitud de la serie de tiempo original $z(t)$) y los paréntesis triangulares indican promedio sobre diferentes realizaciones de la ventana de tiempo de tamaño δ_t .

Constantin y Das Sarma [9], Balankin *et al.* [11], Balankin y Morales [10] y Balankin *et al.* [12] han encontrado que la función de estructura de las fluctuaciones exhibe el comportamiento de ley de potencia, característico de los fractales autoafines:

$$\sigma \propto (\delta_t)^\zeta \quad (10)$$

donde ζ es el exponente local (o de rugosidad, α , o de Hurst, H), el cual caracteriza el grado de intensidad de las correlaciones a largo plazo en la dinámica de las fluctuaciones [13].

No obstante, una mejor comprensión de la dinámica de fluctuaciones requiere una adecuada descripción para las propiedades de correlación de las variables locales en diferentes intervalos de tiempo de las muestras τ [10]. Por ende, en este trabajo se aplicó el enfoque propuesto por Balankin [14] para estudiar la dinámica fluctuaciones de series de tiempo estocástica o autoafines. Por consiguiente, se trataron las series de tiempo $v(t, \tau)$ como interfaces en movimiento, con el intervalo de tiempo de la muestra, τ , desempeña como la variable de tiempo y el tiempo físico, t , como la variable espacial.

Además, Balankin [14] señala que la función de estructura de las fluctuaciones también escala con el intervalo de la muestra τ como:

$$\sigma \propto \tau^\beta \quad (11)$$

donde β es el exponente del crecimiento de fluctuaciones.

Con base en todo lo anteriormente expuesto, en este trabajo se caracterizó la dinámica de fluctuaciones de las series de tiempo originales (EEG), $z(t)$, correspondientes a los 19 canales de cada niño evaluado con problemas de lecto-escritura (grupo experimental).

Por cada serie de tiempo $z(t)$, se construyeron 198 series de tiempo de desviaciones estándar $v(t, \tau)$. Por consiguiente, se construyeron 3762 (198×19) series de tiempo $v(t, \tau)$ por cada niño evaluado.

Para caracterizar la dinámica de las series de tiempo $v(t, \tau)$, se consideró, por una parte, la longitud de cada una de las 19 series de tiempo $z(t)$ de $T = 6650$ registros de voltaje (μV) versus tiempo (segundos), con una tasa de muestreo $\Delta t = 1$ segundo. Por la otra, se consideró para las 3762 series de tiempo $v(t, \tau)$ un rango del intervalo de tiempo de la muestra de $3 \leq \tau \leq 200$, con ventanas de tiempo de los intervalos de las muestras de $\delta_t = 1$ segundo.

En la Fig. 9(a) y la Fig. 10(a) se muestran, a manera de ejemplo, las gráficas de las series de tiempo originales, $z(t)$, de los canales Fp1 y PZ, respectivamente, de un niño evaluado del grupo experimental.

Asimismo, en la Fig. 9(b)-9(d) y la Fig. 10(b)-10(d) se muestran las gráficas de series de tiempo de desviaciones estándar, $v(t, \tau)$, de los canales Fp1 y PZ para $\tau = 25$, $\tau = 50$ y $\tau = 100$ segundos, respectivamente.

En la Fig. 11(a) y la Fig. 12(a) se muestran las gráficas de la función de estructura $\sigma \propto (\delta_t)^\zeta$ versus δ_t , con distintas τ , para los canales Fp1 y PZ, respectivamente. En ambas gráficas, cada punto (círculo) de las curvas representa la desviación estándar promedio, σ , para cada una de las 198 realizaciones δ_t . Las líneas rectas representan el ajuste de los valores de σ promedio a una ley de potencia, con base en la ecuación (10). Y los valores de las pendientes de cada línea recta son los valores del exponente local ζ .

Para el canal Fp1, $\zeta = 0.564$, y para el canal PZ, $\zeta = 0.633$. En la Tabla 1 se presentan los valores de los exponentes ζ para los 19 canales de un niño evaluado del grupo experimental.

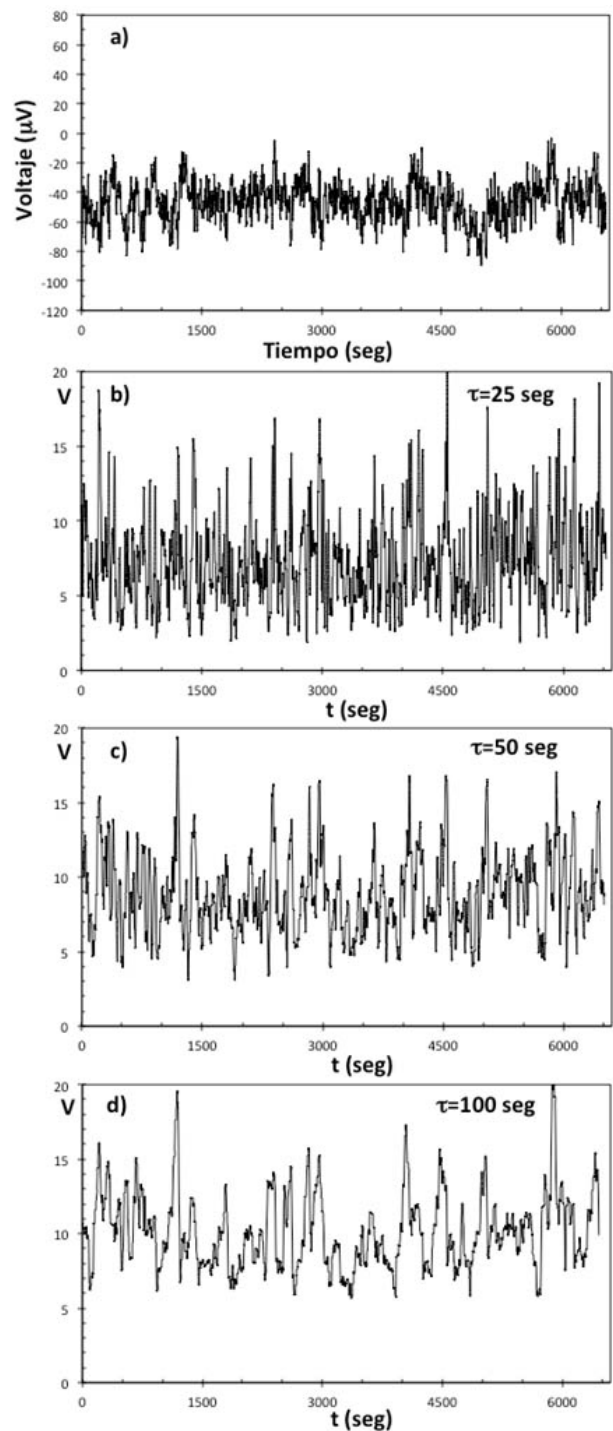


Fig. 9. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal Fp1 con $T = 6650$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal Fp1 con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25$ s, (c) $\tau = 50$ s y (d) $\tau = 100$ s.

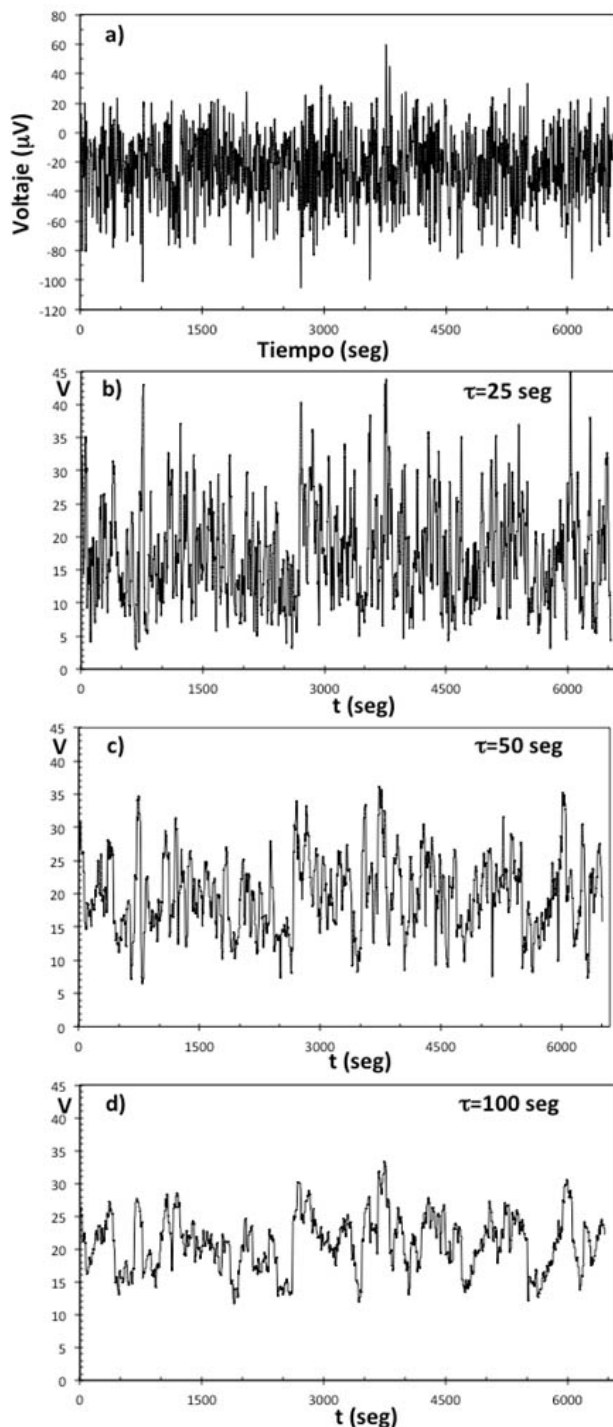


Fig. 10. (a) Series de tiempo, $z(t)$, para la señal del canal PZ con $T = 6655$ datos de voltaje versus tiempo. Series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, del canal PZ con intervalos de tiempo: (b) $\tau = 25$ s, (c) $\tau = 50$ s y (d) $\tau = 100$ s.

Tabla 1. Valores de los exponentes de escalamiento ζ y β de las series de fluctuaciones de las desviaciones estándar.

Canal	ζ	β
C3	0.590	0.817
C4	0.600	0.813
CZ	0.614	0.591
F3	0.605	0.824
F4	0.639	0.799
F7	0.595	0.816
F8	0.561	0.840
FP1	0.564	0.795
FP2	0.560	0.829
FZ	0.613	0.819
O1	0.580	0.801
O2	0.585	0.816
P3	0.598	0.805
P4	0.591	0.792
PZ	0.633	0.819
T3	0.559	0.791
T4	0.441	0.791

En cuanto al exponente del crecimiento de fluctuaciones, β , este se obtuvo tomando como punto de partida a las series de tiempo de desviaciones estándar, $v(t, \tau)$. Para cada una de las 198 series de tiempo de fluctuaciones $v(t, \tau)$ se generaron, a su vez, otras 198 series de tiempo de desviaciones estándar de fluctuaciones, es decir, se construyeron 39204 (198×198) series de tiempo de fluctuaciones de $v(t, \tau)$. Esto se realizó para determinar de qué manera ha estado fluctuando el comportamiento del sistema en estudio.

En la Fig. 11(b) y la Fig. 12(b) se presentan las gráficas de la función de estructura $\sigma \propto \tau^\beta$ versus $\tau(s)$, con distintas δ_i , para los canales Fp1 y PZ, respectivamente. En estas figuras, cada punto (triángulo, cuadrado y círculo) de las gráficas representa la desviación estándar promedio de las fluctuaciones, σ , para cada uno de los 198 δ_i consideradas. Las líneas rectas representan el ajuste de los valores de σ promedio a una ley de potencia, con base en la ecuación (11). Y los valores de las pendientes de cada línea recta son los valores del exponente de fluctuaciones β .

Para el canal Fp1, $\beta = 0.795$ para $\delta_i = 25$ s (1), $\delta_i = 50$ s (2), y $\delta_i = 100$ s (3). En cuanto al canal PZ, se tiene que $\beta = 0.819$ para

$\delta_t = 25$ s (1), $\delta_t = 50$ s (2), y $\delta_t = 100$ s (3). En la Tabla 1 se presentan los valores de los exponentes β para los 19 canales de un niño evaluado del grupo experimental.

Como se aprecia en la Tabla 1, 18 canales presentan un valor del exponente local ζ por arriba de 0.5, lo significa que las series de tiempo $v(t, \tau)$ despliegan comportamiento persistente (correlaciones positivas) con un ajuste de ley de potencia hasta aproximadamente $\tau \geq 30$ s (véase Fig. 11(a) y Fig. 12(a)).

En cuanto a los valores de β , en la Tabla 1 se observa que estos valores son mayores que 0.5 para los 19 canales. Esto indica que las fluctuaciones del sistema continúan creciendo en los diferentes intervalos de tiempo τ como una ley de potencia, lo que sugiere que el sistema en estudio tarda mucho tiempo en asimilar la información que fluye hacia el mismo, pero parece que en algún intervalo de tiempo mayor al considerado el sistema va a dejar de fluctuar (véase Fig. 11(b) y Fig. 12(b)).

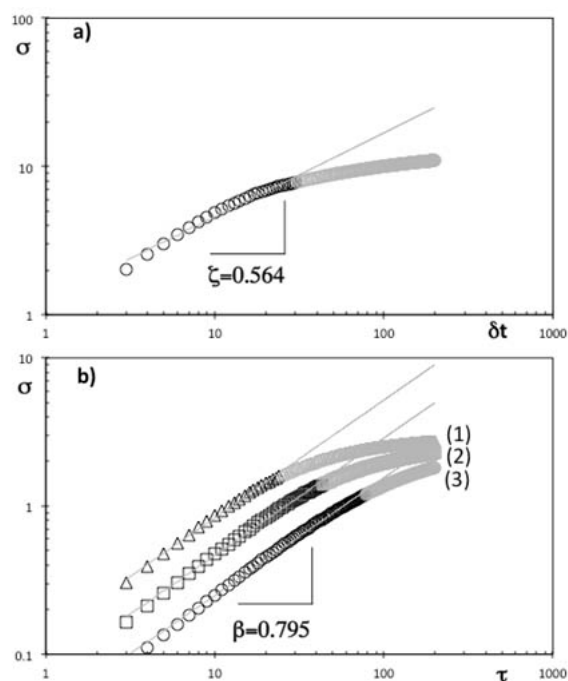


Fig. 11. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ vs δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.564$, para el canal Fp1. (b) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (11) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.795$, del canal Fp1, para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

3. Análisis y discusión de resultados

Primeramente conviene observar en la Fig. 9(b)-9(d) y en la Fig. 10(b)-10(d) la similitud visual entre las series de tiempo de desviaciones estándar $v(t, \tau)$ con diferentes intervalos de tiempo considerados ($\tau = 25$, $\tau = 50$ y $\tau = 100$ segundos). Cuantitativamente, la autoafinidad de las series de tiempo $v(t, \tau)$ se caracterizó por el comportamiento de escalamiento de la ecuación (10), como se observa en la Fig. 11(a) y en la Fig. 12(a).

La función de estructura despliega una ley de potencia (ecuación (10)) con $\zeta(\tau) = \text{const}$ dentro de un rango de intervalos δ_t . En la Fig. 11(a) y en la Fig. 12(a) se presentan las gráficas del escalamiento dinámico de la función de estructura para los canales PF1 y PZ, respectivamente. Además se encontró que la función de estructura de las desviaciones estándar $v(t, \tau)$ también escala con τ como $\sigma \propto \tau^\beta$. En la Fig. 11(b) y en la Fig. 12(b) se presentan las gráficas de la función de estructura de las desviaciones estándar de los canales PF1 y PZ, respectivamente.

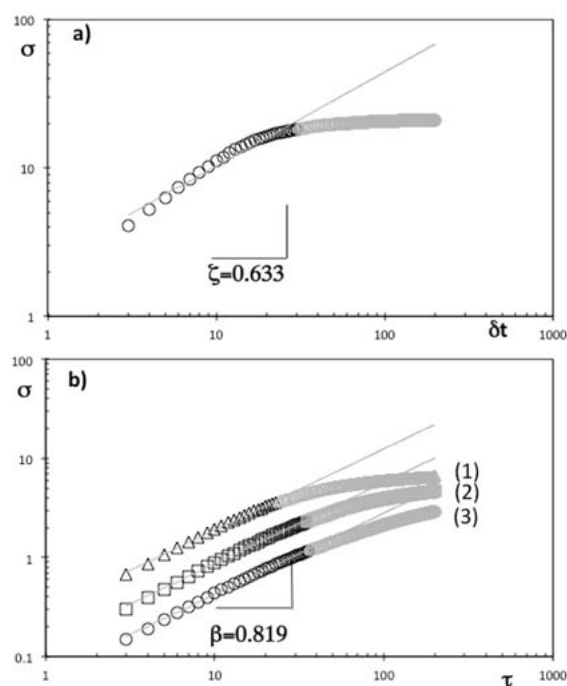


Fig. 12. (a) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus δ_t ($3 \leq \delta_t \leq 200$ s), para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (10) de la gráfica es el valor del exponente local $\zeta = 0.633$, para el canal PZ. (b) Escalamiento dinámico de la función de estructura, $\sigma(\tau, \delta_t)$ versus τ (s) para distintas δ_t , para un paciente con dificultades de lecto-escritura; el valor de la pendiente (ajustada por la ecuación (11) de la gráfica es el valor del exponente de fluctuaciones $\beta = 0.819$, del canal PZ, para: $\tau = 25$ s (1), $\tau = 50$ s (2) y $\tau = 100$ s (3), respectivamente.

Estos hallazgos apuntan a la existencia de un comportamiento de escalamiento dinámico semejante al escalamiento dinámico de Family-Vicsek para la cinética de rugosidad de una interfase en movimiento [15]. Las relaciones de escalamiento (11) y (12) implican que la función de estructura de las series de tiempo de fluctuaciones exhiba el comportamiento de escalamiento dinámico:

$$\sigma(\tau, \delta_t) \propto t^{\beta} f\left[\frac{\delta_t}{\tau^{\beta/\zeta}}\right] \quad (12)$$

donde la función de escalamiento se comporta como:

$$f(u) \propto u^{\zeta} \quad \text{si } u < 1 \quad (13)$$

y como:

$$f(u) \propto \text{const} \quad \text{si } u \gg 1 \quad (14)$$

4. Conclusiones

Se establece la respuesta global del problema, son los objetivos alcanzados, las hipótesis comprobadas, modificadas o rechazadas.

Los escalamientos dinámicos de las ecuaciones (10) y (11) sentaron las bases para tratar la dinámica de las series de tiempo de fluctuaciones, $v(t, \tau)$, como interfaces rugosas en movimiento (véase Fig. 11(a), Fig. 11(b), Fig. 12(a) y Fig. 12(b)). En este trabajo se halló que las ecuaciones (12), (13) y (14) apuntan a que el comportamiento de niños con trastornos en el aprendizaje en México, específicamente niños evaluados con problemas de lecto-escritura, es semejante al escalamiento dinámico de Family-Vicsek para la cinética de rugosidad de una interfase en movimiento. Por consiguiente, se pueden emplear las herramientas de la teoría de la rugosidad cinética para caracterizar y modelar las fluctuaciones de series de tiempo de procesos cognitivos que emergen del cerebro humano, como es el caso de los niños con trastorno de aprendizaje.

Debido a que la cinética del crecimiento de interfaces rugosas y la dinámica de fluctuaciones en niños con problemas de lecto-escritura pueden ser caracterizados y modelados por el escalamiento dinámico de Family-Vicsek, sería posible establecer una ecuación cinética que gobierne la dinámica de fluctuaciones de este trastorno de aprendizaje, empleando las ecuaciones de la teoría de rugosidad cinética, como las del tipo Langevin:

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} = \Phi \left[\frac{\partial V}{\partial t} \right] + \eta(\tau, t) + F$$

donde F es la fuerza externa, mientras que el término de ruido $\eta(t, \tau)$ y la forma real de la función Φ son determinadas por un modelo particular que obedezca a la clase de universalidad correspondiente [15].

Agradecimientos

Los autores agradecen la doctora Alejandra Fávila (UAEM-Ecatepec) por proporcionar los EEG de algunos niños valuados de ambos grupos, así como al doctor Daniel Morales Matamoros por sus aportaciones en cuanto a la teoría de la cinética del crecimiento de interfaces rugosas. Asimismo, los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo brindado para la realización de este trabajo, mediante el Proyecto SIP-20181415, así como al CONACyT por la beca otorgada a la estudiante de doctorado Ixchel Lina Reyes.

Referencias

- [1] B. B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*. 2^a edición. Nueva York: W.H. Freeman, 1982.
- [2] B. B. Mandelbrot, *Fractals*. Nueva York: W.H. Freeman, 1977.
- [3] H. E. Stanley, "Fractal landscapes in physics and biology," *Physica A*, vol. 86, no. 1-2, pp. 1-32. Julio 1992. [en línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037843719290362T>.
- [4] H. Kantz H., T. Schreiber, *Nonlinear Time Series Analysis*. 1^a ed. Cambridge: Cambridge University Press. 1997.
- [5] C. K. Peng, S. V. Buldyrev, S. Havlin, M. Simons, H. E. Stanley, A. L. Goldberger, "Mosaic organization of DNA nucleotides," *Physical Review E*, vol. 49, no. 2, pp. 1685-1689. Febrero 1994. [en línea]. Disponible en: <https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.49.1685>.
- [6] A. Bunde, S. Havlin, J. W. Kantelhardt, T. Penzel, J. H. Peter, K. Voigt, "Correlated and uncorrelated regions in heart-rate fluctuations during sleep," *Physical Review Letters*, vol. 85, no. 17, pp. 3736-3739. Octubre 2000. [en línea]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/612e/f7a9772e7ef506591c85ff0af5ae8440c5e9.pdf>.
- [7] A. L. Barabási, H. E. Stanley, *Fractal Concepts in Surface Growth*. 1^a ed. Reino Unido: Cambridge University Press. 1995.
- [8] S. Szava, P. A. Valdés-Sosa, R. J. Biscay, L. G. García, "High resolution quantitative EEG analysis," *Brain Topography*, vol. 6, no. 3, pp. 211-219. Marzo 1994. [en línea] Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01187711>.
- [9] M. Constantin, S. Das-Sarma, "Volatility, persistence, and survival in financial markets," *Physical Review E*, vol. 72, no. 5, pp. 051-106. Noviembre 2005. [en línea].

- Disponible en: <https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.72.051106>.
- [10] A. Balankin, O. Morales, "Crossover from antipersistent to persistent behavior in time series possessing the generalized dynamic scaling law," *Physical Review E*, vol. 69, no. 3, pp.065-106. Marzo 2004. [en línea]. Disponible en: <https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.69.036121>.
 - [11] A. Balankin, O. Morales, M. E.Gálvez, A. Pérez, "Devil's-staircase-like behavior of the range of random time series with record-breaking fluctuations," *Physical Review E*, vol. 71, no. 3, pp. 065106-1 065106-4. Junio 2005. [en línea]. Disponible en: <https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.71.065106>.
 - [12] A. Balankin, R. García, O. Susarrey, F. Castrejon, "Kinetic Roughening and Pinning of Two Coupled Interfaces in Disordered Media," *Physical Review Letter*, vol. 96, no. 5, pp.101-104. Febrero 2006. [en línea]. Disponible en: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.96.056101>.
 - [13] J. J. Ramasco, J. M. López, M. A. Rodríguez, "Superroughening versus intrinsic anomalous scaling of surfaces," *Physical Review Letters*, vol. 56, no. 4, pp. 3993-3998. Octubre 1997. [en línea]. Disponible en: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.56.3993>
 - [14] A. Balankin, "Dynamic scaling approach to study time series fluctuations," *Physical Review E*, vol. 76, no. 5, pp. 056-120. Noviembre 2007. [en línea]. Disponible en: <https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.76.056120>.
 - [15] P. Meakin, *Fractals, Scaling and Growth Far from Equilibrium*. 1ª ed. New York: Cambridge University Press, 1998.

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas
de América Latina y el Caribe,
España y Portugal

XML JATS en Redalyc

Redalyc ha emprendido una transición y se suma al estándar XML JATS, bajo la especificación JATS4R, lenguaje de metamarcado con reglas simples, que provee de un método uniforme para describir e intercambiar datos estructurados

xmljatsredalyc.org

REDALYC 3.0

Análisis comparativo de la densidad y velocidad de ignición óptimas para la combustión completa del olote perteneciente al *Zea Mays L.*

Miguel Sebastián **Arroyo-López**
Francis Michelle **Guerrero-Espinosa**
Eduardo Roberto **Gutiérrez-Gualotuña**

Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE)
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
171103
ECUADOR

Tel. (593)999729004
correos electrónicos (emails):
msarroyo@espe.edu.ec
fmguerrero@espe.edu.ec

Recibido 02-04-2018, aceptado 28-09-2018.

Resumen

En el presente trabajo se presentan modelos matemáticos de los indicadores físicos que caracterizan el desempeño del material combustible estudiado, para la determinación de los parámetros óptimos de fabricación del olote del *Zea Mays L.* para su uso posterior como combustible. Como tales parámetros se seleccionan tamaño de grano, grado de compactación y la humedad. Se elaboran modelos matemáticos para la estimación de los poderes calóricos superior e inferior, velocidad de ignición superior e inferior y densidad obtenida como función de los parámetros de fabricación. Se deduce el modelo de optimización de ambos poderes calóricos, se determina el procedimiento de solución, se hallan valores óptimos de fabricación y se grafican los resultados de la optimización con respecto a los parámetros de fabricación. Finalmente se hallan las relaciones de estos indicadores con respecto a la velocidad de ignición y densidad obtenidas para evidenciar como la mejor configuración que maximiza el poder calórico incide en el comportamiento de estas variables.

Palabras clave: combustión de la biomasa, preparación óptima de la biomasa, olote de maíz como combustible.

Abstract

(Comparative Analysis of the Optimum Density and Ignition Speed for the Complete Combustion of the Corncob Belonging to the *Zea Mays L.*)

This paper shows mathematical models of the physical indicators that characterize the performance of the studied fuel material for the determination of the optimal manufacturing parameters of the corncob of *Zea Mays L.* for later use as a fuel. As such parameters are selected grain size, compaction level and moisture content. Mathematical models are elaborated for the estimation of the upper and lower caloric powers, upper and lower ignition speed and the density obtained as a function of the manufacturing parameters. The optimization model of both caloric powers is deduced and the solution procedure is determined. Optimal manufacturing values were found and the optimization results were plotted with respect to manufacturing parameters. Finally, the relations of these indicators with respect to the ignition speed and density obtained were found to show how the best configuration that maximizes the caloric power affects the behavior of these variables.

Index terms: biomass combustion, optimal preparation of biomass, corncob as fuel.

1. Introducción

Las reservas de combustibles fósiles se reducen muy rápidamente. Al mismo tiempo, el rápido crecimiento de la población y los ritmos crecientes de desarrollo económico incrementan la demanda de energía, impulsando al desarrollo de las diferentes alternativas de energías renovables económicamente viables. En la demanda mundial, la biomasa está proporcionando el 10% de la energía primaria limpia para la generación de calor, electricidad y combustibles para el transporte [1].

Al igual que en la época prehispánica, en la actualidad la tusa de maíz (olote de *Zea Mays L.*) constituye una alternativa de combustible para la generación de energía, solucionando el perjuicio de este residuo al entorno y reduciendo, por tanto, la dependencia de los combustibles fósiles y la contaminación ambiental [2].

La producción anual de maíz en el Ecuador alcanza aproximadamente las 1 300 000 ton/año lo que representa alrededor de 540 000 ton de biomasa residual, siendo el olote de maíz el de mayor abundancia. El destino priorizado actual de esta biomasa es el alimento de cerdos [3]. El uso de esta biomasa como vector energético ha sido hasta el presente muy escaso debido al insuficiente desarrollo tecnológico del país, poca difusión de las diferentes alternativas de energía renovable y la prevalencia del petróleo en la economía del país. Es por ello que tiene actualidad el uso de la biomasa del olote de maíz como biocombustible sólido, siendo una alternativa para el remplazo del GLP (gas licuado de petróleo) principalmente en los domicilios rurales, donde este combustible en muchos casos no llega a abastecer el mercado. Por otra parte, el olote de maíz es el residuo agrícola más abundante a nivel nacional y representa una fuente de energía térmica aprovechable para calderas, cocinas, biorreactores, entre otros [4].

Según la estrategia de generación de energía mediante fuentes renovables del Ecuador se encuentra la biomasa, con una presencia del 1.55% como biocombustible. Esta fuente tiene un potencial de desarrollo creciente [5]. En el sector agrícola el residuo del maíz es utilizado de manera empírica sin un criterio técnico, ya que existe una baja difusión del tema en las zonas rurales. Un reducido número de empresas hacen uso de este biocombustible en sustitución de la leña, pero no de una forma industrial. Así, se comprueba que esta biomasa se puede utilizar en la producción de energía térmica [6], por lo cual adquiere importancia el análisis de las propiedades óptimas que mejoran el aprovechamiento de la misma.

El olote de maíz como vector energético ha sido objeto de briquetado centrado hacia la producción de combustibles sólidos combinados con carbón y otros residuos agrícolas, con adición de aglutinantes. En la producción de briquetas, los materiales se pueden comprimir sin adhesivos, mientras que en otros se agregan materiales adhesivos (aglutinantes) para ayudar a mantener las partículas del material compactadas, en correspondencia al tipo de materia prima utilizada para la fabricación de las briquetas [7]. En el proceso de experimentación de este artículo no se usó ningún tipo de aglutinante, con el fin de obtener la eficiencia real del poder calorífico del olote de maíz.

El estudio bibliográfico realizado no permitió encontrar antecedentes de la elaboración de modelos matemáticos que permitan estimar los parámetros de su preparación como combustible. Al hablar de la tusa de maíz como vector energético se requiere la utilización de métodos que permitan una preparación científicamente fundamentada para su uso eficiente como combustible, con el objetivo de aumentar su eficiencia, en-

contrando un balance entre la densidad de las pastillas y la velocidad de ignición de las mismas, para obtener un biocombustible sólido capaz de mantenerse produciendo una combustión completa, encendido el mayor periodo de tiempo, reduciendo al máximo los contaminantes generados por la postcombustión y generando el máximo poder calorífico posible [8].

En este artículo se comparan diferentes variables de desempeño de la biomasa estudiada con el fin de mejorar la eficiencia energética, y definir la mejor alternativa.

2. Materiales y métodos

El olote de maíz para su uso posterior como combustible requiere de cierto grado de compactación para los posibles tamaños de grano obtenidos en la molienda de la misma y un porcentaje de humedad determinado de la muestra. Con el fin de obtener los poderes caloríficos y velocidades de ignición superior e inferior del olote se utilizó una bomba calorimétrica adiabática Gallenkamp, la que mide la temperatura de combustión con un termómetro de mercurio bajo condiciones certificadas (5761 NPL 78) cada 0.01 °C.

Para la caracterización de los productos obtenidos se organizó un experimento 3^N que incluye las variables independientes: tamaño de grano (*TG*), grado de compactación (*GC*) y humedad (*Hu*).

El secado del olote de maíz se lo realizó al aire libre (véase Fig. 1a) en diferentes periodos de tiempo, correspondientes a los valores de humedad a alcanzar. El olote, previamente secado desde una humedad inicial de 39% (véase Fig. 1b), fue molido y tamizado para obtener tamaños de grano uniformes con las dimensiones 0,425; 1; 2 mm (véase Fig. 2); los niveles de compactación se establecieron en los valores de 0,75; 1 y 1,25 toneladas, con el fin de variar la densidad de la materia prima, con una masa estándar de 0.8 g por pastilla, el que constituye un requerimiento para las pruebas de la bomba calorimétrica adiabática.



Fig. 1. Secado de las tusas de maíz al aire libre (a) y humedad inicial de las tusas (b).



Fig. 2. Granos de olote de maíz molido y tamizado para obtención de tamaños de grano uniformes.

El olote molido fue compactado en sus diferentes configuraciones (véase Fig. 3) en una máquina universal AMSLER capacidad 10 toneladas, la que cuenta con un mantenedor de carga para que la presión aplicada sea constante, obteniendo así los grados de compactación requeridos de la investigación. Las muestras se compactaron dentro de una matriz de ½ pulgada de diámetro debido a que estas dimensiones eran necesarias para que la muestra ingrese dentro del crisol de la bomba calorimétrica adiabática.

En estudios previos, la compactación de las pastillas del olote se realizó a una tonelada para determinar el mayor poder calórico dentro de las condiciones de experimentación propuestas en la bibliografía [9], por lo que se decidió tomar este valor y realizar probetas compactadas en un intervalo de $\pm 50\%$ para verificar sus propiedades físicas. El análisis determinó



Fig. 3. Muestras compactadas de olote de maíz.

que las pastillas con valores mayores a 1,25 toneladas perdían ciertas propiedades, siendo de mayor influencia la humedad y las pastillas con valores menores a 0,75 toneladas tenían partículas que se desprendían muy fácilmente por lo que se dificultaba su manipulación. Debido a esto se seleccionó como grados de compactación para el experimento 0,75, 1 y 1,25 toneladas.

En la Tabla 1 se muestran las variables de decisión de la investigación, aquellas que al ser modificadas hacen variar la capacidad calorífica de la biomasa dada.

Para la selección de los valores de humedad se tomó en consideración que el porcentaje de humedad de la biomasa en general debe oscilar entre 8-12% para utilizarlo como biocombustible [10], debido a esto para la experimentación se consideraron humedades menores al 8%, mayores al 12% y una humedad intermedia entre estos rangos para determinar el comportamiento del olote de maíz en estos valores.

En la etapa de secado de las muestras, la humedad se midió con un higrómetro digital en diferentes periodos, seleccionando una cantidad de 80 muestras cada vez que alcanzaban una humedad determinada por los rangos del experimento, para proceder a guardarlas en recipientes plásticos herméticos, en un lugar fresco y seco donde no pueda adquirir humedad del exterior. Luego de que las muestras fueran molidas se procedió a medir su humedad final para trabajar con este valor en los experimentos. Los granos de maíz fueron tamizados y almacenados en los mismos recipientes plásticos herméticos.

La bomba calorimétrica fue calibrada con ácido benzoico estándar primario (B.C.S. No. 190k) bajo condiciones certificadas de 26454 kJ/kg. Las medidas se realizaron de acuerdo con la norma ASTM D4868 [11] con una precisión del 0,1 %.

Se quemó una muestra de ácido benzoico en la bomba calorimétrica adiabática para obtener la capacidad total calorífica de

Tabla 1. Parámetros de variación en el proceso de combustión de la bomba calorimétrica adiabática.

FACTORES	VARIABLES	NIVELES		
		ALTO	MEDIO	BAJO
% Humedad	Hu %	13.76	9.13	6.25
Tamaño de grano	TG (mm)	2	1	0.425
Grado de compactación	GC (ton)	1.25	1.00	0.75

la máquina (11022.5 J/°C) [9]; se utiliza el mismo procedimiento para muestras líquidas y sólidas.

Las muestras fueron quemadas en sus 27 configuraciones, respectivamente, tomándose como datos la temperatura final y el tiempo en el cual la muestra se combusionó completamente y como referencia una temperatura inicial de 21°C. Con estos datos se calculó los poderes calóricos y velocidades de ignición inferior y superior. En el último caso el procedimiento prevé la colocación de una gota de agua en el recinto donde se realiza la combustión.

Para la obtención de los valores del poder calórico y velocidad de ignición, se consideraron como factores constantes ciertas variables que permiten alcanzar la combustión completa del olote de maíz en la bomba calorimétrica adiabática, las que se encuentran en la Tabla 2.

Los errores de medición presentes en la experimentación se presentan en la Tabla 3.

Así, el error de medición se determina por el error de la bomba calorimétrica. Este factor, unido a otros posibles factores causales, determinó la realización de 9 réplicas para evidenciar

Tabla 2. Variables de operación que se mantienen constantes en el proceso de combustión en la bomba calorimétrica adiabática.

VARIABLES DE OPERACIÓN CONSTANTES	
Temperatura Inicial	21°C
Masa de la muestra	0.8 g
Presión de oxígeno	15 bar

la influencia de todos los factores aleatorios, incluyendo los errores de medición, en las ecuaciones de estimación realizadas, llegando a un total de 486 experimentos.

El experimento se realizó en condiciones de estacionamiento del proceso, pues se requiere precisamente estimar el comportamiento en estado estacionario de los indicadores de desempeño.

Como resultado del procesamiento se obtuvieron los siguientes modelos para la estimación de los poderes calóricos inferior (*PCI*) y superior (*PCS*).

$$PCI = 106389 + 16676.5GC + 5.71GC^2Hu^2 - 105898GC^{0.1225}Hu^{0.0812} + 1022.9Hu + 96.83TG^2GC^2 + 8875.59TG^{0.0276}Hu^{0.0812} \quad (1)$$

Se obtuvieron los siguientes indicadores de calidad de la estimación:

R-cuadrado = 79,3775 %

Error estándar de estimación = 567,308

$$PCS = -49368.6 + 2.91GC^2Hu^2 + 492.4Hu - 34.14Hu^2 + 698.61TG^2 - 792.68TG^2GC^2 + 3.64TG^2GC^2Hu^2 - 3.18TG^2Hu^2 + 65488.4TG^{0.003}Hu^{0.0135} \quad (2)$$

Se obtuvieron los siguientes indicadores de calidad de la estimación:

R-cuadrado = 74,6446 %

Error estándar de estimación = 397,788

Donde:

GC: grado de compactación

Hu: porcentaje de humedad

TG: tamaño de grano

Tabla 3. Indicadores de precisión de la instrumentación utilizada.

Equipo de medición	Clase de precisión instrumento	Valor medio medido	Error de determinación
Calibrador Stanley precisión 0.025 mm	0.025 mm	8 mm	± 0.2 mm
Higrómetro DUSIEC Modelo MD 812	0.1%	10%	± 1 %
Balanza Kern Modelo PCB 1000-2	0.0125 g	0.8 g	± 0.01 g
Bomba calorimétrica adiabática Gallenkamp	0.2%	22.24%	± 4.45%

También se hallaron modelos para la estimación de la densidad (D) y la velocidad de ignición tanto inferior (VI) como superior (VS).

$$\begin{aligned} VI = & -1.41 + 0.09GC - 0.025GC^2 - 0.000014GC^2Hu^2 \\ & + 1.35GC^{-0.3248} - 1.62GC^{-0.3248}Hu^{-0.1013} \\ & + 0.0008Hu + 1.58Hu^{-0.1013} - 0.005TG \\ & + 0.0006TG^2GC^2 - 0.000003TG^2GC^2Hu^2 \\ & + 0.000005TG^2Hu^2 + 1.36TG^{0.1013} \\ & - 1.42TG^{0.1003}GC^{-0.3248} - 1.75TG^{0.1003}Hu^{-0.1013} \\ & + 1.87TG^{0.1003}GC^{-0.3248}Hu^{-0.10132} \end{aligned} \quad (3)$$

Se obtuvieron los siguientes indicadores de calidad:

$$\begin{aligned} R\text{-cuadrado} &= 71,7004 \% \\ \text{Error estándar de estimación} &= 0,000383126 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} VS = & -1.63 + 0.012GC - 0.000026GC^2Hu^2 \\ & + 6.85GC^{-0.2107} - 6.56GC^{-0.2107}Hu^{0.0156} + 0.0012Hu \\ & + 6.42Hu^{0.0156} - 0.001TG + 0.0000016TG^2Hu^2 \\ & + 4.27TG^{0.1232} - 3.9TC^{0.1232}GC^{-0.2107} \\ & - 4.09TG^{0.1232}Hu^{0.0156} + 3.81TG^{0.1232}GC^{-0.2107}Hu^{0.0156} \end{aligned} \quad (4)$$

Se obtuvieron los siguientes indicadores de calidad:

$$\begin{aligned} R\text{-cuadrado} &= 71,6346 \% \\ \text{Error estándar de estimación} &= 0,000247089 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D = & 2610.96 - 2364.19GC + 401.73GC^2 + 1.74Hu^2 \\ & - 152.25TG + 47.73TG^2GC^2 - 0.165TG^2Hu^2 \\ & - 24171.9TG^{-0.1039} + 28965.6TG^{-0.1039}GC^{0.0586} \\ & - 4108.57TG^{-0.1039}GC^{0.0586}Hu^{0.0512} \end{aligned} \quad (5)$$

Se obtuvieron los siguientes indicadores de calidad:

$$\begin{aligned} R\text{-cuadrado} &= 77,0858 \% \\ \text{Error estándar de estimación} &= 39,8641 \end{aligned}$$

El modelo matemático de optimización del poder calórico inferior se formula como:

$$\begin{aligned} \max_{PCI(TG,GC,Hu)} & 106389 + 16676.5GC + 5.71GC^2Hu^2 \\ & - 105898GC^{0.1225}Hu^{0.0812} + 1022.9Hu \\ & + 96.83TG^2GC^2 + 8875.59TG^{0.0276}Hu^{0.0812} \end{aligned} \quad (6)$$

Mientras que para el poder calórico superior se formula como:

$$\begin{aligned} \max_{PCS(TG,GC,Hu)} & -49368.6 + 2.91GC^2Hu^2 + 492.4Hu + 34.14Hu^2 \\ & + 698.61TG^2 - 792.68TG^2GC^2 + 3.64TG^2GC^2Hu^2 \\ & - 3.18TG^2Hu^2 + 65488.4TG^{0.003}Hu^{0.0135} \end{aligned} \quad (7)$$

3. Resultados

Como método de solución se utiliza el método de *exploración en una red de variables*. La selección de este método se realiza con el fin de evitar mínimos locales en las soluciones finales, por el carácter exploratorio del método [12].

Se realizaron variaciones de los intervalos de determinación de las variables independientes, obteniéndose siempre la misma solución de punto óptimo: $GC=1.25$ ton, $TG=2$ mm, $Hu=13.76$ %, correspondientes al $PCI=20152,01$ kJ/kg y la combinación $GC=0.75$ ton, $TG=2$ mm, $Hu=6.25$ %, correspondiente al máximo valor del poder calórico superior $PCS=18644,19$ kJ/kg.

Para la solución óptima del poder calórico superior (PCS), la densidad de las pastillas es de $789,14$ kg/m³ y la velocidad de ignición es de $0,0049$ cm/s. Para la solución óptima del poder calórico inferior (PCI), la densidad de las pastillas es de $866,45$ kg/m³ y la velocidad de ignición es de $0,0040$ cm/s. La mejor configuración para maximizar la eficiencia en la combustión resulta del tamaño de grano de 2 mm para ambos poderes calóricos, el cual tiene como desventaja partículas compactadas de baja resistencia o con mucho espaciado entre ellas, por ello es recomendable trabajar con aglutinantes para poder aprovechar sus propiedades.

En la Fig. 4 se muestra la variación del poder calórico superior como función de los parámetros GC y TG para valores de Hu de 6.25 y 13.76 %, respectivamente. Según puede observarse se obtiene una configuración cóncava del comportamiento de PC como función de GC y TG .

En la Fig. 5 se muestra la variación del poder calórico inferior como función de los parámetros GC y TG para valores de Hu de 6.25 y 13.76 %, respectivamente. Según puede observarse se obtiene una configuración convexa del comportamiento de PC como función de GC y TG .

La relación PCS/VS mostrada en la Fig. 6 se obtiene para el valor de PCS calculado como resultado de la optimización, entre el valor de VS calculado por la expresión (4), para todos los puntos donde se localizó la configuración de variables de desempeño para el punto de óptimo obtenido.

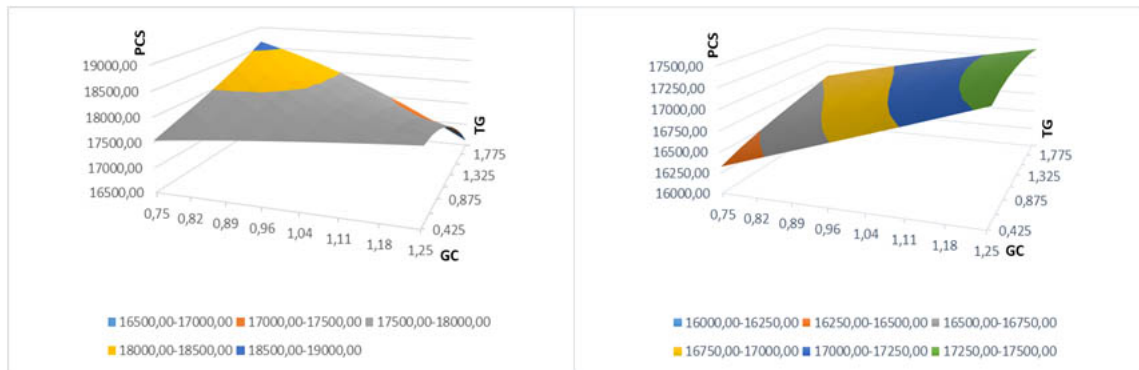


Fig. 4. Comportamiento del poder calórico superior como función de GC y TG para $H_u = 6.25$ y 13.76% .



Fig. 5. Comportamiento del poder calórico inferior como función de GC y TG para $H_u = 6.25$ y 13.76% .

La relación PCS/D mostrada en la Fig. 7 se obtiene para el valor de PCS calculado como resultado de la optimización, entre el valor de D calculado por la expresión (5), para todos los puntos donde se localizó la configuración de variables de desempeño para el punto de óptimo obtenido.

La relación PCI/VI mostrada en la Fig. 8 se obtiene para el valor de PCI calculado como resultado de la optimización, entre el valor de VI calculado por la expresión (3), para todos los puntos donde se localizó la configuración de variables de desempeño para el punto de óptimo obtenido.

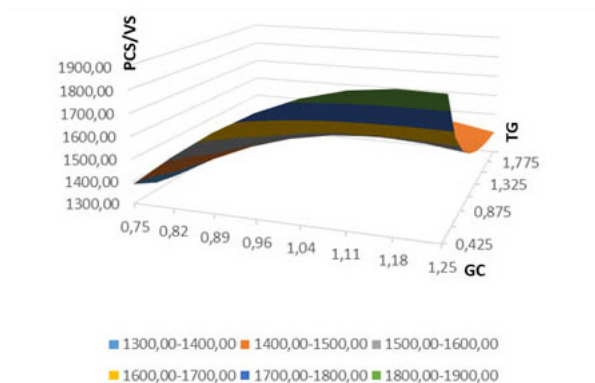


Fig. 6. Relación del PCS/VS , donde se encuentra el punto óptimo.

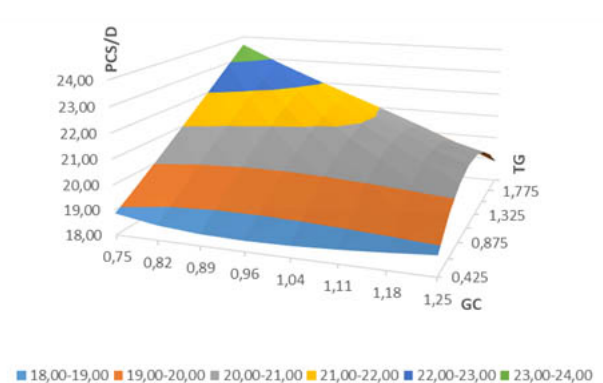


Fig. 7. Relación para PCS/D , donde se encuentra el punto óptimo.

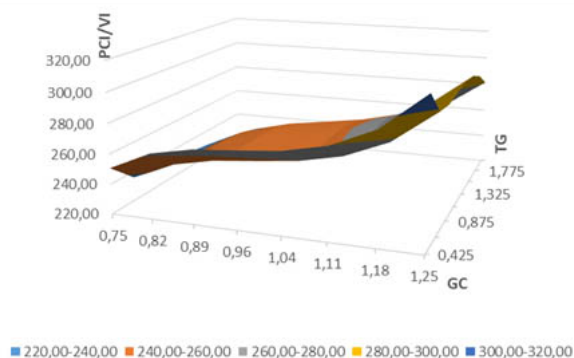


Fig. 8. Relación PCI/VI , donde se encuentra el punto óptimo.

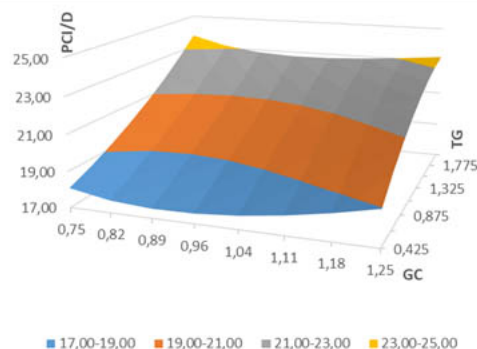


Fig. 9. Relación PCI/D , donde se encuentra el punto óptimo.

La relación PCI/D mostrada en la Fig. 9 se obtiene para el valor de PCI calculado como resultado de la optimización, entre el valor de D calculado por la expresión (5), para todos los puntos donde se localizó la configuración de variables de desempeño para el punto de óptimo obtenido.

4. Conclusiones

El trabajo realizado permite extraer las siguientes conclusiones principales:

- Las soluciones correspondientes al máximo valor de poder calórico inferior son $GC=1.25$ ton, $TG=2$ mm, $Hu=13.76\%$.
- Las soluciones correspondientes al máximo valor de poder calórico superior son $GC=0.75$ ton, $TG=2$ mm, $Hu=6.25\%$.
- El modelo matemático realizado para estimación de PCS y PCI muestra el cruce de ambas, como consecuencia del carácter cóncavo y convexo respectivamente de ambos modelos, lo que determina que para ciertos valores de las variables independientes PCI superen a PCS .

- La solución óptima correspondiente al PCS ($Hu=6.25\%$, $TG=2$ mm, $GC=0.75$ ton) y al PCI ($Hu=13.76\%$, $TG=2$ mm, $GC=1.25$ ton) se relaciona con un tamaño de grano de 2 mm, que corresponden a partículas muy frágiles dado su gran espaciamiento mutuo, para lo que se recomienda usar aglutinantes para aprovechar su uso como biocombustible eficiente.
- Para la solución óptima del poder calórico superior (PCS), la densidad de las pastillas es de $789,14 \text{ kg/m}^3$ y la velocidad de ignición es de $0,0049 \text{ cm/s}$, lo que muestra que para maximizar el poder calórico superior se necesita de una densidad baja y una velocidad de ignición moderada comparando con los resultados experimentales obtenidos.
- Para la solución óptima del poder calórico inferior (PCI), la densidad de las pastillas es de $866,45 \text{ kg/m}^3$ y la velocidad de ignición es de $0,0040 \text{ cm/s}$, lo que muestra que para maximizar el poder calórico inferior se necesita de una densidad moderada y una velocidad de ignición baja comparando con los resultados experimentales obtenidos.
- Los valores de velocidad de ignición superior e inferior y densidad asociados a los poderes calóricos superior e inferior óptimos se encuentran dentro de sus intervalos de variación y no en sus extremos.
- Los valores de R cuadrado de las ecuaciones obtenidas fueron encontrados en primera instancia, esto quiere decir que se los puede mejorar, cambiando a instrumentos de medición con mayor precisión y apreciación, para así disminuir los errores existentes en el diseño de la experimentación.

Agradecimiento

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, al Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, a la Carrera de Ingeniería Mecánica, al Laboratorio de Conversión de Energía, a los Docentes, Tutores, por su importante ayuda en el desarrollo y concreción del presente trabajo de Investigación.

En fin, agradecer a todos quienes colaboraron desinteresadamente.

Agradecemos también al PhD. José Arzola Ruiz por su colaboración en el modelado matemático.

Referencias

- [1] International Energy Agency (IEA) Bioenergy, *Bioenergy-A Sustainable and Reliable Energy Source, A Review of Status and Prospects*, IEA Bioenergy: Paris, France, 2009.
- [2] J. Forero, "Tusa de maíz: Una Fuente de energía renovable," *Revista Universitas Científica*, vol. 16, no. 2, 2013, pp. 1-4. Consultado el: 20 de octubre del 2017. Disponible en: <https://revistas.upb.edu.co/index.php/universitas/article/view/2202>

- [3] M. Castro, *Rendimientos de maíz duro seco en invierno 2016*, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2016. Consultado el: 17 noviembre del 2017. Disponible en: http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_maiz_duro_seco_invierno2016.pdf
- [4] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016*, pp. 20-35, 2016. Consultado el: 2 de noviembre del 2017. Disponible en: <http://www.energia.gob.ec/>
- [5] Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), "Ecuador posee un 51,78% de energía renovable," *Revista Nacional*, 2016. Consultado el: 5 noviembre del 2017. Disponible en: <http://www.regulacion-electrica.gob.ec/ecuador-posee-un-5155-de-energia-renovable/>
- [6] S. Bonilla-Quilumba, J. Méndez, "Utilización de diferentes niveles de maíz de desecho con tusa molida más melaza en la alimentación de cuyes," *Revista Ciencia UNEMI*, vol. 8, no. 15, septiembre 2015, pp. 96-101. Consultado el: 15 de agosto del 2017 Disponible en: <http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/203> ISSN: 1390-4272
- [7] I. Ikelle, O. Ivoms, "Determination of the Heating Ability of Coal and Corn Cob Briquettes," *IOSR Journal of Applied Chemistry*, vol. 7, no. 2, pp 77-82, 2014. Disponible en: <http://iosrjournals.org/iosr-jac/papers/vol7-issue2/Version-1/M07217782.pdf>
- [8] J. T. Oladeji, C. C. Enweremadu, "The Effects of Some Processing Parameters on Physical and Densification Characteristics of Corncob Briquettes," *International Journal of Energy Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 22-27, 2012. Consultado el: 15 de agosto del 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.5923/j.ijee.20120201.04>
- [9] C. Espinoza, G. Torres, "Determinación de las características energéticas de la tusa de maíz con variación del contenido de humedad, densidad y relación aire combustible," Tesis de Maestría en Energías Renovables, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2015. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/10698?show=full>
- [10] M. Ortega, *Energías renovables*, 2a ed., Madrid, España: Paraninfo, 2000.
- [11] ASTM International, *ASTM D4868-00: Standard Test Method for Estimation of Net and Gross Heat of Combustion of Burner and Diesel Fuels*, 2010. Consultado el 10 de enero de 2018, Disponible en: <http://www.astm.org/Standards/D4868.htm>
- [12] J. Arzola-Ruiz, *Sistemas de ingeniería*, 2a ed., La Habana: Ed. Félix Varela, 2012.

Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos

Omar **Campos-López**¹
Guilbaldo **Tolentino-Eslava**²
Miguel **Toledo-Velázquez**²
René **Tolentino-Eslava**³

Instituto Politécnico Nacional

¹Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
(Unidad Zacatenco)

²Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada

³Departamento de Ingeniería en Control y Automatización
Av. IPN s/n, Col. Lindavista, 07738, México, D.F.
MÉXICO

Tel. 57296000 ext. 54783 y 54754

correos electrónicos (emails):
oacampolopez@yahoo.com.mx
gtolentino@ipn.mx
mtv49@yahoo.com
rtolentino@ipn.mx

Recibido 29-06-2018, aceptado 28-11-2018.

Resumen

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es una metodología ampliamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento de equipos industriales basándose en asegurar las funciones del equipo para la satisfacción del usuario o propietario. Actualmente existen varias metodologías de RCM, sin embargo la esencia de esta metodología está contenida en la norma SAE JA1011. En este trabajo se propone una metodología RCM aumentada, que además de incluir los pasos que señala la norma SAE JA1011, incluye algunos pasos adicionales que facilitan la aplicación. La metodología propuesta se obtuvo después de analizar las normas SAE JA1011 y SAE JA1012 para RCM, la metodología de análisis de modos de falla y efectos (FMEA por sus siglas en inglés) de la norma SAE J1739, la norma ISO 14224, la base de datos

OREDA y algunos casos de estudio. Se obtuvo una metodología de RCM aumentada que incluye pasos adicionales tales como: recopilación de información, utilización de la norma ISO 14224 para uniformizar la información del equipo, utilización de bases de datos como OREDA para las causas de falla y la evaluación de efectos de falla para definir los números de prioridad de riesgo (NPR) y jerarquizar las fallas. Se presenta y analiza de forma breve un caso de aplicación de la metodología propuesta.

Palabras clave: mantenimiento, confiabilidad, RCM, taxonomía de equipos.

Abstract

(Reliability Centered Maintenance Methodology (RCM) Considering Equipment Taxonomy, Data Bases and Effects Criticality)

Reliability centered maintenance (RCM) is a widely recognized and widely used methodology to develop maintenance plans for industrial equipment based on ensuring equipment functions for the satisfaction of the user or owner. Nowadays there are several RCM methodologies; however the essence of this methodology is contained in the SAE JA1011 standard. This paper proposes an enhanced RCM methodology, which in addition to including the steps outlined in the SAE JA1011 standard, includes some additional steps that facilitate the application. The proposed methodology was obtained after analyzing the SAE JA1011 and SAE JA1012 standards for RCM, the failure modes and effects analysis methodology (FMEA) of the SAE J1739 standard, the ISO 14224 standard, the database OREDA and some case studies. An enhanced RCM methodology was obtained that includes additional steps such as: information collection, use of ISO 14224 standard to standardize equipment information, use of databases such as OREDA for causes of failure, and evaluation of failure effects to define the risk priority numbers (RPN) and hierarchize the faults. A case of application of the proposed methodology is presented and analyzed briefly.

Index terms: maintenance, reliability, RCM, equipment taxonomy.

1. Introducción

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es una metodología altamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento que incluyan todo tipo de estrategias de mantenimiento (preventivo, predictivo, búsqueda de fallas, etc.). Esta metodología fue desarrollada inicialmente por la industria comercial de aviación de los Estados Unidos para mejorar la seguridad y confiabilidad de sus equipos, fue definida por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en 1978 y ha sido utilizada para determinar estrategias de mantenimiento de activos físicos en casi todas las áreas de trabajo en los países industrializados del mundo [1].

El RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos [2]. El RCM asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en que la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga [3]. John Moubray [4] definió el RCM como un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional.

En la actualidad, el RCM es utilizado con frecuencia no solo para identificar tareas de mantenimiento, también se utiliza como marco de referencia para analizar el riesgo en equipos [5], clasificar por importancia los componentes significativos para el mantenimiento [6] o detectar áreas de oportunidad de mejora en el mantenimiento de equipos complejos como tur-

binas eólicas [7], [8]. También se busca mejorar los resultados del RCM al combinarlo con otras metodologías tales como el mantenimiento radical [9], el mantenimiento basado en la condición [10] y el proceso de jerarquía analítica [11].

La norma SAE JA1011 [1] establece los criterios mínimos que debe cumplir una metodología para que pueda definirse como RCM; especifica que cualquier proceso de RCM debe asegurarse de responder satisfactoriamente en secuencia las preguntas que se muestran en la Fig. 1.

En el paso 3 del proceso de RCM (véase Fig. 1) se especifican los modos y las causas de falla, en la norma SAE JA1012 [12], se define el modo de falla como un evento único que causa una falla funcional (causa primaria de falla) y lo diferencia de la causa-raíz (causa fundamental).

Al realizar este paso se debe tener cuidado, ya que puede ser subjetivo y confuso el determinar las causas de falla, sobre todo al generar varios niveles de causalidad formando un árbol de causas de falla, ya que se puede perder el objetivo del análisis. Además de que la norma no especifica una forma o lenguaje único de determinar los modos y causas de falla.

El paso 4 determina los efectos de falla, en los cuales se describe lo que ocurriría a corto y mediano plazo si no se realizan tareas para evitar o detectar la falla funcional. En este paso la norma SAE JA1012 [12] no considera una forma de identificar rápidamente los efectos de falla críticos, ni proporciona una manera de categorizar los efectos de falla, la categorización de efectos es útil al analizar los resultados del RCM. En el

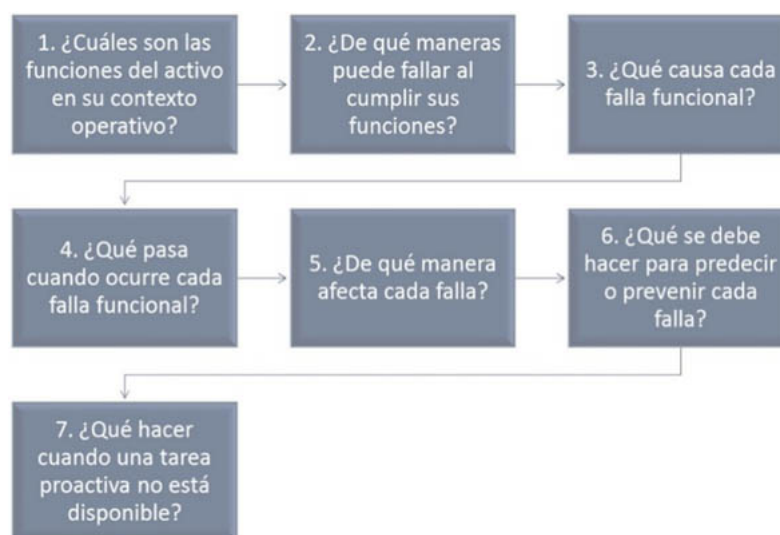


Fig. 1. Proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad [1].

análisis de modos de falla y efectos (FMEA por sus siglas en inglés) que establece la norma SAE J1739 [13] se realiza una categorización de efectos de falla a través de la determinación de números de prioridad de riesgo (NPR).

Para responder de manera adecuada todas las preguntas del proceso de RCM, se debe contar con toda la información del activo y deben tomarse decisiones con base en esta información, por lo cual se requiere considerar en el proceso de RCM un paso de recopilación y análisis de información previo a los pasos ya descritos. También es importante considerar los pasos complementarios que siguen al término del análisis y que concretarían la implementación, esto ayuda a que el RCM no quede solamente en papel.

En este trabajo se propone una metodología RCM ampliada que además de incluir los pasos que marca la norma SAE JA1011 [1], incluye pasos adicionales tales como: recopilación de información relevante para el proceso, la utilización de la norma ISO 14224 [14] para definir y uniformizar la información del equipo, la utilización de bases de datos como OREDA [15] para definir las causas de falla y una evaluación de los efectos de falla para definir los números de prioridad de riesgo (NPR).

2. Desarrollo de la metodología

Adicional al proceso de RCM descrito anteriormente, se pueden realizar pasos adicionales para incrementar la calidad del análisis y la efectividad del resultado, a pesar de que algunas actividades que se proponen como pasos adicionales al proceso de RCM existen actualmente y son contempladas (de manera intrínseca) para aplicar la metodología, se considera que se les debe dar mayor importancia para lograr el éxito al aplicar la metodología. Los pasos adicionales que se proponen se dividen en 3 etapas como se muestran en la Fig. 2.

Los pasos adicionales descritos en la Fig. 2 se describen a continuación.

2.1. Antes de aplicar RCM

Antes de iniciar el análisis que marca la norma SAE JA1011, se propone que se recopile y analice la información correspondiente del activo que será requerida, también que se establezca la taxonomía y se analice el contexto operativo del activo.

2.1.1. Recopilación de la información del activo

Antes de aplicar la metodología de RCM es indispensable recopilar la información necesaria del activo que servirá como insumo. Esta información incluye planos, diagramas, manuales, bitácoras de operación/mantenimiento, documentos como el contexto operativo (si existe), también es esencial que se entreviste al personal de operación, producción y mantenimiento para extraer información sobre los requerimientos de desempeño deseados y problemas actuales que se estén presentando.

La norma ISO 14224 [14] proporciona una base sólida para la recopilación y estructuración de los datos de confiabilidad y mantenimiento para equipos de instalaciones en industrias de petróleo, gas natural y petroquímica, estos datos sirven para la gestión de los activos durante su ciclo de vida. Debido a que aborda equipos comunes en las instalaciones industriales, esta norma puede ser fácilmente adaptada para su aplicación en cualquier industria que tenga activos físicos en los procesos, de esta forma se puede utilizar esta norma al recopilar la información del activo.

2.1.2. Taxonomía

La norma ISO 14224 [14] define la taxonomía como la clasificación sistemática de equipos o sistemas en grupos genéricos

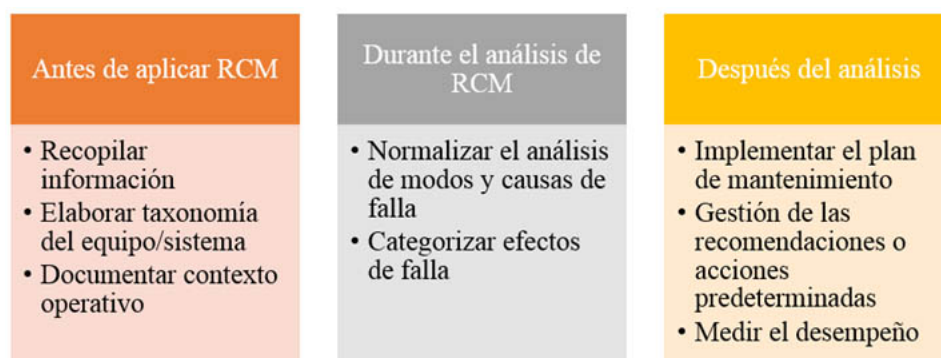


Fig. 2. Pasos adicionales propuestos para la metodología de RCM.

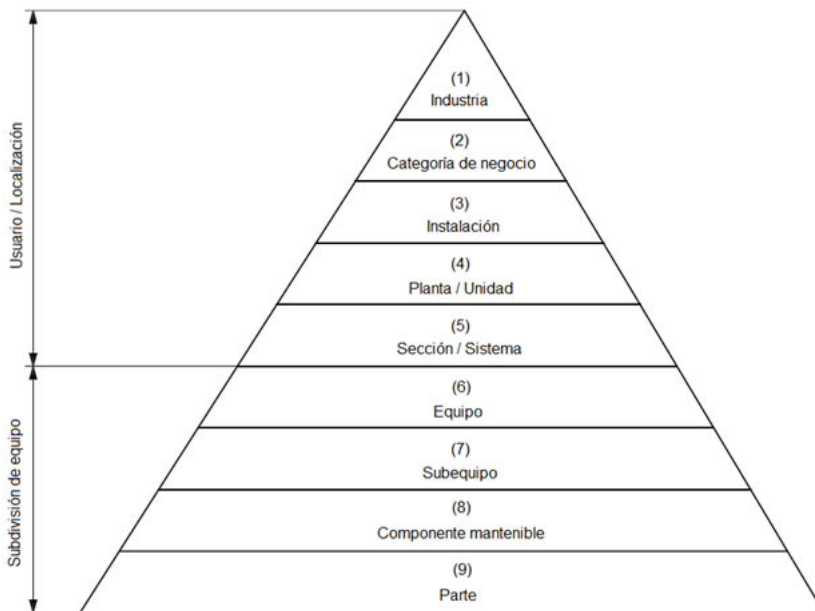


Fig. 3. Taxonomía de equipos con niveles taxonómicos [14].

basada en sus características comunes (localización, uso, tipo de equipo, etc.), la taxonomía es representada en forma de pirámide como se observa en la Fig. 3 y representa la ubicación del equipo o activo dentro de la organización. Para realizar el RCM, se puede utilizar como insumo la taxonomía, el diagrama de límites de equipo (véase Fig. 4) y la subdivisión de equipo que recomienda esta norma.

2.2.1. Análisis de modos y causas de falla

La norma ISO 14224 [14] define el modo de falla como un efecto a través del cual una falla es observada, es decir el modo de falla puede ser el síntoma cuantificable o evento que indica la ocurrencia de una falla.

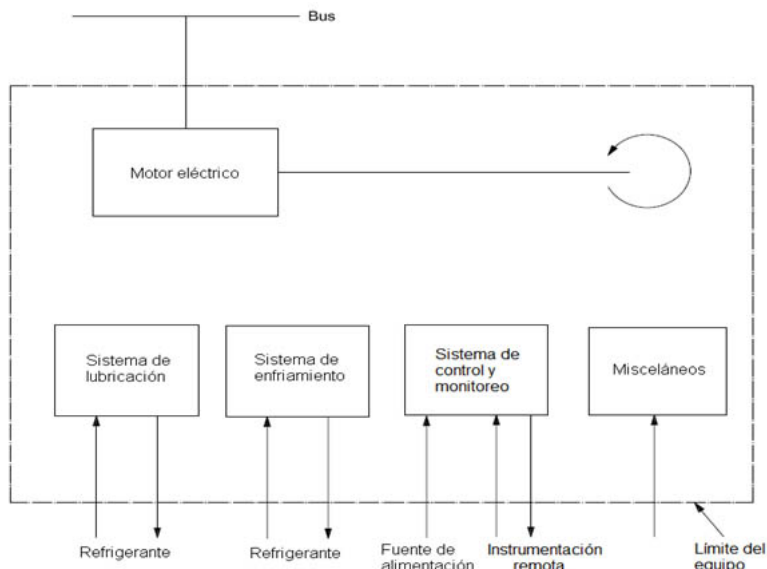


Fig. 4. Diagrama de límite de equipo para un motor eléctrico [14].

2.1.3. Analizar el contexto operativo

El contexto operativo se puede definir como el conjunto de condiciones reales del proceso bajo las cuales opera el equipo, también incluye todos los criterios y parámetros de desempeño deseados por el usuario. Este contexto se puede definir a partir de los diagramas y descripciones del proceso en el que opera el equipo, así como de las entrevistas con el personal de producción, operación y mantenimiento. Es importante analizar y comprender el contexto operativo antes de iniciar el RCM.

2.2. Durante el análisis

Durante el análisis de RCM, se propone una forma de desarrollar el paso 3 (determinar modos y causas de falla) y categorizar los efectos de falla a través de los números de prioridad de riesgo (NPR) en el paso 4.

Esta norma también proporciona una lista de modos de falla que puede ser utilizada como punto de partida para realizar el paso 3, después se puede aplicar una técnica de análisis como el diagrama causa-efecto para encontrar las causas de falla.

Existen bases de datos de falla como OREDA (*Offshore Reliability Data Handbook*) [15], este documento presenta datos estadísticos de falla de equipos en instalaciones costa afuera. Tomando como punto inicial los modos de falla de la norma ISO 14224, se pueden utilizar las tablas de OREDA que relacionan estadísticamente los modos de falla con los componentes del equipo o con las descripciones de la falla.

En la Tabla 1 se muestra un ejemplo del análisis de modos y causas de falla con las tablas de OREDA realizados a un motor eléctrico. Se tomó como falla funcional "No proporciona potencia",

Tabla 1. Análisis de modos y causas de falla con OREDA para el paro inesperado del motor [15].

Falla Funcional	Modo de falla	Causa de falla	Porcentaje de la tasa de fallas (%)
No proporciona potencia	Paro inesperado	Cortocircuito	1.08
		Falla de alimentación eléctrica	5.02
		Falla del aislamiento a tierra	2.15
		Falla mecánica	2.15
		Paro por vibración elevada	1.08

después se analizó el paro inesperado (*spurious stop*) como modo de falla, este modo de falla representa el 13.26% del total de modos de falla analizados por OREDA para motores eléctricos en general, las principales causas de falla posibles de acuerdo con OREDA se muestran en la Tabla 1, siendo estas una parte del 13.26%.

En el ejemplo anterior, a partir de las causas de falla expuestas, se puede analizar con especialistas eléctricos o mecánicos otro nivel de causalidad para acercarse a la causa raíz de la falla.

2.2.2. Categorización de efectos de falla

Con el fin de proporcionar una visión rápida del impacto de cada efecto de falla definido en el RCM, se propone incluir junto al enunciado del efecto de falla, la categorización del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) correspondiente, este parámetro es función de la evaluación cualitativa de 3 crite-

rios: severidad, detectabilidad y ocurrencia [13]. Se definieron estos criterios para realizar la evaluación, el criterio de detectabilidad se puede observar en la Tabla 2.

Se definió el criterio para evaluar la severidad de una falla, este criterio se puede observar en la Tabla 3.

En la Tabla 4 se observa el criterio definido para evaluar la ocurrencia.

Finalmente, el valor del NPR del efecto de falla será el producto de los niveles asignados para cada criterio.

$$NPR = SDO$$

Se asignó un criterio de semaforización para los efectos de falla con base en el valor del NPR, este criterio se observa en la Tabla 5.

Tabla 2. Criterio de detectabilidad (D) para la evaluación de los efectos de falla.

Nivel	Criterio
4	No hay probabilidad de detectar causas de falla potenciales a tiempo, se puede llegar a falla funcional
3	Baja probabilidad de detectar causas de falla potenciales y corregirlas a tiempo
2	Mediana probabilidad de detectar causas de falla potenciales y corregirlas a tiempo
1	Causa de falla potencial fácilmente detectable y corregida durante la operación

Tabla 3. Criterio de severidad (S) para la evaluación de los efectos de falla.

Nivel	Criterio
4	Efectos críticos en la seguridad o en el medio ambiente, pueden existir lesiones, muertes o efectos irreversibles en el medio ambiente
3	Efectos importantes en la capacidad productiva, hay pérdidas económicas importantes por tiempo de paro y/o reparación
2	Efecto leve en la capacidad productiva, hay pérdidas económicas leves por tiempo de paro o reparación
1	No hay efectos operativos ni pérdidas importantes

Tabla 4. Criterio de ocurrencia (O) para la evaluación de los efectos de falla.

Nivel	Criterio
4	Pueden ocurrir varias fallas al año (Tasa de fallas ≥ 1 fallas/año)
3	$0.3 < \text{Tasa de fallas} < 1$ (fallas/año)
2	$0.1 < \text{Tasa de fallas} \leq 0.3$ (fallas/año)
1	Tasa de fallas ≤ 0.1 (fallas/año)

Tabla 5. Criterio de semaforización de acuerdo al valor del NPR.

Semaforización	Valor del NPR
Rojo	$\text{NPR} \geq 36$
Amarillo	$7 < \text{NPR} < 36$
Verde	$\text{NPR} \leq 7$

2.3. Después del análisis

Una vez obtenidos los resultados de la aplicación de la metodología de RCM, es necesario asignar responsabilidades para asegurar la correcta implementación y ejecución del plan de mantenimiento, así como la aplicación de las recomendaciones obtenidas.

Para implementar el plan de mantenimiento, se deben asignar las responsabilidades correspondientes para revisar, afinar, difundir y cargar el plan en el sistema computarizado para la gestión del mantenimiento (CMMS por sus siglas en inglés), se debe realizar el seguimiento correspondiente para asegurar la implementación. Se deben asignar las responsabilidades correspondientes para la revisión, evaluación y puesta en marcha de las recomendaciones surgidas del análisis del RCM.

La medición del desempeño es la parte más importante para demostrar la efectividad del RCM, este se puede realizar a través de indicadores clave de desempeño (KPI por sus siglas en inglés) de mantenimiento y reportes relacionados con las recomendaciones. La metodología de RCM ampliada se muestra en la Fig. 5.

2.4. Caso de aplicación

Se aplicó la metodología de RCM ampliada al túnel de viento del Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada (LABINTHAP) del Instituto Politécnico Nacional de México. Este equipo se utiliza para la investigación en áreas de energía, mecánica de fluidos, metrología y turbomaquinaria, se compone de un motor eléctrico trifásico de 74.6 kW controlado por un variador de frecuencia, un ventilador centrífugo,



Fig. 5. Metodología de RCM ampliada.

ducto de succión, ducto de descarga y sistemas de calibración de anemómetros, control de velocidad del aire en la succión y medición de velocidad con hilo caliente.

Se recopiló la información del túnel de viento y se realizaron entrevistas al personal involucrado en la operación y mantenimiento para definir el contexto operativo y la taxonomía. Se definió la taxonomía identificando al motor eléctrico y al ventilador centrífugo como componentes principales, se identificó al variador de frecuencia y a los sistemas de calibración, control de velocidad e hilo caliente como subsistemas.

Durante el análisis de RCM se identificaron en total 6 funciones, 23 fallas funcionales con sus respectivos efectos de falla, categoría de NPR y consecuencias de falla. Después utilizando la base de datos OREDA y a partir de las fallas funcionales se definieron 30 modos de falla y 132 causas de falla. En la Tabla 6 se muestra una parte del análisis realizado al motor partiendo de la falla funcional "temperatura alta en rodamientos".

Los 23 efectos de falla analizados tienen una criticidad media (amarilla) y las consecuencias de falla son solamente

Tabla 6. Análisis de modos y causas de falla, categorización del efecto de falla y consecuencia de falla para la temperatura alta en rodamientos del motor eléctrico.

Falla Funcional	Modo de falla	Causa de falla	Efecto de falla	D	S	O	NPR	Categoría de Consecuencia
Temperatura alta en rodamientos	Sobrecalentamiento	Daño en rodamientos por falta de grasa	La falla es evidente durante las inspecciones termográficas, sin embargo puede no ser evidente durante un periodo de tiempo provocando que avancen los daños, esta falla puede ser costosa	3	3	2	18	Oculta operativa
		Desalineación						
		Daño en eje del motor						
		Banda mal ajustada						
		Desbalanceo entre fases						

operativas de acuerdo al contexto operativo, de estos efectos, 5 son ocultos y 18 evidentes. A partir de la categorización de los efectos con los NPR, se pudieron identificar rápidamente los efectos más críticos.

A partir de las causas de falla identificadas, se evaluó la factibilidad técnica de tareas de mantenimiento y se elaboró un plan de mantenimiento integral para el túnel de viento, el cual se compone de 27 tareas de mantenimiento basado en la condición entre las que destacan el análisis de vibraciones mecánicas, la termografía infrarroja y el monitoreo eléctrico del motor. El plan también se compone de 7 tareas de restauración entre las que destaca el mantenimiento a las computadoras de los sistemas de calibración, hilo caliente y control de velocidad. Se emitieron recomendaciones que aumentar la confiabilidad del túnel de viento en base a algunas causas de falla analizadas, se recomendó establecer bitácoras de operación y mantenimiento, colocar letreros o señalizaciones que motiven a los usuarios a cuidar el equipo y mantener las condiciones de seguridad, entre otras.

La metodología de RCM ampliada facilitó el análisis, ya que con los pasos adicionales se estructura y maneja mejor la información. Con el uso de bases de datos como OREDA y herramientas como el diagrama causa-efecto se obtiene un análisis estructurado y fundamentado en estadísticas y opiniones de expertos.

3. Conclusiones

Se desarrolló una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad ampliada tomando como referencia la norma SAE JA1011 y considerando la definición de la taxonomía de equipo con la norma ISO 14224, el análisis de modos y causas de falla con la norma ISO 14224 y bases de datos como OREDA, la evaluación de efectos de falla con números de prioridad de riesgo (NPR), realizar la implementación del plan de mantenimiento y la medición del desempeño como pasos en la aplicación de esta metodología.

El proponer como primer paso recopilar y analizar la información del activo, destaca la importancia de contar con información de calidad y asegura que el analista conozca bien el activo antes del análisis. Al definir el contexto operativo y la taxonomía de acuerdo a la norma ISO 14224 como primeros pasos facilita la aplicación de la metodología, ya que estos tienen el objetivo que el usuario conozca los componentes y el contexto operativo antes de definir las funciones. Esto se comprobó en el caso de aplicación, la información se estructuró al mismo tiempo que se comenzaba con el análisis, al establecer el contexto operativo y la taxonomía, los analistas conocieron bien el equipo antes de iniciar con las 7 preguntas del RCM.

El análisis de modos y causas de falla presentado, asegura un análisis estructurado que contemple las causas-raíz para aplicar de manera adecuada los diagramas de decisión de la norma SAE JA1012. La evaluación de los efectos de falla con NPR, proporciona una visión rápida y clara de los efectos más importantes relacionados a las fallas del equipo, esto también se comprobó con el caso de aplicación, ya que se identificaron rápidamente los efectos de falla más importantes.

Agradecimientos

Ing. Omar Aarón Campos López, M. en C. Guilibaldo Tolentino Eslava, M. en C. René Tolentino Eslava y Dr. Miguel Toledo Velázquez agradecen profundamente al Instituto Politécnico Nacional, a la Sección de estudios de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por todo el apoyo brindado.

Referencias

- [1] Society of Automotive Engineers, *SAE JA1011: Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes*, 2 ed., Warrendale: SAE International, 2009.
- [2] L. A. Mora-Gutiérrez, *Mantenimiento: Planeación, ejecución y control*, Alfaomega Grupo Editor, 2009.
- [3] J. Marks, "Combining TPM and reliability-focused maintenance (RCM)," *Reliability Centered Maintenance, Electric Maintenance and Repair*, vol. 211, pp. 49-52, 1997.
- [4] J. Moubray, *RCM II Reliability-Centred Maintenance*, 2 ed., New York: Industrial Press Inc., 1997.
- [5] J. T. Selvik, T. Aven, "A framework for reliability and risk centered maintenance," *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 96, no. 2, pp. 324-331, 2011.
- [6] Y. Tang, "A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance," *Energy*, vol. 118, pp. 1295-1303, 2017.
- [7] J. Igba, K. Alemzadeh, I. Anyanwu-Ebo, P. Gibbons, J. Friis, "A Systems Approach towards Reliability-Centred Maintenance (RCM) of Wind Turbines," *Procedia Computer Science*, vol. 16, pp. 814-823, 2013.
- [8] J. A. Sainz, M. A. Sebastián, "Methodology for the Maintenance Centered on the Reliability on facilities of low accessibility," *Procedia Engineering*, vol. 63, pp. 852-860, 2013.
- [9] D. Li, J. Gao, "Study and application of reliability-centered maintenance considering radical maintenance," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 23, no. 5, pp. 622-629, 2010.
- [10] G. Niu, B.-S. Yang y M. Pecht, "Development of an optimized condition-based maintenance system by data fusion and reliability-centered maintenance," *Reliability Engineering and System Safety*, pp. 796-796, 2010.

- [11] C. R. Vishnu y V. Regikumar, "Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study," *Procedia Technology*, vol. 25, pp. 1080-1087, 2016.
- [12] Society of Automotive Engineers, *SAE JA1012: A Guide to the reliability-centered maintenance (RCM) standard*, Warrendale: SAE International, 2011.
- [13] Society of Automotive Engineers, *SAE J1739: Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA)*, Warrendale: SAE International, 2009.
- [14] International Organization for Standardization, *ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries-Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*, 3 ed., Ginebra: ISO, 2016.
- [15] OREDA Participants, *Offshore Reliability Data Handbook (OREDA)*, 4 ed., Norway: Det Norske Veritas (DNV), 2002.

Portal de Portales Latindex

El Portal de Portales Latindex (PPL) proporciona acceso a los contenidos y textos completos de revistas académicas disponibles en hemerotecas digitales de América Latina, el Caribe, España y Portugal, adheridas al movimiento de acceso abierto

**más de 1 542 783
artículos indexados**

El objetivo de este portal es difundir el conocimiento científico que se publica en la región iberoamericana. El desarrollo informático utiliza el OAI Harvester2 desarrollado por el Public Knowledge Project (PKP) basado en el protocolo OAI-PMH.

www.latindex.ppl.unam.mx

El desarrollo de habilidades blandas en la formación de ingenieros

María Elena **Zepeda-Hurtado**^{1a}
Edgar Oliver **Cardoso-Espinosa**^{1b}
Carmen **Rey-Benguría**²

¹Instituto Politécnico Nacional

^aCECyT 11 Wilfrido Massieu

Avenida de los Maestros 217, Casco de Santo Tomás,
11340 Ciudad de México.

^bESCA Santo Tomás, Manuel Carpio núm. 471,
Col. Plutarco Elías Calles, Alcaldía Miguel Hidalgo,
11340, Ciudad de México
MÉXICO

²Universidad de Ciego de Ávila "Máximo Gómez Báez"
Centro de Estudios Educativos
Escuela de Ciencias Pedagógicas
Carretera a Morón km 9 ½, Ciego de Ávila.
CUBA

correos electrónicos (emails):
mezepedah@ipn.mx
matematicasedgar@hotmail.com
carmenrb@sma.unica.cu

Recibido 13-06-2018, aceptado 26-10-2018.

Resumen

Este artículo propone estrategias de enseñanza aprendizaje aplicables en el aula que propician la formación de alumnos del área de formación físico matemáticas, en concreto de las ingenierías, no exclusivo de ellas. El estudio de tipo teórico integra el análisis de las megatendencias, de los requerimientos de la industria 4.0 y de la empresa, estos dan origen y relacionan con los perfiles de egreso de nivel superior, el objetivo es conocer si los estudiantes están preparados para responder a los retos del futuro, si poseen las competencias y habilidades blandas que implican el manejo de información, la comunicación y el trabajo en equipo, a la vez habilidades que se relacionan con otras: analizar, sintetizar, expresión oral y escrita, el liderazgo, etc. Una vez que se identifican dentro de los perfiles de egreso de carreras de ingeniería se proponen estrategias didácticas que las promueven: lectura y el aprendizaje basado en problemas.

Palabras clave: industria 4.0, perfiles de egreso, habilidades blandas, estrategias didácticas.

Abstract

(Development of Soft Skills in the Training of Engineers)

This article proposes teaching-learning strategies applicable in the classroom that favor the training of students in the mathematical physical training area, specifically engineering, not exclusive of them. The study of theoretical type integrates the analysis of the megatrends, of the requirements of the industry 4.0 and of the company, these give origin and relate with the profiles of graduation of superior level, the objective is to know if the students are prepared to respond to the challenges of the future, if they possess the soft skills and abilities that involve information management, communication and teamwork, while skills that relate to others: analyze, synthesize, oral and written expression, leadership, etc. Once they are identified within the graduate profiles of engineering careers, teaching strategies are proposed that promote them: reading and problem-based learning.

Index terms: industry 4.0, graduation profiles, soft skills, teaching strategies

1. Introducción

Los retos de la educación superior en el mundo son adaptarse de manera vertiginosa e integral a lo que se conoce como megatendencias, es decir, a todos los aspectos que la sociedad marca en cuanto a tecnología, productos, consumo, servicios, equipos, etc., que no son exclusivas de un país, por el contrario, en un mundo globalizado están inmersos en los países y en nuestras vidas cotidianas.

La formación universitaria actual en el contexto y mundial caracterizada por tener como objetivo el desarrollo o fortalecimiento de competencias de corte personal, académico y profesional, se apoyan en el empleo de las TIC y en metodologías o estrategias didácticas que así lo permiten como el aprendizaje basado en proyectos, lectura, aprendizaje basado en problemas, método o estudio de casos.

En este caso el artículo se enmarca dentro del contexto del Instituto Politécnico Nacional de México que tiene como objetivo el análisis teórico del desarrollo de competencias blandas en la formación de los estudiantes para contribuir al logro de los perfiles de egreso que requiere la industria: conocimientos, habilidades y actitudes.

En la visión del Instituto Politécnico Nacional, se manifiesta hacia dónde se dirige: una institución educativa innovadora, flexible, centrada en el aprendizaje; fortalecida en su carácter rector de la educación pública tecnológica en México, con personalidad jurídica y patrimonio propios, con capacidad de gobernarse a sí misma; enfocada a la generación, difusión y transferencia del conocimiento de calidad; con procesos de gestión transparentes y eficientes; con reconocimiento social amplio por sus resultados y sus contribuciones al desarrollo nacional; con una posición estratégica en los ámbitos nacional e internacional de producción y distribución del conocimiento estar a la vanguardia nacional e internacional [1].

Para lo cual, la formación de los alumnos se basa en la implementación de planes y programas de estudio, centrados en el estudiante que, como ya se expresó, por una parte desarrollen competencias y, por otra parte, pugnen por una formación contextualizada marcada por condiciones que le den espacios de desarrollo al empleo de la ciencia y la técnica para la solución de problemas, innovación, cuidado personal, ambiental, entre otros.

La importancia de esta investigación reviste en el análisis que tienen el desarrollo de habilidades personales y sociales para insertarse de mejor manera en el ámbito laboral y en la implementación de estrategias en el aula que potencien su desarrollo: lectura y aprendizaje basado en proyectos.

2. Desarrollo

Dada la importancia que revisten las megatendencias en la vida cotidiana en los sectores productivo, ambiental, comercio, salud, educativo se hace necesario transitar de formas de conocer, ser y hacer tradicionales, a las que el contexto impone que generan, impactan y son oportunidades de mejora y actualización constante.

Un ejemplo conocido es el impacto que tiene el uso de la tecnología en la comercialización, comunicación, investigación, en la formas de relacionarse, de convivir. Este sencillo ejemplo sirve para identificar la generación de una megatendencia que genera impacto en áreas de la sociedad; en cada una de las personas, nos guste o no, las oportunidades están en la actualización para evitar el rezago y la posible integración o desaparición de una empresa, industria o hasta de una profesión.

La UNESCO considera que el conocimiento e información impactan la vida de las personas y a la educación transforman a la economía y a la sociedad: "Las sociedades del conocimiento deben basarse en cuatro pilares: la libertad de expresión,

el acceso universal a la información y al conocimiento, el respeto a la diversidad cultural y lingüística, y la educación de calidad para todos" [2].

Razones de sobra existen para cuestionarse el futuro de las carreras y los perfiles de egreso de ellas, de la generación del tipo de profesionistas que la industria-empresa demanda para la oferta de empleo o servicios. Es aquí en donde radica la importancia de una educación integral que le da valor al desarrollo de conocimientos, de habilidades y actitudes para la adaptación, comunicación, trabajo en equipo, pro actividad, emprendurismos, etc., en concreto que requiere un egresado de ingeniería, Serna [3] afirma que "la innovación, desarrollo, creatividad e internacionalización son términos que se relacionan desde hace tiempo con la ingeniería", cada vez más necesarios.

Por otra parte, la industria 4.0 requiere de perfiles de egreso específicos. El término el término conlleva diversos significados: "Industria 4.0 fue acuñado por el gobierno alemán para describir la fábrica inteligente, una visión de la fabricación informatizada con todos los procesos interconectados por internet de las cosas (IOT) enfoques de la industria" [4].

Regresemos a identificar en qué consisten los antecedentes y evolución de las industrias: 1) Industria 1.0, el inicio de la Revolución industrial caracterizado por trabajo artesanal, máquina de vapor y la introducción de las primeras máquinas industriales, 2) Industria 2.0, la Revolución Industrial en su apogeo y reflejada en el empleo de máquinas para la fabricación de productos, y el transporte (barcos y ferrocarril), 3) Industria 3.0, integración de los ordenadores e internet, los procesos se automatizan, se enfocan al control y cuidados de las energías y 4) La industria 4.0, en donde se habla del internet de las cosas en donde la presencia del ser humano es mínima dado que los procesos se encuentran automatizados, dando pie a la inteligencia artificial, a su vez, a la robótica, ciberseguridad, big data, impresión 3D, entre otros.

Se sabe que la implementación de la industria 4.0 implica retos y desafíos para concretarse como son "las cuestiones de seguridad. Igualmente, la fuerte inversión en tecnología que esta transformación requiere y las competencias del personal, ya que los trabajadores deberán adquirir un nuevo conjunto de competencias relacionadas con el manejo y análisis de datos, la producción asistida por computadora, simulación en línea, programación, mantenimiento predictivo y similares" [5]. Ante sociedades industrializadas y tecnolizadas, se redefinen en los empleos las ocupaciones y formas de trabajo, en donde las habilidades o competencias de los empleados juegan un papel importante.

Valle [6] expresa que la herramienta principal para la realización de su trabajo es el conocimiento, y su tarea central es generar ideas. Estos trabajadores del conocimiento agregan valor a la empresa y sus productos por medio de sus ideas, análisis, juicios, capacidad de síntesis y diseños.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos OCDE formula las siguientes preguntas: ¿Están los estudiantes bien preparados para responder a los retos del futuro? ¿Son capaces de analizar, razonar y comunicar con eficacia sus ideas? ¿Pueden razonar, analizar y comunicar sus ideas eficazmente? ¿Han encontrado los intereses en los que persistirán a lo largo de sus vidas, como miembros productivos de la economía y la sociedad? [7]. Una constante en estas ideas son las habilidades que se relacionan con el manejo de la información: analizar, razonar y comunicarse, la combinación entre los intereses personales y los de la sociedad, lo que se traduce en formas de relacionarse y solucionar un problema: trabajo en equipo y liderazgo, principalmente.

Generaciones actuales, la X y Z o también conocidas como millenials son nativos en el uso de redes sociales para establecer vínculos de comunicación, como una fuente de datos, este es un sencillo ejemplo de cómo el empleo de la tecnología impacta procesos inherentes al ser humano como es el de la comunicación y, por otra parte, es motivo de análisis el papel que juegan las habilidades del pensamiento complejo en los problemas también complejos a los que enfrenta el estudiante-ingeniero, es así como la gestión de conocimiento, la generación y el valor de la información un factor determinante en las industrias.

Qué implican las habilidades del pensamiento complejo en el contexto actual en general, dice Morín "su uso común lo relacionaba con lo complicado, lo enmarañado y lo difícil de entender. Ahora, es posible entenderlo desde una perspectiva para designar al ser humano, a la naturaleza, y a nuestras relaciones con ella "... ahora, "se reconoce como un pensamiento que relaciona y complementa. Su objeto y sujeto de estudio es el todo, a través de sus efectos, defectos, dinamismo y estática, reconociendo la interrelación del todo con sus partes y viceversa, dentro de un entramado" [8], por lo que el pensamiento complejo se desarrolla en la vida cotidiana, académica y profesional es por ello que la vida académica reviste importancia en el desarrollo de habilidades y conocimiento para la solución de problemas y estos se expresan en los perfiles de egreso. Díaz-Barriga (citada por Moreno) describe el perfil profesional como un conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes que delimitan el ejercicio profesional [9].

Las habilidades o competencias genéricas dentro de las que se encuentran las habilidades blandas o *soft skills*, se carac-

terizan por permitir entender el contexto e influir en él, son: transversales (relevantes en diversos campos de conocimiento), transferibles (permiten la adquisición de otros conocimientos) y claves (aplicables en diversos contextos y a lo largo de la vida), de las cuales solo se eligieron competencias comunicativas y las que implican la solución de problemas.

Este artículo se centra en el Instituto Politécnico Nacional (México), en las ingenierías del área de físico-matemáticas en la modalidad virtual, se han analizado de las 34 carreras que se ofertan solo 10 seleccionadas de manera aleatoria, lo que equivale a un 29% para identificar en los perfiles de egreso las habilidades o competencias comunicativas y de solución de problemas que se pueden observar en la Tabla 1 que permite identificar dentro de los perfiles de egreso de las ingenierías expresiones que manifiestan las habilidades o competencias comunicativas y la solución de problemas.

Qué cambios supone el desarrollo del pensamiento complejo, habilidades y actitudes: un proceso de enseñanza centrado en el alumno que gire en torno a la solución o propuesta de alternativas de solución ante problemas contextualizados reales o simulados. Lo que implica también una participación diferente del docente para facilitar el aprendizaje profundo, el cambio de actividades aisladas por técnicas y metodologías didácticas que integren un conjunto de actividades, centradas en el estudiante, motiven a la innovación y acerquen a la realidad del contexto actual. Solo se hace la propuesta de la lectura de textos expositivos y el aprendizaje basado en problemas.

2.1. La lectura de los textos expositivos

Entre las habilidades más cuestionadas dentro y fuera de los planteles educativos se encuentra la lectura, una de las cuales integra a la competencia comunicativa. Esta última se refiere a "la capacidad para comportarse de manera eficaz y adecuada en una determinada comunidad de habla; ello implica respetar un conjunto de reglas que incluye tanto las de la gramática y los otros niveles de la descripción lingüística (léxico, fonética, semántica) como las reglas de uso de la lengua" [11].

Dicha competencia es muy difícil de alcanzar, debido a múltiples factores, pues lo que se pretende en este texto es brindar estrategias para desarrollar la competencia lectora en los textos expositivos, lo que implica que al insertarlo en "un currículo orientado hacia el logro de las competencias básicas supone que todas las áreas o materias han de propiciar su desarrollo y adquisición" [12].

La lectura es una habilidad necesaria en todos los estudiantes (lo cual no excluye a la sociedad en general); sin embargo, no todos la desarrollan hasta lograr la competencia, en princi-

Tabla 1. Perfiles de egreso de las ingenierías en el Instituto Politécnico Nacional (México).

INGENIERÍA	COMPETENCIAS ARGUMENTATIVAS	SOLUCIÓN DE PROBLEMAS
Ambiental	Buscar y analizar la información para el desarrollo la creación e innovación. Comunicar en forma oral y escrita en español.	Dirigir grupos inter y multidisciplinario para la resolución de problemas del ambiente
Biónica	Practicar la actualización continua en su área de especialización revisando el estado del arte.	
Bioquímica		Será capaz de realizar trabajo colaborativo multidisciplinario e interdisciplinario para operar mantener mejorar optimizar seleccionar adaptar diseñar desarrollar innovar asimilar los diversos componentes de una organización productiva.
Civil	Capacidad de análisis y síntesis.	Ingenio destreza observación iniciativa disciplina don de mando creatividad.
Eléctrica	Obtener y procesar información en forma oral y escrita para proyectos e investigaciones.	Aplicar el pensamiento analítico lógico creativo e innovador para el análisis de problemas y la toma de decisiones.
Mecánica	Obtener y procesar información de manera oral y escrita para los proyectos e investigaciones.	
Robótica Industrial	Obtener y procesar información de manera oral y escrita para los proyectos e investigaciones.	Aplicar el pensamiento analítico creativo e innovador para el análisis de problemas y la toma de decisiones.
Telemática	Será capaz de expresarse correctamente de forma oral y escrita tanto en su idioma como en el idioma inglés.	Podrá integrarse o ser líder de equipos de trabajo interdisciplinario o multidisciplinario en organizaciones públicas y privadas.
Farmacéutica	Comunicación oral y escrita (español e inglés).	Organización de equipos de trabajo.
Industrial	Manejo de lenguaje (comprender textos), bases de un segundo idioma, técnicas de estudio, técnicas de lectura, técnicas de redacción.	Manejo de relaciones humanas. Solución de problemas. Criterio de decisión. Disponibilidad para trabajar en equipo.

pio, se tiene como excusa el hecho de que por eso se cursa X o Y carrera, para "no tener que leer".

Otro factor es la misma postura del docente frente al acto de leer, pues no le atribuye el valor epistémico dentro de su propia unidad de aprendizaje y relega a otros la lectura y la redacción y olvida que "el principio de aprender a aprender implica formar en el estudiante capacidades analíticas y de comprensión" [13, p. 17]; por otro lado, ¿a qué nivel debe saber leer el estudiante que cursa una licenciatura o una ingeniería? Leer ¿para qué? Pero sobre todo ¿qué lee el estudiante? Al respecto, Carlino afirma que los universitarios leen textos científicos, entendiéndolos como "artículos de revistas de investigación, tesis, ponencias presentadas en congresos, informes y proyectos de investigación", entre otros [14]. De ser cierto lo anterior, los titulares de los cursos deben implicarse en dicha cultura: propiciar la lectura en silencio y en voz alta dentro del salón, dejar de concebirla como un hecho ajeno a la sesión. Esto es, si se quiere que los estudiantes "desarrollen habilidades superiores de razonamiento y análisis" [13, p. 9].

Asimismo, los objetivos para los cuales se realizará la lectura deben ser establecidos desde la planeación. Por ejemplo, la lectura que se realiza "con el propósito de buscar información determinada o para responder a una cuestión específica" es diferente a la que se debe llevar a cabo para "dominar la información y el contenido, que suele ser necesariamente cuidadosa, lenta y repetida" [15]. Estos tipos de lectura originan distinto producto, en el caso de la primera se puede llevar a cabo para responder un cuestionario o elaborar un mapa mental; sin embargo, en el segundo caso, es más complejo el producto pues el dominio de la información va encaminado a la elaboración de un texto con un mayor grado de dificultad: reseña, ensayo, artículo, entre otros, quizá hasta utilizar la información para desarrollar el trabajo de tesis.

2.2. La lectura propicia el cambio, modifica

El acto de leer no ha sido valorado porque su proceso es lento, imperceptible y, muchas veces, abrumador, debido al tipo de léxico que utilizan los autores en el texto y el lenguaje propio de la ciencia; sin embargo, esta percepción puede ser salvada si se toma en cuenta, desde el principio, que los términos técnicos facilitan la comprensión, pues al dominar la etimología del término inmediatamente se hace un campo semántico, independientemente de la ortografía, por ejemplo, en el área de la física existe el vocablo "cinética" (proviene del griego κίνησις, -εως, cuyo significado es "movimiento, cambio"), de la raíz se forma telequinesis; de ahí quinesésico o cinestésico. La letra cappa o kappa, al pasar al idioma español permite ser usada como letra "c" o "q", así se explica que la misma palabra pueda ser escrita de las dos formas.

El léxico es un obstáculo cuando se empieza a leer, pues ralentiza el avance y resulta muy molesto cuando se dispone de poco tiempo para terminar un texto. Si se salva este primer obstáculo a la larga lo que obtiene es un vasto lenguaje. El cual es perceptible hasta la siguiente lectura, pues los términos van adquiriendo familiaridad y, poco a poco, van tomando su lugar en el conocimiento y en la apropiación de la información.

Una vez que se ha propuesto y realizado la lectura hay un siguiente paso: la discusión, no solo para evaluar si el estudiante cumplió con el cometido, sino para desechar la deficiente interpretación de la información. En este último caso, es cuando se generan las percepciones negativas sobre la comprensión de la lectura. De acuerdo con PISA 2018, "la competencia lectora es la comprensión, el uso, la evaluación, la reflexión y el compromiso con los textos con el fin de alcanzar los propios objetivos, desarrollar el conocimiento y el potencial personal, y participar en la sociedad" [16].

Siguiendo los procesos de evaluación propuestos por PISA, los estudiantes saben localizar información, pues son capaces de resolver un cuestionario a partir de la lectura (otro caso con los exámenes de ingreso) o pueden elaborar un resumen del texto. El siguiente nivel es el de comprender, es en este nivel donde se identifican las deficiencias de los estudiantes, debido a la incapacidad para integrar y generar inferencias o muestran carencias para integrar información de diversos textos. Todavía son menos los estudiantes capaces de evaluar la calidad y la credibilidad de la información, además de reflexionar sobre la forma y el fondo del texto.

La eficiente competencia lectora facilita los logros en otras asignaturas del sistema educativo y garantiza la participación exitosa en la mayoría de las áreas de la vida adulta. También favorece el desarrollo del pensamiento a través del desarrollo de habilidades como la reflexión y el fortalecimiento de la creatividad. En otras palabras, la lectura comprensiva es un mecanismo positivo, porque permite el desarrollo del pensamiento crítico, creativo y divergente.

La competencia en lectura incluye una amplia gama de competencias cognitivas y lingüísticas, desde la decodificación básica hasta el conocimiento de las palabras, la gramática y las estructuras lingüísticas y textuales más amplias para la comprensión, así como la integración del significado con el conocimiento del mundo. También incluye las competencias metacognitivas: la conciencia y la capacidad de utilizar una variedad de estrategias apropiadas al leer textos. Las competencias metacognitivas se activan cuando los lectores piensan, supervisan y ajustan su actividad de lectura para un objetivo particular [16].

El objetivo en particular se relaciona con el producto a obtener y se coordina por el docente responsable del curso y del libro (artículo) que haya elegido para ser trabajado en el curso. Con lo cual se espera no caer en lo tradicional y trillado: resumen o comentario (opinión o juicio acerca de la obra). Sobre todo si se pretende que el alumno vaya ampliando su campo de acción, integrados como reseñas, ensayos, síntesis informes técnicos.

2.3. Aprendizaje basado en problemas (ABP)

Las fronteras entre las disciplinas de ingeniería están desapareciendo, y la práctica de la ingeniería tiende rápidamente hacia una orientación intrínsecamente multidisciplinar con el fin de resolver problemas cada vez más complejos [17] aquí radica la importancia de estrategias didáctica que le permitan al alumno ser activo y responsable en su proceso de aprendizaje. El Aprendizaje basado en problemas (ABP) consiste en la construcción de soluciones a problemas basados en la vida real con la finalidad de activar un conocimiento previo y a su vez generar un diálogo que permita evaluar críticamente las alternativas [18].

Cuando el alumno se enfrenta a problemas reales o simulados, está obligado a plantearse primero interrogantes que después se convierten en desafíos: cuál es el problema, que necesito para resolverlo, con qué información cuento y cuál es la que se necesita... promoviendo así el aprendizaje autónomo, colaborativo, procesos de investigación.

Autores manifiestan que el ABP se trata ante todo de un enfoque integrador basado en actividades que fomentan la reflexión, el pensamiento complejo, la cooperación y la toma de decisiones, que giran en torno al afrontamiento de problemas auténticos y significativos, situados en el contexto de la profesión en la que se está formando al estudiante universitario, teniendo en mente su futuro como profesionista competente y comprometido [19]. Entre competencias técnicas adquiridas por los alumnos al aplicar la metodología ABP destacan las competencias técnicas: el proceso de investigación, diagnóstico y propuesta de soluciones, la metodología de trabajo, definición de objetivos, prevención y resolución de conflictos, gestión de equipos, coordinación de actividades, entre otras de acuerdo. De manera general las etapas de la metodología del ABP: PlanTEAMIENTO del problema por resolver dentro de contexto, análisis en el grupo del diagnóstico de necesidades para la solución, discusión en torno al problema: objetivos, acciones o tareas, recursos, así como el o los temas por investigar, búsqueda de materiales en torno al problema: lecturas relevantes, entrevistas de expertos, etc., Propuesta y evaluación de las posibles maneras de resolver el problema y elaboración de un informe que documente el proyecto y conclusiones.

3. Conclusiones

En un mundo globalizado se debe de promover una formación integral que con el enfoque propio de cada uno de los perfiles de egreso técnico y científicos de las ingenierías fomente las competencias a través de experiencias de aprendizaje que desarrollen habilidades blandas: comunicación eficaz y el trabajo en equipo, entre otras la creatividad.

Esto solo se logra bajo el entendido del engranaje pedagógico del proceso enseñanza aprendizaje y los contenidos que provienen de una realidad para la resolución de problemas, basados en la lectura para el desarrollo de habilidades del pensamiento complejo (análisis, síntesis, crítica), de las comunicativas (lectura, expresión oral y escrita) y habilidades blandas (liderazgo, trabajo en equipo).

En consecuencia, la oportunidad que tiene durante el proceso de formación a través de la conceptualización diferente del aprendizaje y metodologías que se pueden emplear como lectura y análisis de textos expositivos a partir de ella se pueden originar un sin número de actividades sobre el contenido. La oportunidad de solucionar problemas o proponer alternativas de solución a un problema real o simulado acerca al alumno a elaborar ideas o productos creativos, novedosos e útiles a la sociedad.

Las ingenierías que demanda el campo laboral actual se caracterizan además del conocimiento técnico-científico, por perfiles híbridos y complejos: informática, expresarse a través de diversos lenguajes, el trabajo colaborativo, la integración de los saberes: conceptuales, procedimentales y actitudinales para dar solución a diversos problemas. Los resultados de la formación de ingenieros deben dar como resultado perfiles de egreso que traspasan las fronteras de una disciplina y de un área de conocimiento específica.

Agradecimientos

Las autoras agradecen el apoyo otorgado por el Instituto Politécnico Nacional por medio de la Secretaría de Investigación y Posgrado para realizar este artículo.

Referencias

- [1] Instituto Politécnico Nacional, *Un nuevo Modelo Educativo para el IPN*. México: Dirección de publicaciones IPN, 2003.
- [2] UNESCO, *Sociedades del conocimiento: el camino para construir un mundo mejor*, 2018. Disponible en <https://es.unesco.org/node/251182>

- [3] E. Serna, A. Serna, "Complejidad y Pensamiento Complejo para innovar los procesos formativos en ingeniería," *Sistemas Cibernética e Informática*, vol. 14, no. 1, pp. 48-55, 2017. Disponible en [http://www.iiisci.org/journal/CV\\$/risci/pdfs/CB176YI17.pdf](http://www.iiisci.org/journal/CV$/risci/pdfs/CB176YI17.pdf)
- [4] System Integration of industria 4.0, 2018. Disponible en <http://www.masingenieros.com/portfolio/el-nuevo-reto-la-industria-4-0/>
- [5] C. B. Ynzunza-Cortés, J. M. Izar-Landeta, J. G. Bocarando-Chacón, "El entorno de la industria 4.0: implicaciones y perspectivas futuras," *ConCiencia Tecnológica*, no. 54, pp. 33-45, 2017. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631006>
- [6] A. Valle-Flores, "Nuevos contenidos del trabajo y formas de empleo profesional en el sector moderno de las economías desarrolladas," *Perfiles educativos*, vol. 23, pp. 129-138, 2011. Disponible en <https://www.redalyc.org/toc.oa?id=132&numero=21258>
- [7] D. Flores-Guerrero, "La importancia e impacto de la lectura, redacción y pensamiento crítico en la educación superior," *Zona Próxima*, no. 24, pp. 128-135, 2016. Disponible en <http://dx.doi.org/10.14482/zp.24.8727>
- [8] A. Torres, El pensamiento complejo y educación, 2013. Disponible en <http://edgarmorinmultiversidad.org/index.php/blog/35-educacion/387-pensamiento-complejo-y-educacion.html>
- [9] J. E. Moreno, A. Marcaccio, "Perfiles profesionales y valores relativos al trabajo," *Ciencias Psicológicas*, vol. 8, no. 2, pp. 129-138, 2014. Disponible en http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-42212014000200003&lng=es&tlng=es
- [10] Instituto Politécnico Nacional, *Oferta educativa*, 2018. Disponible en <https://www.ipn.mx/oferta-educativa/educacion-superior>
- [11] Centro Virtual Cervantes, *CVC Diccionario de términos claves de ELE*, 2018. Disponible en https://cvc.cervantes.es/ensenanza/biblioteca_ele/diccio_ele/diccionario/competenciacomunicativa.htm
- [12] P. Pérez-Esteve, "La comprensión lectora y la competencia en comunicación lingüística en el nuevo marco curricular: algunas claves para su desarrollo," *Educatio siglo XXI*, vol. 27, no. 1, pp. 13-32, 2009. Disponible en <https://revistas.um.es/educatio/article/view/71081/68621>
- [13] Instituto Nacional para Evaluación de la Educación, *PISA en el aula: Lectura*, México: INEE, 2008.
- [14] P. Carlino, *Escribir, leer y aprender en la universidad. Una introducción a la alfabetización académica*, Argentina: Fondo de Cultura Económica, 2005.
- [15] H. Maddox, *Cómo estudiar*, España: Oikos-Tau, 1973.
- [16] OCDE, *Acuerdo de cooperación México-OCDE para mejorar la calidad de la educación de las escuelas mexicanas*, México, 2010.
- [17] A. Valencia, "Enseñanza del emprendimiento en las facultades de ingeniería," *9th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, (pp. 1-9), Medellín, Colombia, 2011.
- [18] S. Núñez-López, J. E. Avila-Palet, S. L. Olivares-Olivares, Silvia-Lizett, "El desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes universitarios por medio del Aprendizaje Basado en Problemas," *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, vol. 8, núm. 23, pp. 84-103, enero 2017. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/2991/299152904005.pdf>
- [19] F. Díaz, "Aprendizaje basado en problemas. De la teoría a la práctica, Carlos Sola Ayape (Dir. Ed.)," *Perfiles educativos*, vol. 28, no. 3, pp. 124-127, 2006. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26982006000100007

AmeliCA

Ameli, Conocimiento Abierto para América Latina y el Sur Global

<http://www.amelica.org>

Es una iniciativa puesta en marcha por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO), la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc), la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), la Universidad de Antioquia (UdeA) y la Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

Se trata de una nueva configuración de estrategias, en respuesta al contexto internacional, regional, nacional e institucional, que busca una solución de Acceso Abierto colaborativa, sostenible, protegida y no comercial para América Latina y el Sur Global.

Modelos matemáticos de los parámetros energéticos de desempeño de gasificadores tipo downdraft mediante técnicas de regresión

Eduardo Roberto **Gutiérrez-Gualotuña**¹

Jorge André **Soria-Amancha**¹

Paúl Michael **Tafur-Escanta**¹

Natzarena **Rodríguez-Trujillo**¹

Ángelo Homero **Villavicencio-Poveda**¹

José **Arzola-Ruiz**²

¹Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE)
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
171103
ECUADOR

²Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría"
Centro de Estudios de Matemáticas para las Ciencias Técnicas
(CEMAT)
11901
CUBA

Tel. (593)984867438
correos electrónicos (emails):
ergutierrez@espe.edu.ec, jatoria@espe.edu.ec
pmtafur@espe.edu.ec, nnrodriguez2@espe.edu.ec
ahvillavicencio@espe.edu.ec, jarzola@cemat.cujae.edu.cu

Recibido 05-10-2018, aceptado 14-12-2018.

Resumen

En las instalaciones energéticas la operación influye de forma considerable en la eficiencia, por lo que en esta investigación se presentan resultados obtenidos por los autores en el modelado de los indicadores de desempeño de la operación de instalaciones de gasificación de la biomasa con ayuda de las técnicas de regresión no lineal, a partir del análisis sistémico, su identificación y determinación del tipo de modelo con el mejor ajuste de la operación de estas instalaciones. Se realiza unos estudios bibliográficos de los trabajos de investigaciones previos, vinculados al modelado matemático de estas instalaciones por las diferentes técnicas reflejada en la literatura especializada. Se realiza un plan experimental 3^N con tres réplicas, a partir del cual se elaboran, utilizando técnicas de linealización

de modelos, cuatro modelos de regresión no lineales correspondientes a respectivos indicadores de desempeño, con satisfactorios resultados de su evaluación a partir de los coeficientes de regresión y errores estándar utilizando tres tipos de biomasa. Se describe la instalación experimental y el sistema de adquisición de datos desarrollados.

Palabras clave: operación de instalaciones energéticas, energía renovable, instalaciones de gasificación tipo downdraft, modelado matemático.

Abstract

(Mathematical Modeling of Energetic Performance Parameters for Downdraft Gasifiers through Regression Techniques)

In the energy facilities, the operation has a considerable influence on efficiency, which is why this research presents results obtained by the authors in the modeling of performance indicators of the operation of biomass gasification facilities with the help of the non-linear regression techniques, from the systemic analysis, its identification and determination of the type of model with the best adjustment of the operation of these facilities. Several bibliographical studies are carried out on previous research, linked to the mathematical modeling of these facilities by the different techniques reflected in the specialized literature. A 3^N experimental plan is made with three retorts, from which four non-linear regression models corresponding to respective performance indicators are elaborated using model linearization techniques, with satisfactory results from their evaluation based on the regression coefficients. And standard errors using three types of biomass. The experimental installation and the developed data acquisition system are described below.

Index terms: operation of energetic installations, renewable energy, downdraft gasification installations, mathematical modeling.

1. Introducción

El desempeño de los procesos en las instalaciones de termogaseificación tipo downdraft requieren definir la estructura de

los modelos e identificar cual va a ser la parte del plan experimental inicial, de tal manera que al final rectificar con cambios específicos que se adapten a las instalaciones [1]. Que a través de Las regresiones no lineales permite la generación de una ecuación para describir la relación entre dos o más variables, de una respuesta continua y de una o más variables predictoras.

La gasificación es la conversión de un caudal sólido en un combustible gaseoso o líquido que puede ser quemado para liberar energía o ser utilizado para la producción de sustancias químicas valiosas y constituye uno de los recursos que permite sustituir una parte importante de los combustibles fósiles; requiere de un agente gasificante (aire, oxígeno o vapor) para reordenar la estructura molecular de la biomasa y convertirla en un combustible útil con una relación mayor de la relación hidrógeno-carbón (H/C) [2]. La calidad del gas producido en la instalación depende no solo de las características del flujo de gas, del agente gasificante utilizado, del tipo de biomasa experimental y del diseño del reactor, sino también de los parámetros de operación [3].

La relación de equivalencia tiene un fuerte efecto en el proceso de gasificación. El aumento de la relación de equivalencia promueve la temperatura de gasificación en crecimiento debido a la actividad de reacción de combustión [4], [5]. La concentración de CO y H₂ en el gas producido se va hasta con aumento de la relación de equivalencia. Sin embargo, la relación de equivalencia alcanza un punto crítico, el CO y el H₂ cuya concentración es inversamente proporcional comienza a bajar. Por lo tanto, los estudios allí se reducen la concentración de CO y H₂ [6].

Por tal razón la biomasa experimental debe ser seleccionada adecuadamente. Una de ellas es la *Eichhorniacrassipes* "lechugin" que, por su tasa de crecimiento elevado en la superficie de los ríos de clima tropical y subtropical de Sudamérica, es una excelente fuente de biomasa. Una hectárea de cosecha permanente produce más de 70000 m³/ha de biogás [7]. Según Curtis y Duke, un kg (2.2 lb) de materia seca puede producir 370 litros (13 cu ft) de biogás, con un poder calórico de 22,000 kJ/m³ (593 Btu/cu ft) comparado con el metano puro (895 Btu/cu ft). Con una concentración de 51.6% de metano (CH₄), 25.4% de hidrogeno (H₂), 22.1% de anhídrido carbónico (CO₂), y 1.2% de oxígeno (O₂) [8].

Por otra parte, está la leña cuyo uso como combustible tiene una larga historia, proporcionando un poder calórico de 14.9 MJ/kg (6,388 Btu/lb). Según The Bioenergy Knowledge Centre, el contenido energético de la leña está estrechamente relacionado con su contenido de humedad. El contenido energético mejora a medida que disminuye el contenido de humedad [9].

En el estudio bibliográfico realizado se encontraron investigaciones basadas en modelos de redes neuronales artificiales para caracterizar el comportamiento de varios tipos de gasificadores a partir de datos experimentales. Con el uso de esta herramienta se han desarrollado algunos trabajos en el campo de la gasificación de la biomasa y el carbón. Es así que en el año 2010 María Puig *et al.* [10] desarrolla un trabajo referente a la revisión y análisis de los modelos de gasificación de biomasa, los autores analizan varios modelos del proceso de gasificación, los que se basan en el modelo de equilibrio termodinámico, cinético y de redes neuronales para predecir el comportamiento del reactor enfocado a la producción del gas y sus componentes, hacen una descripción del proceso de creación de la red neuronal multicapa (MFNN) que sirve como un estimador de proceso no medido en parámetros difíciles de modelar, los autores se refieren a este diseño como un aproximador de función universal con la capacidad de aproximar cualquier función continua a una precisión arbitraria incluso sin conocer la estructura de la función que ha ser aproximada [11], [12].

El estudio del estado del arte muestra muy pocas publicaciones dedicadas al modelado por medio de técnicas de regresión a partir de un diseño experimental adecuado a la tarea que se quiere resolver, entre ellos se encuentra Vladimir Kirsanovs *et al.* [13], [14]. En este trabajo el autor realiza una investigación experimental del proceso de gasificación en una planta real de 400 kW con el fin de caracterizar indicadores de eficiencia de la operación. Se hallan cuatro modelos para definir el poder calórico del gas de síntesis, la capacidad del gasificador y la eficiencia en frío y en caliente del gas. No obstante, carece de un análisis sistémico previo que permita definir el conjunto de relaciones que se requiere modelar con el fin de operar racionalmente el proceso [15], [16].

El objetivo del presente trabajo consiste en la elaboración de modelos de los indicadores de desempeño requeridos para la operación de instalaciones de gasificación tipo downdraft a partir de los datos de un plan experimental correspondientes al análisis sistémico para la definición de las variables que intervienen y su relación mutua, para la operación de este tipo de instalaciones utilizando el análisis de regresión no lineal [17].

Los modelos matemáticos que describen el comportamiento de campo requieren estimaciones fiables para los diferentes parámetros que no se puedan medir directamente y un procedimiento es el análisis de regresión lineal y ajuste por curvas tipo. Por lo tanto, el ajuste por curvas tipo es un método en el cual todos los puntos obtenidos se ensamblan con una línea, ésta no necesariamente debe tocar todos los puntos y los resultados que se obtienen son considerados como una aproximación para los parámetros verdaderos [18], [19].

2. Materiales y métodos

2.1. Instalación experimental

Está constituida por un gasificador tipo downdraft con una capacidad de 10 kW conectado a un motor de combustión interna de 0.8 kW de potencia nominal.

Como resultado del análisis sistémico realizado en correspondencia con los métodos de análisis y síntesis de sistema de ingeniería expuesta en [15], se obtuvo la siguiente composición de variables para la tarea de operación de la instalación de gasificación downdraft.

2.2. Variables de coordinación

Generación deseable de flujo horario de gas que se requiere de la instalación, con el fin de satisfacer las necesidades del consumidor determinada por el nivel superior.

Disponibilidad máxima de los diferentes tipos de biomasa para ser consumidos en él.

2.3. Indicadores de eficiencia

Eficiencia de la instalación E_f , Temperatura de la zona de pirólisis T_{zp} , poder calórico del gas PCG , caudal másico de gas generado MG .

2.4 Variables de decisión

Humedad H_u , Cantidad de biomasa C_{bio} , Caudal de aire de combustión Cau . Para estas variables se seleccionaron los niveles 12, 16, 20%; 1, 3, 5 kg; 0.1666, 0.2098, 0.2531 g/s; respectivamente.

3. Diseño experimental

El plan experimental se concibió con una estructura 3N (alto, medio y bajo, por variables) con tres réplicas, con el fin de tomar en consideración el carácter necesariamente no lineal de las relaciones requeridas y que queden reflejados los factores casuales, incluyendo los errores de medición, para modelar los indicadores de desempeño como función de las variables de operación, con ayuda de modelos de regresión no lineales. Para la recopilación automatizada de la información experimental, se diseñó e implementó en la instalación una tarjeta de adquisición de datos myRIO y la interface maquina hombre con un programa desarrollado en LabView.

La instrumentación utilizada consta de una alarma digital de detección de CO marca Kidde con una intervalo de medición

de 30-999 PPM con error $\pm 30\%$ de la magnitud medida en condiciones normales, un medidor de humedad MD914 con un intervalo de medición de 2 a 60% una resolución de 0.5% un sensor de nivel de combustible controlado mediante una paleta para censar el nivel de biomasa, 8 termocuplas tipo k, con intervalo de medición de 0 a 1250°C de temperatura con un límite de error $\pm 2.2\%$ °C de chromel-alumel y un cable de compensación KX, ubicadas de la siguiente forma: cuatro para las zonas de reducción, pirólisis, combustión y secado, una en la descarga de cenizas, y tres para censar las temperaturas del gas a la entrada del ciclón, a la entrada del intercambiador de calor y a la salida del intercambiador de calor, así como de dos manómetros de agua tipo U con intervalo de medición de 200 mm de H_2O , con error de medición de ± 1 mm de H_2O uno de ellos toma la diferencia de presión existente en el reactor y el otro en la placa orificio para medición de caudal másico de aire de ingreso en las diferentes aperturas de válvula. La disposición de toda la instrumentación se ilustra en la Fig. 1.

Para elaborar las ecuaciones de regresión que se ajusten adecuadamente a los resultados experimentales se utilizan las

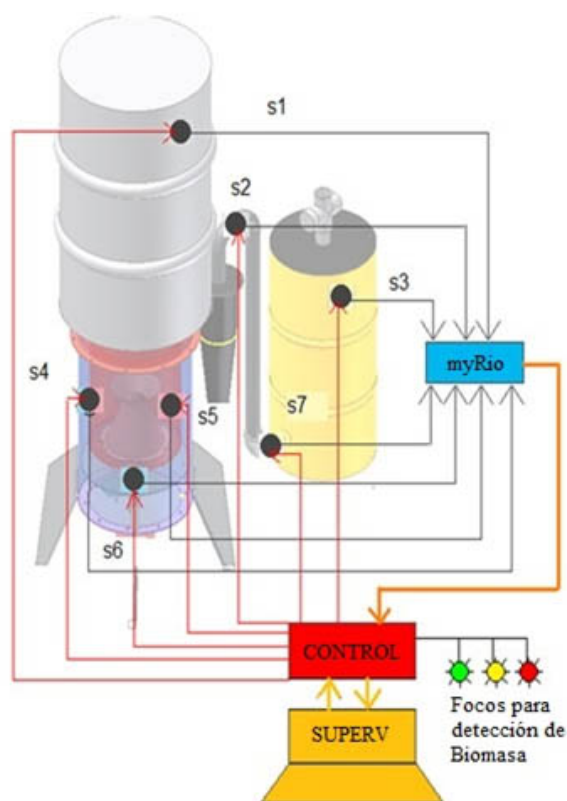


Fig. 1. Puntos de control del gasificador tipo downdraft.

técnicas de linealización de modelos expuesta en el libro *Sistemas de Ingeniería* [16].

En particular, si a ambos miembros del modelo monomial (1), como se puede observar en la ecuación 1:

$$y = cx_1^{\alpha_1} x_2^{\alpha_2} \dots x_n^{\alpha_n} \quad (1)$$

donde: $c, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n \in \mathbb{R} \neq 0$

Se le hallan los logaritmos que se obtiene de la ecuación 2:

$$\log y = \log c + \alpha_1 \log x_1 + \alpha_2 \log x_2 + \dots + \alpha_n \log x_n \quad (2)$$

de donde se deduce que los coeficientes $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ constituyen potencias de mejor ajuste del monomial (1) o de cualquier composición de productos $x_i^{\alpha_i} x_j^{\alpha_j} \dots$.

De igual forma se pueden generar términos exponenciales, recíprocos y otros. Se utilizará el siguiente esquema de búsqueda de modelos [16]:

- 1) Selección de todos los factores "sospechosos" de ejercer influencia sobre la variable dependiente y generación de estos factores. Aquí se pueden utilizar procedimientos auxiliares diferentes. Por ejemplo, los factores de interacción entre las variables se pueden establecer mediante un modelo monomial auxiliar, que incluye todas las variables de la interacción; luego de hallada la ecuación de regresión de este modelo auxiliar queda esclarecidos los exponentes más adecuados del factor de interacción.
- 2) Se halla la ecuación de regresión con todos los factores "sospechosos" (sean, por ejemplo, k factores).
- 3) Se registra el coeficiente de correlación múltiple y el error estándar de la ecuación.
- 4) Se elimina el factor con menor coeficiente de correlación parcial y se halla una nueva ecuación de regresión con $k - 1$ factores. Este proceso se repite mientras se observe el incremento del coeficiente de correlación múltiple o la reducción del error estándar (inicialmente ambos coeficientes mejoran, con posterioridad el coeficiente de correlación múltiple comienza a disminuir y continúa reduciéndose el error estándar).
- 5) Finalmente, se verifica el cumplimiento de los requisitos formulados con anterioridad. Si ellos se cumplen, para valores del error estándar tales que $2\sigma \leq \delta$ donde σ es el error estándar de la ecuación y δ es el error máximo.

4. Resultados

Siguiendo los diferentes métodos de selección de modelos expuesta anteriormente y se hallaron los modelos que describen el desempeño de los indicadores. Como paso previo a su

elaboración fueron halladas mediante ecuaciones logarítmicas auxiliares las potencias de mejor ajuste y, ayudados por los distintos métodos de elaboración de modelos expuestas en el apartado 3, fueron excluidos uno a uno los términos no significativos. Como resultado fueron encontrados los siguientes modelos para la estimación de los indicadores de desempeño de la operación del proceso.

4.1. Biomasa Lechugin

Para la estimación de la eficiencia (Ef), se puede observar en la ecuación 3:

$$Ef = -61.742 + 72.60Cau^{(0.204)}Hu^{(-0.212)} - 107.17Cbio^{(0.084)} + 2.18Hu + 236.99Hu^{(-0.212)}Cbio^{(0.084)} \quad (3)$$

Se obtuvieron los siguientes indicadores de calidad:

R-squared = 70.01 %
 R-squared (adjusted for d.f.) = 69.3451 %
 Standard Error of Est. = 1.98217
 Mean absolute error = 1.51418
 Durbin-Watson statistic = 1.62498 (P=0.0366)
 Lag 1 residual autocorrelation = 0.18311

Las potencias Cau , Hu y $Cbio$ se obtuvieron a partir de modelos para la búsqueda de las potencias de mejor ajuste correspondiente.

El error estándar de la estimación muestra la desviación estándar de los residuales es de 1,98. Este valor puede ser utilizado para construir límites de predicción para las nuevas observaciones. En la Fig. 2 se muestra la comparación entre los resultados calculados y experimentales.

Para la estimación del caudal másico de gas generado (MG), se puede observar en la ecuación 4:

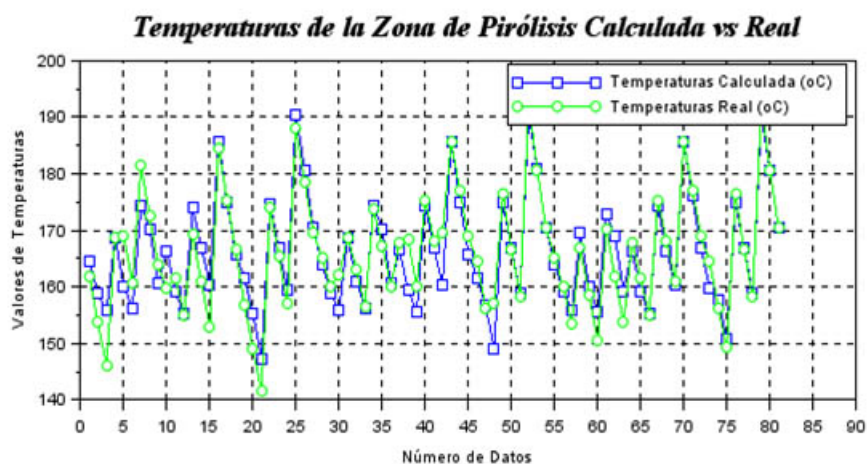
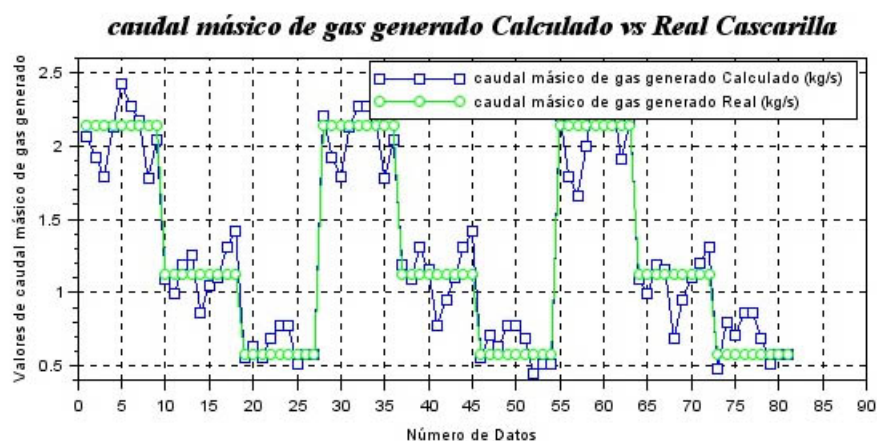
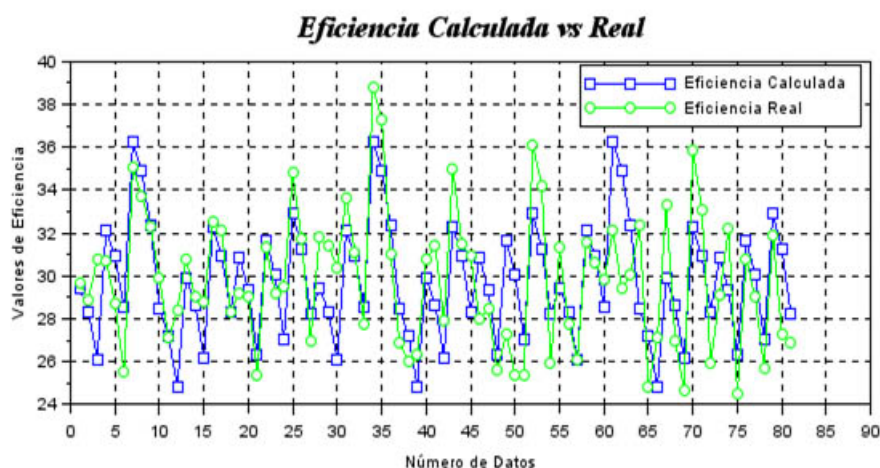
$$MG = 0.004 + 403.04Cau^{(3.807)}Hu^{(0.155)} \quad (4)$$

En la Fig. 3 se muestra la comparación entre los resultados calculados y experimentales.

Para la estimación de la temperatura de la zona de pirolisis (Tzp), se puede observar en la ecuación 5:

$$Tzp = 5445.95 - 4739.92Cau^{(-0.085)} + 8107.4Cau^{(-0.085)}Hu^{(-0.193)} + 3.83Cbio - 9055.84Hu^{(-0.193)} \quad (5)$$

En la Fig. 4 se muestra la comparación entre los resultados calculados y experimentales.



Para la estimación del poder calórico del gas (PCG), se puede observar en la ecuación 6:

$$PCG = -38.73 + 60.34Cau^{(0.349)}Hu^{(-0.209)} - 65.36Cbio^{(0.087)} + 1.33Hu + 144.64Hu^{(-0.209)}Cbio^{(0.087)} \quad (6)$$

En la Fig. 5 se muestra la comparación entre los resultados calculados y experimentales.

4.2. Biomasa cascarilla de arroz

Para la estimación de la eficiencia (Ef), se puede observar en la ecuación 7:

$$Ef = 1586.75 - 4345.9Cau^{(-0.0032)}Hu^{(-0.0804)} + 2083.15Cau^{(-0.0032)}Hu^{(-0.0804)}Cbio^{(0.0298)}$$

$$-1595.84Cbio^{(0.0298)} + 2083.15Hu^{(-0.0804)} \quad (7)$$

En la Fig. 6 se muestra la comparación entre los resultados calculados y experimentales.

Para la estimación del caudal másico de gas generado (MG), se puede observar en la ecuación 8:

$$MG = -5.06733 - 1454.41Cau^{(3.5929)}Cbio^{(0.0075)} + 1366.2Cau^{(3.5929)}Hu^{(0.0962)}Cbio^{(0.0075)} - 3.87865Hu^{(0.0962)}Cbio^{(0.0075)} \quad (8)$$

En la Fig. 7 se muestra la comparación entre los resultados calculados y experimentales.

Para la estimación de la temperatura de la zona de pirolisis (Tzp), se puede observar en la ecuación 9:

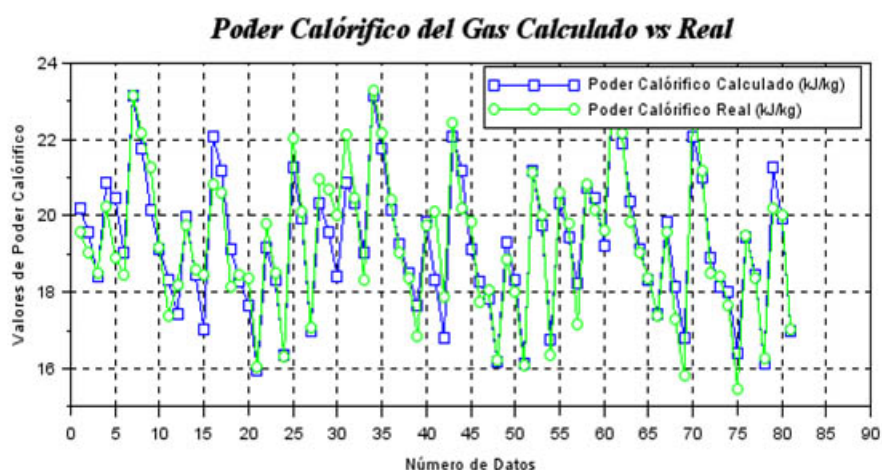


Fig. 5. Resultados de los datos de la biomasa Lechugin para PCG .

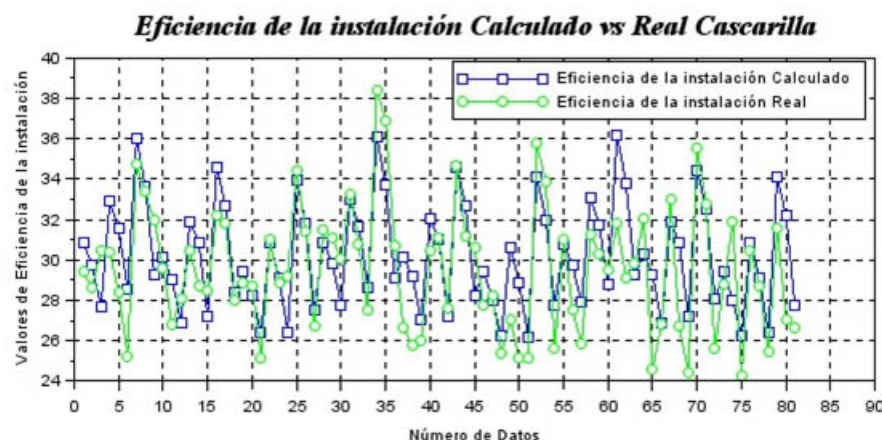


Fig. 6. Resultados de los datos de la biomasa Cascarilla para Ef .

$$T_{zp} = 538202 - 543003Cau^{(0.0035)} - 2431.73Cau^{(0.0035)}Cbio^{(0.0610)} + 458863Cau^{(0.0035)}Hu^{(-0.2840)} - 1955.51Cau^{(0.0035)}Hu^{(-0.2840)}Cbio^{(0.0610)} - 45472Hu^{(-0.2840)} \quad (9)$$

En la Fig. 8 se muestra la comparación entre los resultados calculados y experimentales.

Para la estimación del poder calórico del gas (PCG), se puede observar en la ecuación 10:

$$PCG = -41.4635 + 134.56Cau - 187.88Cau^{(0.3192)}Hu^{(-0.2156)}Cbio^{(0.0864)} - 57.25Cbio^{(0.0864)} + 0.85Hu + 249.28Hu^{(-0.2156)}Cbio^{(0.0864)} \quad (10)$$

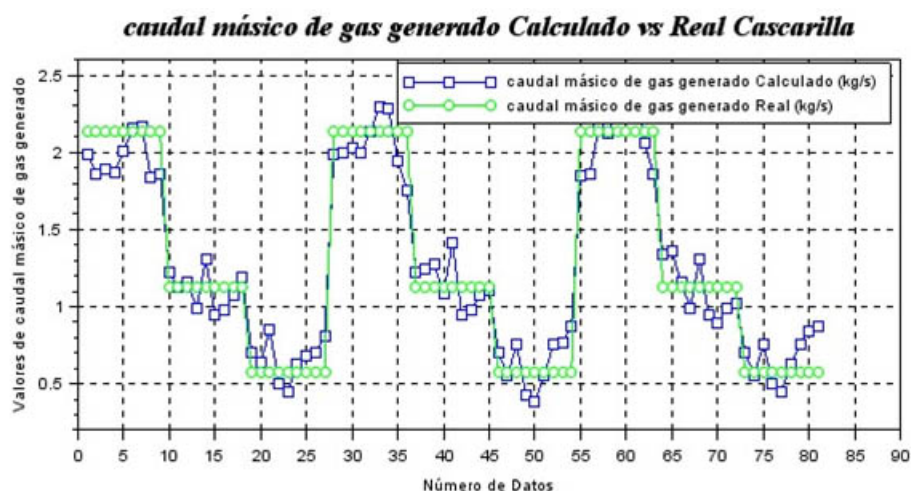


Fig. 7. Resultados de los datos de la biomasa Cascarilla para MG.

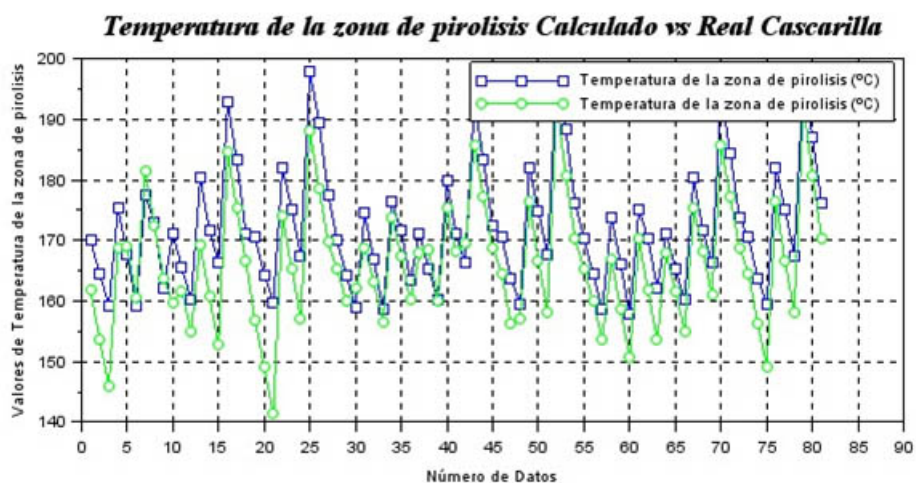


Fig. 8. Resultados de los datos de la biomasa Cascarilla para T_{zp} .

En la Fig. 9 se muestra la comparación entre los resultados calculados y experimentales.

4.3. Biomasa Leña

Para la estimación de la eficiencia (Ef), se puede observar en la ecuación 11:

$$Ef = 215.41 + 75.13Cau^{(0.20233)}Hu^{(-0.2205)} - 202.16Cbio^{(0.0828)} - 441.21Hu^{(-0.2205)} + 412.01Hu^{(-0.2205)}Cbio^{(0.0828)} \quad (11)$$

En la Fig. 10 se muestra la comparación entre los resultados calculados y experimentales.

Para la estimación del caudal másico de gas generado (MG), se puede observar en la ecuación 12:

$$MG = 1.83 - 12.73Cau + 706.94Cau^{(3.79096)} \quad (12)$$

En la Fig. 11 se muestra la comparación entre los resultados calculados y experimentales.

Para la estimación de la temperatura de la zona de pirolisis (Tzp), se puede observar en la ecuación 13:

$$Tzp = 2.88 - 6652.6Cau^{(-0.0629)}Cbio^{(0.0509)} + 11218.5Cau^{(-0.0629)}Hu^{(-0.1897)}Cbio^{(0.0509)} + 7334.31Cbio^{(0.0509)} - 12109.6Hu^{(-0.1897)}Cbio^{(0.0509)} \quad (13)$$

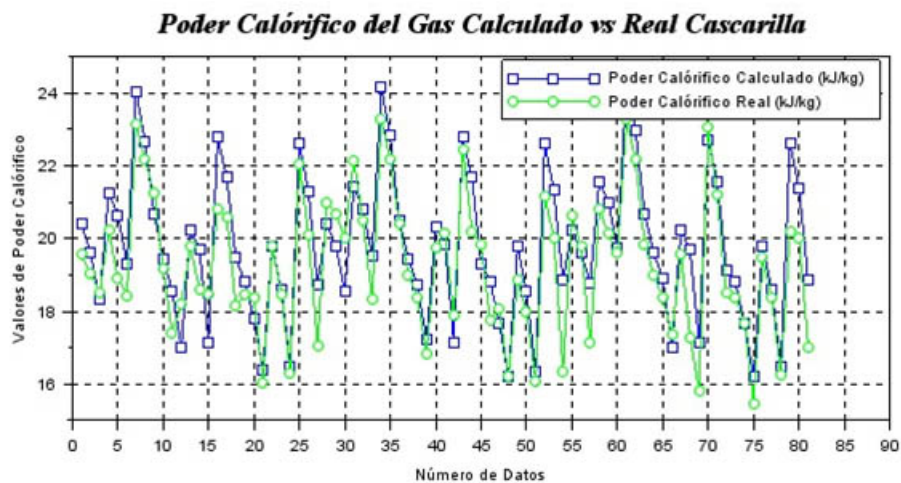


Fig. 9. Resultados de los datos de la biomasa Cascarilla para PCG.

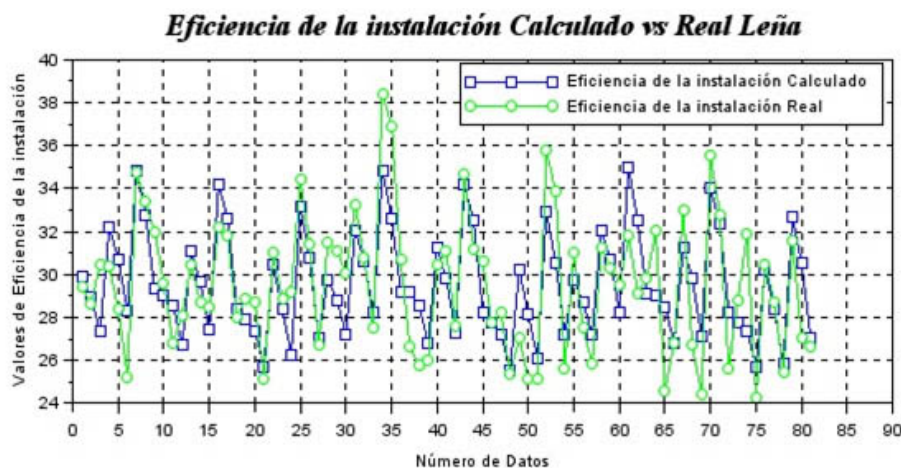


Fig. 10. Resultados de los datos de la biomasa Leña para Ef.

En la Fig. 12 se muestra la comparación entre los resultados calculados y experimentales.

Para la estimación del poder calórico del gas (PCG), se puede observar en la ecuación 14:

$$PCG = -103.42 + 71.41Cau^{(0.331601)}Hu^{(-0.22377)}Cbio^{(0.0840432)} + 45.18Cbio^{(0.0840432)} + 0.84Hu + 212.10Hu^{(-0.22377)} - 139.06Hu^{(-0.22377)}Cbio^{(0.0840432)} \quad (14)$$

En la Fig. 13 se muestra la comparación entre los resultados calculados y experimentales.

En la figura 14, se muestran la comparación entre los modelos para los parámetros Ef , MG , Tzp y PCG , con sus valores obtenidos experimentalmente.

Los indicadores de calidad de los parámetros de las diferentes biomásas se muestran como resumen en la Tabla 1.

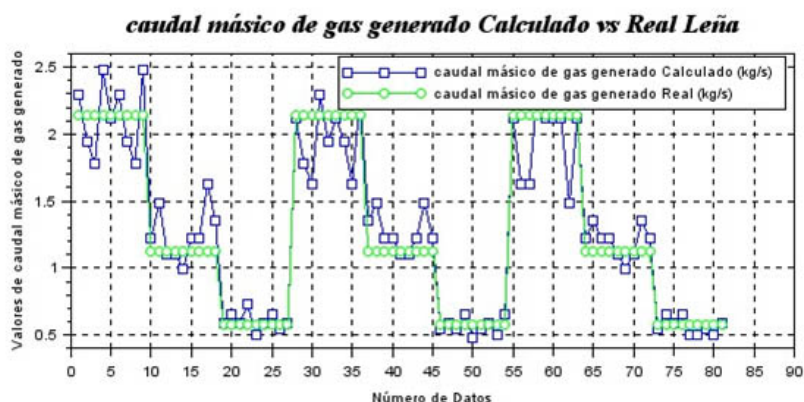


Fig. 11. Resultados de los datos de la biomasa Leña para MG .

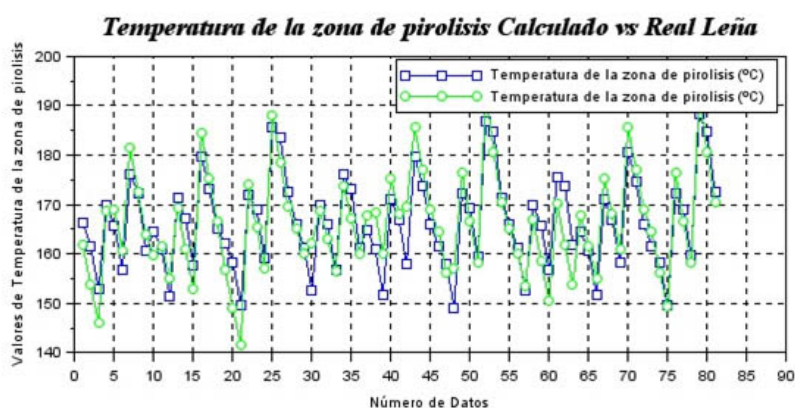


Fig. 12. Resultados de los datos de la biomasa Leña para Tzp .

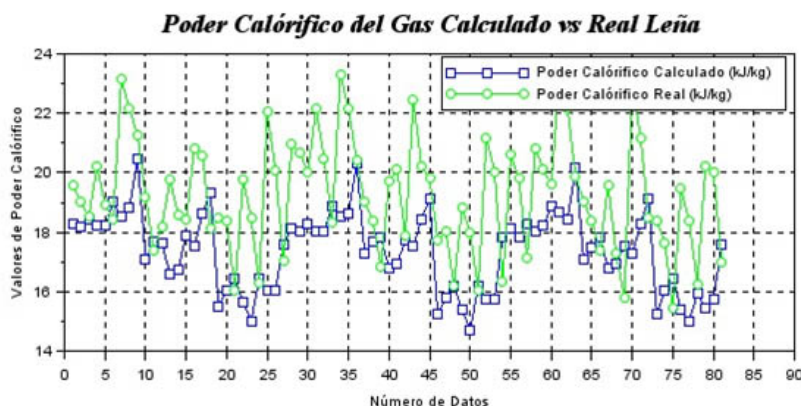


Fig. 13. Resultados de los datos de la biomasa Leña para PCG .

La Tabla 2 contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos. Pueden utilizarse otras opciones tabulares, dentro de este análisis, para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado. Ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado.

5. Conclusiones

La investigación realizada permite extraer las siguientes conclusiones principales:

En los resultados de las tres biomásas de este estudio, el p -valor en la tabla ANOVA en cada parámetro analizado, comprenden valores inferiores en el intervalo de (0.02 - 0.08), esto muestra que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables en un rango del (97 - 99%) de nivel de confianza.

En las biomásas estudiadas, el estadígrafo R-cuadrado, R-cuadrado ajustado y el error estándar indica que el modelo ajusta-

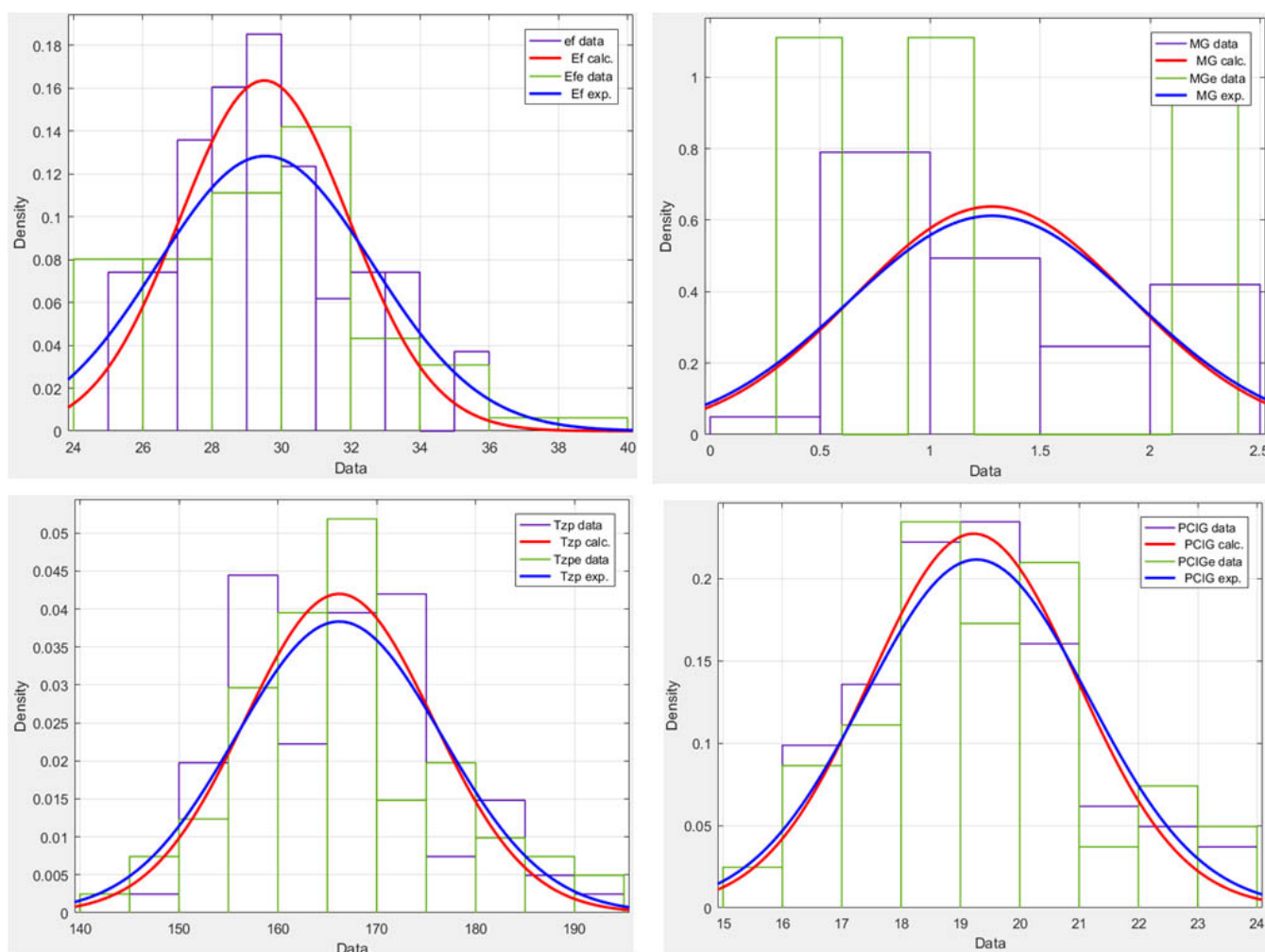


Fig. 14. Distribución Normal y comparación de los modelos obtenidos. Gráficas de la distribución normal de los datos experimentales y los obtenidos mediante las ecuaciones

Tabla 1. Resumen de resultados de estadígrafos.

Indicadores\Parámetros	LECHUGIN				CASCARILLA DE ARROZ				LEÑA			
	<i>Ef</i>	<i>MG</i>	<i>Tzp</i>	<i>PCG</i>	<i>Ef</i>	<i>MG</i>	<i>Tzp</i>	<i>PCG</i>	<i>Ef</i>	<i>MG</i>	<i>Tzp</i>	<i>PCG</i>
R-cuadrado	0.7001	0.9201	0.8340	0.8620	0.6805	0.9302	0.8668	0.8468	0.7087	0.8994	0.8028	0.8480
R-cuadrado (ajustado)	0.6935	0.9191	0.8253	0.8547	0.6795	0.9275	0.8540	0.8366	0.6881	0.8968	0.7924	0.838
Error estándar	1.9821	0.1853	4.3483	0.7182	2.0360	0.1771	4.2436	0.7693	1.9951	0.2092	4.7390	0.759
Error absoluto	1.5141	0.1434	3.4141	0.5403	1.6079	0.1500	2.8636	0.5737	1.5539	0.1414	3.7720	0.584
Estadística Durbin-Watson	1.6249	1.2771	0.9600	1.7359	1.7171	1.4826	1.0602	1.8373	1.6592	1.6202	1.1259	1.588
P-valor ANOVA	0.0366	0.0003	0.0000	0.0988	0.0810	0.0049	0.0000	0.2002	0.0491	0.0300	0.0000	0.022
Autocorrelación residual	0.1831	0.3604	0.5059	0.1192	0.1398	0.2387	0.4650	0.0642	0.1697	0.1863	0.4302	0.203

Tabla 2. Resumen de datos estadísticos.

	<i>Efe</i>	<i>Ef</i>	<i>MGe</i>	<i>MG</i>	<i>Tzpe</i>	<i>Tzp</i>	<i>PCGe</i>	<i>PCG</i>
Coefficiente de Variación	10.5263%	8.2640%	50.8866%	48.8195%	6.2593%	5.7160%	9.1266%	9.7800%
Mínimo	24.2574	25.5441	0.5743	0.4459	141.584	149.736	16.0844	15.4752
Máximo	38.4158	35.1987	2.1386	2.4183	192.658	190.712	23.52	23.2916
Rango	14.1584	9.6546	1.5643	1.9724	51.074	40.9756	7.4356	7.8164
Sesgo Estandarizado	1.5936	1.6220	1.2684	1.6034	1.3524	1.6490	1.4101	0.5724
Curtosis Estandarizada	-0.1721	-0.6488	-2.7905	-2.2762	0.2685	-0.1602	-0.4799	-0.7717

do explica en un intervalo del (68- 84%) y (1.9-4.5) de variabilidad, siendo así que la R^2 ajustada es adecuada para asumir el modelo encontrado para las variables independientes caudal de aire de combustión (*Cau*), cantidad de biomasa (*Cbio*) y Humedad (*Hu*).

Es importante recordar que las medidas de los errores absolutos en lugar de los cuadráticos presentan sesgos, lo que implica que los últimos penalizan en mayor medida a los errores más grandes, en el caso de esta experimentación la bondad del ajuste radica en el análisis de los estadígrafos R^2 y S (error estándar) y para su verificación se hizo el estudio en uno de los experimentos por medio de la U de Theil el que arrojo un coeficiente de 0.2, lo que indica un valor próximo a cero lo que supone una predicción perfecta mientras más cercano es al cero según el concepto, es importante acotar que este análisis no era parte del presente artículo.

Por lo tanto, se ha determinado que los parámetros de mayor control deben ser la Temperatura de la zona de pirolisis (*Tzp*) y la eficiencia calculada (*Ef*).

En el modelado matemático las potencias de mejor ajuste son aquellos valores exponenciales de las variables independientes que minimizan el error del modelo matemático, estas se determinan generalmente a partir de la linealización del modelo potencial de tipo monomial por la aplicación de logaritmos a ambos miembros del modelo.

- Por ello se ha hecho las pertinentes conclusiones del análisis para cada biomasa de los resultados anteriormente discutidos, lo que nos lleva a deducir que la aproximación de las ecuaciones por la técnica de regresión no lineal son modelos fiables, que llegan a los valores verdaderos de los parámetros de desempeño que afectan en el proceso de gasificación, los que podemos estar seguros en cuál de ellos inferir para realizar un posterior control en pruebas futuras y pasar a desarrollar la optimización del sistema en este caso la instalación tipo downdraft.
- La composición de modelos por técnicas de regresión no lineal a ser identificados depende del adecuado análisis del sistema estudiado.

- En el caso concreto de la operación de las instalaciones de gasificación tipo downdraft se requieren identificar la eficiencia de la instalación (E_f), temperatura de la zona de pirolisis (T_{zp}), poder calórico del syngas (PCG), caudal másico del gas (MG) como función de la humedad (Hu), cantidad de biomasa (C_{bio}) y caudal de aire de combustión (Cau).
- La aplicación de los modelos de regresión no lineal de los parámetros energéticos al caso concreto del desempeño de gasificadores tipo downdraft para biomasa *Eichhornia crassipes* (lechugin), cascara de arroz y leña se obtienen modelos individuales por cada indicador de desempeño de la operación como son la eficiencia de la instalación (E_f), temperatura de la zona de pirolisis (T_{zp}), poder calórico del syngas (PCG), caudal másico del gas (MG) en función de la humedad (Hu), cantidad de biomasa (C_{bio}) y caudal de aire de combustión (Cau).

Referencias

- [1] T. K. Patra, P. N. Sheth, "Biomass gasification models for downdraft gasifier: A state-of-the-art review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 50, 2015, pp. 583-593. [Fecha de consulta 18 de septiembre 2018]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115004700>
- [2] S. Shabbar, I. Janajreh, "Thermodynamic equilibrium analysis of coal gasification using Gibbs energy minimization method," *Energy Conversion and Management*, vol. 65, 2013, pp. 755-63. [Fecha de consulta 25 septiembre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890412001501>
- [3] M. Costa, M. La Villetta, N. Massarotti, "Optimal Tuning of a Thermo-Chemical Equilibrium Model for Downdraft Biomass Gasifiers," *Chemical Engineering Transactions*, vol. 43, 2015, pp. 434-444. [Fecha de consulta 1 noviembre 2017]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Maurizio_La_Villetta/publication/284888681_Optimal_tuning_of_a_thermochemical_equilibrium_model_for_downdraft_biomass_gasifiers/links/5a1bf44fa6fdcc50adecaa2f/Optimal-tuning-of-a-thermo-chemical-equilibrium-model-for-downdraft-biomass-gasifiers.pdf
- [4] M. Asadullah, "Barriers of commercial power generation using biomass gasification gas: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 29, 2014, pp. 201-215. [Fecha de consulta 6 noviembre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211300614X>
- [5] P. Raman, N. K. Ram, R. Gupta, "A dual fired downdraft gasifier system to produce cleaner gas for power generation: Design, development and performance analysis," *Energy*, vol. 54, núm. 1, 2013, pp. 302-314. [Fecha de consulta 13 noviembre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544213002077>
- [6] M. A. Ariffin, W. M. F. W. Mahmood, Z. Harun, R. Mohamed, "Medium-scale gasification of oil palm empty fruit bunch for power generation," *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 19, núm. 3, 2017, pp. 1244-1252. [Fecha de consulta 13 noviembre 2017]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-016-0518-8>
- [7] National Research Council. *Making Aquatic Weeds Useful: Some Perspectives for Developing Countries*. Washington, DC: The National Academies Press, 1976. doi:10.17226/19948. ISBN 978-0-309-33457-0.
- [8] C. R. Curtis, J. A. Duke, *An assessment of land biomass and energy potential for the Republic of Panama* (vol. 3). Institute of Energy Conversion. Univ. Delaware, 1982.
- [9] I. Janajreh, M. Alshrah, "Numerical and experimental investigation of downdraft gasification of woodchips". *Energy Conversion and Management*, vol. 65, 2013, pp. 783-792. [Fecha de consulta 20 noviembre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890412001471>
- [10] M. P. Arnavat, J. A. Hernández, J. C. Bruno, A. Coronas, "Artificial neural network models for biomass gasification in fluidized bed gasifiers," *Biomass and Bioenergy*, vol. 49, 2013, pp. 279-289. [Fecha de consulta 27 noviembre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953412005107>
- [11] C. C. Sreejith, C. Muraleedharan, P. Arun, "Performance prediction of fluidised bed gasification of biomass using experimental data-based simulation models," *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 3, núm. 4, 2013, pp. 283-304. [Fecha de consulta 4 diciembre 2017]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-013-0083-5>
- [12] S. Shabbar, I. Janajreh, "Thermodynamic equilibrium analysis of coal gasification using Gibbs energy minimization method," *Energy Convers Manage*, vol. 65, 2013, pp. 755-763. [Fecha de consulta 18 septiembre 2017]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article>
- [13] S. S. Kumar, P. Sathyabalan, S. Ragnathan, "Simulation of Biomass Downdraft Gasifier based on Neural Networks," *Asian Research Consortium*, vol. 6, núm. 6, 2016, pp. 1548-1560. [Fecha de consulta 11 diciembre 2017]. Disponible en: <https://aijsh.com/shop/articlepdf/2016/06/1464756527122.pdf>

- [14] J. F. Pérez, A. Melgar, A. Horrillo, "Thermodynamic methodology to support the selection of feedstocks for decentralised downdraft gasification power plants," *International Journal of Sustainable Energy*, vol. 36, núm. 10, 2017, pp. 302-310. [Fecha de consulta 18 diciembre 2017]. Disponible en: doi.org/10.1080/14786451.2016.1162792
- [15] K. Kirsanovs, D. Blumberga, I. Veidenbergs, C. Rochas, E. Vigants, G. Vigants, "Experimental investigation of downdraft gasifier at various conditions," *Energy Procedia*, vol. 128, 2017, pp. 332-338. [Fecha de consulta 8 enero 2018]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217338419>
- [16] D. Baruah, D. C. Baruah, "Modeling of biomass gasification: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 39, 2014, pp. 806-815.
- [17] V. Kirsanovs, A. Zandekis, C. Rochas, "Biomass gasification thermodynamic model including tar and char," *Institute of Energy Systems and Environment* vol. 14, núm. 4, 2016, pp. 1321-1331. [Fecha de consulta 22 enero 2018]. Disponible en: http://agronomy.emu.ee/wp-content/uploads/2016/06/Vol14_nr4_Kirsanovs.pdf
- [18] J. Arzola, *Análisis y Síntesis de Sistemas de ingeniería*. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Cuba, 2013. Disponible en: http://www.ingenieria.mecanica.cujae.edu.cu/sistemas_ingenieria.pdf
- [19] R. Pérez, "Estimación de la incertidumbre, la incertidumbre útil y la inquietud en poblaciones finitas. Una aplicación a las medidas de desigualdad", Sesión Científica de la Real Academia de las Ciencias Ex. Fls. y Nat., 1985, Madrid.

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas
de América Latina y el Caribe,
España y Portugal

XML JATS en Redalyc

Redalyc ha emprendido una transición y se suma al estándar XML JATS, bajo la especificación JATS4R, lenguaje de metamarcado con reglas simples, que provee de un método uniforme para describir e intercambiar datos estructurados

xmljatsredalyc.org

REDALYC 3.0

Juan Abugaber Francis

Remembranza

El 25 de enero falleció el M. en C. Juan Abugaber Francis, quien fuera profesor del Instituto Politécnico Nacional (IPN) desde 1970; primero como profesor de Enseñanza Media Superior, y posteriormente como profesor de Enseñanza Superior en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME). También fue profesor de la Universidad Anáhuac de 1975 a 1983. A partir de 1983, hasta el momento de su fallecimiento se dedicó de tiempo completo y exclusivo a la enseñanza en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y en el Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada (LABINTHAP) de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME unidad Zacatenco del IPN.

El M. en C. Abugaber Francis, nació en Nueva Rosita, Coahuila, México, siendo descendiente de palestinos, sirios y libaneses en línea directa. Después de recibir instrucción primaria y secundaria en su lugar de origen, viajó a la ciudad de México para iniciar sus estudios vocacionales (vocacional 2) y profesionales (ESIME) en el Instituto Politécnico Nacional, en donde concluyó la carrera en Ingeniería Mecánica.

Después de titularse, trabajó una temporada en Altos Hornos de México en Monclova, Coahuila, para luego regresar a integrarse a la planta docente de la ESIME, de donde ya no se separó.

Participó en la formación de múltiples generaciones de ingenieros mecánicos e ingenieros electricistas y al integrarse al LABINTHAP para colaborar en programas de investigación en las áreas de energía y mecánica de fluidos, cursó el programa de Maestría en Ingeniería Mecánica en la opción de Energética. Aquí se integró fácilmente, gracias a sus capacidades profesionales, pero sobre de todo de empatía con los diferentes integrantes de este laboratorio. Siempre estaba dispuesto a ayudar tanto a profesores como a alumnos, de la mejor manera posible y con buen



humor, lo que traía como consecuencia la generación de un buen ambiente de trabajo.

Fuera del ámbito profesional, era experto en la música de las grandes bandas, del rock and roll, boleros, etc. Igual ocurría con las películas clásicas; sabía los nombres de los protagonistas y las fechas de filmación. En deportes, era experto en béisbol y boxeo, entre otros; esto daba pie a ratos de esparcimiento y de intercambios y actualizaciones de información de interés común.

Logró formar una familia junto con su esposa, la Sra. Patricia Falcón Juárez, y crecieron a cuatro hijos: Elías, Juan Anuar, Karim y Nazdira, todos profesionistas.

Con este breve recuento, los integrantes del LABINTHAP hacen un reconocimiento a un miembro importante de esta comunidad, a quien recuerdan con afecto y no le decimos adiós, sino ¡hasta luego!

AmeliCA

Ameli, Conocimiento Abierto para América Latina y el Sur Global

<http://www.amelica.org>

Es una iniciativa puesta en marcha por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO), la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc), la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), la Universidad de Antioquia (UdeA) y la Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

Se trata de una nueva configuración de estrategias, en respuesta al contexto internacional, regional, nacional e institucional, que busca una solución de Acceso Abierto colaborativa, sostenible, protegida y no comercial para América Latina y el Sur Global.

Portal de Portales Latindex

El Portal de Portales Latindex (PPL) proporciona acceso a los contenidos y textos completos de revistas académicas disponibles en hemerotecas digitales de América Latina, el Caribe, España y Portugal, adheridas al movimiento de acceso abierto

**más de 1 542 783
artículos indexados**

El objetivo de este portal es difundir el conocimiento científico que se publica en la región iberoamericana. El desarrollo informático utiliza el OAI Harvester2 desarrollado por el Public Knowledge Project (PKP) basado en el protocolo OAI-PMH.

www.latindex.ppl.unam.mx

Indicaciones para los autores que deseen publicar en Científica

Científica es una publicación semestral editada Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México a través de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), Unidad Zacatenco, que presenta trabajos de investigación y propuestas originales e inéditas de la Ingeniería Eléctrica, Mecánica, en Sistemas, Electrónica, en Telecomunicaciones y de la Educación en Ingeniería.

Los manuscritos pueden estar escritos en español o inglés y se reciben en formato electrónico (archivo digital adjunto), por medio del correo electrónico revistacientificpn@yahoo.com.mx con atención al Comité Editorial (Tel. (+52) 55 5729 6000 ext. 54518; Edificio 5, 1^{er} Piso, oficina de la revista *Científica*; Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI) de la ESIME Zacatenco, Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP 07738, Ciudad de México, México).

Los trabajos recibidos son revisados por el Comité Editorial quienes designan a un Editor Asociado (que desconoce tanto la autoría y procedencia de los manuscritos) de acuerdo a la disciplina que cubren los artículos. El Editor Asociado selecciona dos árbitros externos al IPN para que evalúen el escrito (por pares ciegos). Los trabajos pueden ser aceptados para su publicación, aceptados si se realizan modificaciones necesarias o rechazados. La aceptación está sujeta a la aprobación, en todos los casos, de dos revisores; cuando no hay consenso entre los dos primeros revisores el Editor Asociado resuelve el dictamen. Los trabajos deben ser investigaciones o propuestas originales inéditas, sin excepción, sobre las áreas mencionadas y no pueden estar sujetas a revisión en ninguna otra publicación de forma simultánea; además, el resultado del proceso de arbitraje es inapelable y se sujeta, estrictamente, a las políticas dictadas por el Comité Editorial en funciones. Una vez aceptado un artículo, el autor o autores transfieren los derechos de publicación a la institución editora que está representada por el Editor en Jefe de la revista, los artículos estarán bajo una 'Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional'.

Estructura de los artículos

Los manuscritos deben contener los siguientes elementos: *título*, *datos de los autores*, *resumen* (con palabras clave en español), *abstract* (con palabras clave en inglés: *index terms*), *introducción*, los apartados correspondientes al *desarrollo*, *conclusiones* y *referencias*. Dentro del artículo se numeran, solamente, las secciones desde la introducción hasta las conclusiones.

Título

El título debe ser lo más corto posible (sin utilizar abreviaturas de preferencia) y no exceder de tres líneas.

Datos del autor

Se muestran el o los nombres completos de los autores (sin abreviaturas y distinguiendo los nombres de los apellidos con letras en 'negrita': Nombre **Apellido**), la dirección postal de la institución a la cual pertenecen, país y correo electrónico. En el caso de dos autores o más (de diversas instituciones), se deben mencionar los datos completos de cada uno.

Resumen

Debe contener 250 palabras como máximo. Consiste en una pequeña descripción de la investigación y una breve información de los resultados del trabajo que permite a los lectores identificar con rapidez los aspectos fundamentales del artículo y discernir su relevancia.

Abstract

Se incluye el resumen en inglés.

Palabras clave (Index Terms)

Se deben incluir de tres a cinco descriptores del trabajo en español e inglés.

Declaración de subvenciones

Se debe indicar si el trabajo ha sido realizado con la ayuda de una subvención o fondo especial.

Introducción

Expresa los antecedentes, límites, alcances y relevancia del problema. Plantea las premisas del mismo y el objetivo del trabajo. Se sugiere no extenderla como si fuera una exposición analítica.

Desarrollo

Se refiere al desarrollo del tema que puede ser teórico, experimental, teórico-experimental o la descripción de un nuevo diseño.

Conclusiones

Se establece la respuesta global del problema, son los objetivos alcanzados, las hipótesis comprobadas, modificadas o rechazadas.

Referencias

Es la lista de fuentes bibliográficas: artículos, libros, memorias de congresos, etcétera. Deben aparecer en el orden en el cual se mencionan dentro del artículo, señalándose con el número entre corchetes [1], se muestran a continuación algunos ejemplos con las especificaciones pertinentes (estos siguen las directrices del *IEEE Editorial Style Manual*, y de la norma AENOR UNE-ISO 690):

Artículo de revista científica:

- [1] A. Autor, "Nombre del artículo," *Nombre de la revista*, volumen, número, páginas, mes, año. [en línea]. Disponible en: URL. Consultado: día mes, año.

Ejemplo:

- [1] R. Ponce-Morales, F. Sánchez-Silva, I. Carvajal-Mariscal, M. Toledo-Velázquez, and J. S. Cruz-Maya, "Estudio experimental de la reducción de fricción en la conducción de fluidos usando surfactantes," *Ingeniería Mecánica. Tecnología y Desarrollo*, vol. 4, no. 6, pp. 205-217, junio, 2014. [en línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/revista.oa?id=768&idp=1>. Consultado: 20 octubre, 2014.

Libro:

- [2] A. Autor, *Título del libro*, número de edición. Ciudad: Editorial, año. [en línea]. Disponible en: URL. Consultado: día mes, año.

Ejemplo:

- [2] J. P. Alperin, D. Babini, and G. E. Fischman, *Indicadores de acceso abierto y comunicaciones académicas en América Latina*, 1ª ed., Buenos Aires: CLACSO, 2014. [en línea]. Disponible en: http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/se/20141217052547/Indicadores_de_acceso_abierto.pdf. Consultado: 5 febrero, 2015.

Tesis:

- [3] A. Autor, "Título de la tesis," grado, departamento, institución, ciudad de la institución, país, año. [en línea]. Disponible en: URL. Consultado: día mes, año.

Ejemplo:

- [3] O. I. López-Suárez, "Análisis del desempeño de una prótesis cardíaca en posición aórtica," tesis de maestría, Depto. Ing. Mecánica, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México, 2010. [en línea]. Disponible en: <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/handle/123456789/10306>. Consultado: 17 junio, 2013.

Memorias en congreso:

- [4] A. Autor, "Nombre de la ponencia," en *Nombre del Congreso*, ciudad, país, periodo, año [en línea]. Disponible en: URL. Consultado: día mes, año.

Ejemplo:

- [4] S. Agrawal, P. Chaporkar, and R. Udwani, "Call admission control for real-time applications in wireless network," en *INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE*, Turín, Italia, 14-19 abril, 2013. [en línea]. Disponible en: doi, 10.1109/INFCOM.2013.6566789. Consultado: 28 noviembre, 2014.

Agradecimientos

Los agradecimientos se consideran dentro del cuerpo del artículo y se incorporan después de las conclusiones.

Anexos

Los anexos (nomenclatura, simbología, notación) se consideran parte del artículo.

Otras consideraciones

El trabajo se entrega en un procesador de textos (*word*) con páginas en tamaño 'carta' con tipo de letra 'Times New Roman' de 10 puntos, interlineado sencillo y espacio entre párrafos sin sangría (párrafo moderno), alineados a la izquierda, se puede solicitar la plantilla para manuscritos al correo electrónico de la revista revistacientifpn@yahoo.com.mx.

Las ecuaciones y fórmulas se enumeran para mayor claridad, deben encontrarse en formato editable, no como imágenes; los acrónimos y abreviaciones deben definirse la primera vez que sean usados en el texto.

Las figuras deben aparecer en el cuerpo del manuscrito y, además, entregarse en archivos por separado (.tif, .jpeg), es importante que al pasar cualquier imagen por un escáner debe hacerlo con una resolución de 300 ppp (puntos por pulgada). Las tablas deben aparecer en el documento en formato editable.

Los pies de las figuras deben estar debajo de estas con la indicación 'Fig. 1'; además, el título de los ejes en figuras a menudo es causa de confusión, por lo que se sugiere usar palabras en lugar de símbolos. Los encabezados de las tablas deben estar arriba de estas. Se requiere el uso, en todo caso, de símbolos (SI) en lugar de abreviaturas.

En el formato de las referencias se han considerados los lineamientos del *IEEE Editorial Style Manual* (2014) del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) y las especificaciones de la norma UNE-ISO 690 (2013) para su adaptación al español, traducida por la Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR.

Científica considera que el material utilizado por los autores para su publicación está debidamente autorizado para tal propósito y le corresponde a los autores, no a *Científica*, obtener los permisos correspondientes para dicho material.

La revista *Científica* realizará las modificaciones editoriales pertinentes para el diseño de los manuscritos en el formato vigente.

Information for Authors Submitting Papers to Científica Journal

Científica is a biannual Journal sponsored by the Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) of Instituto Politécnico Nacional Mexico, it publishes theoretical and experimental research on Electromechanical and Electronics Engineering, Computer Engineering, Telecommunications, and also Education in Engineering.

Manuscripts could be written in English or Spanish and sent by email to revistacientifpn@yahoo.com.mx addressed to the Editorial Board [Tel. (+52) 55 5729 6000 ext. 54518; Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI), ESIME Zacatenco, Col. Lindavista, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, CP 07738, Mexico City, DF, Mexico].

Papers are reviewed by the Editorial Board and sent to an Associate Editor (AE doesn't know authors and their affiliations), he chooses two external referees (blind peer review) selected for their expertise in a given field and reports to the Editorial Board the results. Authors should only submit original work that has neither appeared elsewhere for publication, nor which is under review for another refereed journal. Author accepts sending his/her paper the Editorial Board Policies. Once a manuscript has received the final approval of the reviewers and Editor-in-Chief, the author will be notified and sent a copyright form, in any event, authors must transfer copyright to *Científica*, papers will be shared by a Creative Commons License 'Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)'.

Manuscripts

The manuscript must be prepared in a *word* format with the sections, starting with an abstract, as shown below:

- **Abstract**
- **Resumen (Spanish abstract)**
- **Introduction**
- **Body of the manuscript**
- **Conclusions**
- **References**

Title

Must be concise and no longer than 3 lines using capital and lower case letters.

Authors' Name and Affiliations

The authors' name must be written below the title using a one column format starting with the given name followed by one or two family names, if two family names applies,

they should be joined by a hyphen (family names must be in **bold** type). Below the authors names must be written the affiliation including the address quality, fax, telephone number and email.

Abstract

The abstract with about 250 words must give a brief description about the research including some comments about the experimental or simulation results and conclusion.

Resumen (Spanish abstract)

It is desirable that, if it is possible, a Spanish abstract be provided.

Index Terms (*palabras clave*)

All papers must contain index terms as provided by the authors. They must be incorporated in Spanish too.

Financial support

All financial support for the work must be listed here and not in the acknowledgment at the end of the paper.

Body of the Manuscript

The body of the manuscript must include an introduction in which the relevance of the research must be explained. A review of related research works by either, the same or another authors must be included. The body of the manuscript also must include the theoretical aspects of the research, as well as experimental or simulation results if any, together with a Conclusions Section.

References

A numbered list of references must be provided at the end of the paper. The list should be arranged in the order of citation in text, not in alphabetical order. List only one reference per reference number. It is not necessary to mention the authors of a reference unless such mention is relevant to the text (see *IEEE Editorial Style Manual*). Sample correct formats for various types of references are as follows.

Periodicals:

- [1] F. N. Author, "Name of paper," *Title of Periodical*, vol. x, no. x, pp. xxx-xxx, abbrev. Month, year. [Online]. Available: URL. Accessed on: Month Day, year.

Example:

- [1] L. H. Hernández-Gómez, I. Saucedo-Meza, G. Urriolagoitia-Calderón, A. Balankin, and O. Susarrey, "Evaluation of crack initiation angle under mixed mode loading at diverse strain rates," *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, vol. 42, no. 1, pp. 53-61, Sep. 2004. [Online]. Available: http://www.mfractal.esimez.ipn.mx/integrantes/balankin/balankin_publications/public02/2004_3.pdf. Accessed on: May 25, 2012.

Book:

- [2] F. N. Author, *Title of Published Book*, xth ed. City of Publisher: Abbrev. of Publisher, year. [Online]. Available: URL. Accessed on: Month Day, year.

Example:

- [2] L. Jayamaha, *Energy-Efficient Industrial Systems: Evaluation and Implementation*, 1st ed., Portland: McGraw-Hill Education, 2014.

Theses and Dissertations:

- [3] F. N. Author, "Title of thesis/dissertation," M. S. thesis or Ph. D. dissertation, Abbrev. Dept., Abbrev. Univ., City of Univ., year. [Online]. Available: URL. Accessed on: Month Day, year.

Example:

- [3] L. H. Hernández-Gómez, "Crack Initiation under Shock Loading: Validation of a New Testing Technique," Ph. D. dissertation, Dep. Mech. Ing., Oxford Univ., Oxford, UK, 1992.

Published Conference Proceedings:

- [4] F. N. Author, "Title of paper," in *Abbreviated Name of Conf.*, City of Conf., Country, year, pp. xxx-xxx [Online]. Available: URL. Accessed on: Month Day, year.

Example:

- [4] S. Agrawal, P. Chaporkar, and R. Udmani, "Call admission control for real-time applications in wireless network," in *INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE*, Turin, Italy, 14-19 Apr., 2013. [Online]. Available: doi, 10.1109/INFCOM.2013.6566789. Accessed on: Nov. 28, 2014.

Preparation for publication

The following is a list of general guidelines for the submission of electronic media by prospective authors:

The operating system and word processing software used to produce your document should be noted on your e-mail (postscript and Adobe Acrobat PDF files are not acceptable because the files cannot be edited).

Text in 'Times New Roman' at 10, single spacing without paragraph indent; check that your files are complete. Include: abstract, index terms, text, references and figure captions.

Figures comments must be below them and tables comments above. It is necessary to use the International Systems of Units not abbreviations.

In order to achieve the highest quality of reproduction, resolutions of 600 dpi (1 bit/sample) at final printed size for line art (graphs, charts or drawing) and 300 dpi (8 bits/sample) at final printed size for photographs and other grayscale images are required.

Científica assumes that material submitted to its publication is properly available for general dissemination for the readership of this publication. It is the responsibility of the authors, not *Científica*, to determine whether disclosure of their material requires the prior consent of other parties and, if so, to obtain that consent. If an author uses charts, photographs, or other graphics from previously printed material, he/she is responsible for obtaining written permission from the publisher to use the material in his/her manuscript.

Científica does not provide drafting or art services. Thus, the better the quality of the material submitted, the better the published result. Try to adhere to the accepted style as much as possible. Of particular importance here is the references list, editing references guidelines are from the *IEEE Editorial Style Manual* (Chapter V. Editing References, pp.34-40).

Científica

ISSN 1665-0654 | e-ISSN en trámite

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Instituto Politécnico Nacional, México.

www.cientifica.esimez.ipn.mx
revistacientifipn@yahoo.com.mx

COMITÉ EDITORIAL

Edison Bonifaz
 Universidad San Francisco de Quito (ECUADOR)

Jinhui Shao
 University of Shuo (JAPÓN)

Juan Alfonso Beltrán Fernández
 Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Ku Zilati Ku Shaari
 Universiti Teknologi Petronas (MALASIA)

Luis Héctor Hernández Gómez
 Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Manuel Elices Calafat
 Universidad Politécnica de Madrid (ESPAÑA)

María Teresa Alonso Rasgado
 University of Manchester (REINO UNIDO)

Marco Ceccarelli
 University of Cassino (ITALIA)

Mokhtar Awang
 Universiti Teknologi Petronas (MALASIA)

Rômulo Maziero
 Universidade Federal de Minas Gerais (BRASIL)

Silvia González Prolongo
 Universidad Rey Juan Carlos (ESPAÑA)

Indizada en:

Redalyc: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal.
www.redalyc.org

Latindex: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.
www.latindex.org

Periódica: Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.
www.dgbiblio.unam.mx

Contenido

Producción eficiente de biogás mediante calentamiento del sustrato con energía solar térmica de baja temperatura

Efficient Production of Biogas through Heating the Substrate with Low Temperature Solar Thermal Energy
 S. J. Guasumba-Codena, P. M. Tafur-Escanta, L. Tipanluisa, E. Ocaña, J. E. Pérez-Rosales | ECUADOR

03-12

Impacto de la matemática en el contexto de las ciencias con software matemático en ecuaciones diferenciales

Impact of Mathematics in the Context of Science with Mathematical Software in Differential Equations
 L. Ruiz-Moreno, S. del Rivero-Jiménez | MÉXICO

13-21

Diseño de la coquilla para fundición de pistones Yuchai

Yuchai Piston Casting Mold Design
 T. M. Pérez-Sajudo | CUBA

23-30

Dinámica fractal de niños con trastornos en el aprendizaje en México

Fractal Dynamics of Children with Learning Disorders in Mexico
 I. Lina-Reyes, O. Morales-Matamoros, J. J. Moreno-Escobar, T. I. Contreras-Troya | MÉXICO

31-41

Análisis comparativo de la densidad y velocidad de ignición óptimas para la combustión completa del olote perteneciente al Zea Mays L.

Comparative Analysis of the Optimum Density and Ignition Speed for the Complete Combustion of the Corn cob Belonging to the Zea Mays L.
 M. S. Arroyo-López, F. M. Guerrero-Espinosa, E. R. Gutiérrez-Gualotuña | ECUADOR

43-50

Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos

Reliability Centered Maintenance Methodology (RCM) Considering Equipment Taxonomy, Data Bases and Effects Criticality
 O. Campos-López, G. Tolentino-Eslava, M. Toledo-Velázquez, R. Tolentino-Eslava | MÉXICO

51-59

El desarrollo de habilidades blandas en la formación de ingenieros

Development of Soft Skills in the Training of Engineers
 M. E. Zepeda-Hurtado, E. O. Cardoso-Espinosa, C. Rey-Benguría | MÉXICO - CUBA

61-67

Modelos matemáticos de los parámetros energéticos de desempeño de gasificadores tipo downdraft mediante técnicas de regresión

Mathematical modeling of energetic performance parameters for downdraft gasifiers through regression techniques
 E. R. Gutiérrez-Gualotuña, J. A. Soria-Amancha, P. M. Tafur-Escanta, N. Rodríguez-Trujillo, Á. H. Villavicencio-Poveda, J. Arzola-Ruiz
 ECUADOR - CUBA

69-81

Juan Abugaber Francis | Remembranza

83

EQUIPO EDITORIAL

Guillermo Urriolagoitia Calderón, **Director** • Alma Vicenta Miranda Godínez, **Coordinadora Editorial**
 Cuauhtémoc Jiménez Pérez, **Editor Técnico** • Martín Luis Octavio Vázquez Cajiga, **Página Web**