

Científica

ISSN
1685-0854



Científica: The Mexican Journal of Electromechanical Engineering • Volumen 22 Número 2 • edición semestral: julio-diciembre 2018 • México • www.cientifica.esimez.ipn.mx



Instituto
Politécnico
Nacional

«La Técnica
al Servicio de la Patria»

Escuela
Superior
de Ingeniería
Mecánica y Eléctrica



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:

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

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

Contenido

Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón

Prototype for the Automated Monitoring of Water Quality Parameters in a Shrimp Farm
Mauricio **Olivo-Gutiérrez**, Jesús **Verduzco-Ramírez**,
Noel **García-Díaz**, Joel **Villalobos-Gómez**,
Andrea **Olivo-Gutiérrez** | MÉXICO 87-95

Simulación con Flexsim, una nueva alternativa para la ingeniería hacia la toma de decisiones en la operación de un sistema de múltiples estaciones de prueba

Simulation with Flexsim, a New Alternative for the Engineering towards the Decision Making in the Operation of a System of Multiple Test Stations
Marco Antonio **Díaz-Martínez**, Ricardo **Zárate-Cruz**,
Reina Verónica **Román-Salinas** | MÉXICO 97-104

Logística del comercio electrónico: cross docking, merge in transit, drop shipping y click and collect

E-commerce logistics: cross-docking, merge in transit, drop shipping and click and collect
Vladimir **Meléndrez-Acosta** | MÉXICO 105-112

Caracterización del poder calorífico de la biomasa residual de cacao CCN51 mediante procesos de gasificación anaeróbico y termoquímico

Characterization of the Calorific Power of the Residual Biomass of Cacao CCN51 through Anaerobic and Thermochemical Gasification Processes
Carlos Augusto **Carvajal-Jara**, Paúl Michael **Tafur-Escanta**,
Ángelo Homero **Villavicencio-Poveda**,
Eduardo Roberto **Gutiérrez-Gualotuña** | ECUADOR 113-123

Procesamiento de señal de video analógica con optimización de ancho de banda para ser transmitido por internet

Video Analog Signal Processing with Bandwidth Optimization to Broadcast by Internet
Carlos R. **Soria-Cano**,
Salvador **Álvarez-Ballesteros** | MÉXICO 125-130

SAR de teléfonos inteligentes con metamateriales influenciados por contaminación magnética: segunda parte

SAR of Smart Phones with Metamaterials Influenced by Magnetic Pollution: Second Part
Héctor **Torres-Silva** | CHILE 131-136

Configuración alterna de sistema de guías de pailas de galvanizado de tubos con extracción manual

Alternate Configuration for Manual Extraction Drives System of Pipes Galvanizing Melting Pots
José Alfredo **Sánchez de León** | MÉXICO 137-145

Determinantes sistémicos de viabilidad en las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en México

Viability Systemic Determinants in SMEs in Mexico
Marcos **Salinas-Reyes**, Isaías **Badillo-Piña**,
Ricardo **Tejeda-Padilla** | MÉXICO 147-156

COMITÉ EDITORIAL

Guillermo Urriolagoitia Calderón
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Alexander Balankin
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Jesús del Castillo
Instituto Venezolano de Investigación Científica
(VENEZUELA)

María Teresa Alonso Rasgado
University of Manchester (REINO UNIDO)

Manuel Elices Calafat
Universidad Politécnica de Madrid (ESPAÑA)

Marco Ceccarelli
University of Cassino (ITALIA)

Héctor Pérez Meana
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Jinhui Shao
University of Shuo (JAPÓN)

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)

Guillermo Urriolagoitia Sosa
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

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)

Jorge Sosa Pedroza
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

José de Jesús Álvarez Ramírez
Universidad Autónoma Metropolitana (MÉXICO)

José Luis del Río Correa
Universidad Autónoma Metropolitana (MÉXICO)

José Manuel de la Rosa
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Juan Alfonso Beltrán Fernández
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Luis Héctor Hernández Gómez
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Luis Niño de Rivera y Oyarzábal
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

Mariko Nakano Miyatake
Instituto Politécnico Nacional (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)

Miguel Cruz Irisson
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

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

Patricia Camarena Gallardo
Instituto Politécnico Nacional (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)

Volodymir Ponomaryov
Instituto Politécnico Nacional (MÉXICO)

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

Científica
ISSN 1665-0654
e-ISSN en trámite

VOLUMEN 22, NÚMERO 2,
JULIO-DICIEMBRE 2018

LA REVISTA MEXICANA
DE INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA

THE MEXICAN JOURNAL OF
ELECTROMECHANICAL
ENGINEERING

Científica, Volumen 22, Número 2, julio-diciembre de 2018, 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, revistacientifipn@yahoo.com.mx. Editor responsable: Guillermo Urriolagoitia Calderón. [Versión impresa: Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-112516365800-102, ISSN 1665-0654, 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] [Versión electrónica: e-ISSN en trámite, Reserva de Derechos al Uso Exclusivo en trámite]. Este número se terminó de imprimir el 15 de junio de 2018. Tiraje: 200 ejemplares.

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 su segundo número del volumen 22, 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 la acuicultura uno de los aspectos más importantes por asegurar es el adecuado monitoreo y control de parámetros que determinan la calidad del agua de cultivo como: el oxígeno disuelto, pH, salinidad y temperatura; ya que estos afectan directamente el crecimiento y desarrollo de los organismos cultivados. En el primer trabajo se propone un prototipo de bajo costo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en granjas de cultivo de camarón. El sistema está compuesto por tres nodos: un nodo sensor, un nodo coordinador y nodo de publicación. El nodo sensor integra sensores, microcontroladores, radio tranceptor y fuente de energía solar; el nodo coordinador recibe y extrae el paquete de datos transmitido y los descarga en una computadora personal (PC) para su almacenamiento. En el nodo de publicación se consultan los parámetros censados en una PC mediante una interfaz gráfica. Este sistema desarrollado ofrece una herramienta tecnológica para el monitoreo eficiente de parámetros que permita tomar mejores decisiones a los productores acuícolas para lograr una mayor productividad y rentabilidad.

El objetivo principal del segundo artículo es afrontar conceptos clave en relación con el uso del software FlexSim dentro de un modelo de simulación, como una alternativa innovadora de efectividad en la toma de decisiones de las operaciones de un sistema de producción. El estudio incluye una revisión literaria, conceptos del modelo y simulación, aplicaciones, la caracterización de Flexsim y la descripción para la construcción de un modelo en el software FlexSim. Este artículo busca dar una idea clara del impacto que tiene la simulación dentro de un sistema de producción y a su vez logre un entendimiento claro del uso de Flexsim.

El tercer manuscrito describe condiciones de la logística en el comercio electrónico y su importancia a la hora de controlar el flujo de información de un punto de origen a un punto destino, utilizando medios electrónicos, generalmente internet. Las futuras cadenas logísticas estarán conectadas a internet, los intercambiadores logísticos son parte importante, sobre todo, para controlar la recepción y pedido de materiales, su gestión y almacenamiento. Se analiza la situación del tema en países de América y Europa, su historia, funcionamiento, bases legales y buenas prácticas. Además, se hace hincapié en algunas estrategias utilizadas en el e-commerce: cross docking, drop shipping, merge in transit y click and collect. Describiendo a cada una de ellas, su uso, importancia y la aplicabilidad en empresas de rango.

Se presenta, en el siguiente trabajo, una propuesta en la que se realiza el análisis respectivo para el procedimiento de caracterización del poder calorífico del gas, producido en una instalación de gasificación tipo downdraft y el biogás producido en biodigestores de los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Energía Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Este estudio se realiza con la finalidad de encontrar el mejor proceso para aprovechar el poder energético de la biomasa resultante del procesamiento del cacao CCN51 (Colección Castro Naranjal). La generación del gas producto del uso de estas dos tecnologías (anaeróbica y termoquímica) se analiza mediante cromatografías, realizadas en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador, con las lecturas más altas en poder calórico, determinar el mejor método y procedimiento en la producción de calor de la biomasa residual del cacao CCN51 y su utilidad.

En el quinto artículo se detalla el procesamiento de la señal de video y audio analógico para ser transmitidos como stream de video sobre IP, respetando cualquier información de metadatos en cada procesamiento de la señal, tomando en cuenta desde que se realiza una grabación en banda base, señal analógica y su conversión a señal digital con audio embebido (SDI), en calidad estándar SD-SDI y en alta definición HD-SDI, así como la selección del proceso de compresión para reducir y optimizar el ancho de banda de cada señal. Se muestra la forma en que el stream puede ser transmitido mediante la nube (internet) para que el usuario final lo pueda observar en diferentes dispositivos móviles (smartphone, tablet, pantalla, PC, laptop).

En la publicación que continúa en este fascículo se analiza la reducción de la tasa de absorción específica (SAR) en smartphones con capa metamaterial bajo la presencia de contaminación magnética. Desde el inicio de la especificación del SAR por parte de los fabricantes, no se tiene en cuenta la fuerte influencia del campo magnético generado por las líneas de transmisión, el interior de las plataformas de los trenes eléctricos, la proximidad de los dispositivos eléctricos que aumentan la absorción. Además de esta contaminación magnética está la contaminación de material particulado (magnetita) que se produce en ciudades industriales, que se aloja en el cerebro y que es responsable de que el valor del SAR que afecta al usuario sea superior al SAR estipulado por los fabricantes. La capa metamaterial propuesta en este artículo como blindaje reduce el SAR en aproximadamente el 50%.

En el proceso de galvanizado de tubos de acero por inmersión en caliente, una etapa crítica es la inmersión de la pieza a recubrir en un baño de zinc fundido; la calidad y espesor de este recubrimiento depende de varios factores uno de los cuales es el tiempo de residencia de la pieza en el baño de zinc fundido. El tiempo de residencia es controlado por los mecanismos de inmersión y extracción del crisol de galvanizado, sin embargo, en las pailas de extracción manual resulta sumamente complicado controlar el tiempo de residencia, debido a la aleatoriedad de la acumulación de piezas su interior. En el penúltimo trabajo se propone una configuración alterna del sistema guías del mecanismo de extracción de dicho tipo de pailas, modificando su geometría, para que de esta manera sea posible controlar la acumulación de piezas inmersas en un esquema de primeras entradas - primeras salidas. Sobre esta base se plantea la factibilidad de automatizar esta actividad, como consecuencia de la configuración propuesta.

El propósito de esta investigación es la determinación, desde el punto de vista de la ciencia de sistemas, de los componentes mínimos necesarios de viabilidad de una organización que pueden ayudar a la Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES) a replantear su estructura orgánica y funcional para hacer frente a la complejidad del mercado, atenuando de esta manera los factores incidentes en el cierre temprano forzado. Para el logro de tal fin se identificaron y clasificaron los factores más frecuentes que originan el cierre temprano de PYMES, dichos factores fueron analizados e integrados conceptualmente con base en el Modelo de Sistemas Viables introducido por Stafford Beer en los años ochenta, definiéndose un total de veinticinco elementos que, de forma empírica, proporcionan los parámetros de referencia para diagnosticar y rediseñar organo-funcionalmente la operatividad de una PYME para que sea viable, es decir, no solo mantenga su existencia sino que trascienda en la variedad de sus mercados.

Científica agradece su preferencia y le invita a someter sus aportaciones a dictaminación en las áreas de la ingeniería que difunde: ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, ingeniería electrónica, ingeniería en telecomunicaciones, ingeniería en sistemas y temas sobre educación en ingeniería.

Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón

Mauricio **Olivo-Gutiérrez**¹

Jesús **Verduzco-Ramírez**¹

Noel **García-Díaz**¹

Joel **Villalobos-Gómez**¹

Andrea **Olivo-Gutiérrez**²

¹Instituto Tecnológico de Colima
División de Posgrado e Investigación
Av. Tecnológico 1, Villa de Álvarez Colima, CP 28070.
MÉXICO.

²Universidad de Colima
Facultad de Arquitectura y Diseño
Carretera Colima-Coquimatlán km 9,
Coquimatlán, Colima, CP 28400.
MÉXICO.

Tel. 3121014374

correos electrónicos (emails): g1646003@itcolima.edu.mx
averduzco@itcolima.edu.mx
ngarcia@itcolima.edu.mx
g1646018@itcolima.edu.mx
aolivo@ucol.mx

Recibido 11-10-2017, aceptado 26-01-2018.

Resumen

En la acuicultura uno de los aspectos más importantes por asegurar es el adecuado monitoreo y control de parámetros que determinan la calidad del agua de cultivo como: el oxígeno disuelto, pH, salinidad y temperatura; ya que estos afectan directamente el crecimiento y desarrollo de los organismos cultivados. En el presente trabajo se propone un prototipo de bajo costo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en granjas de cultivo de camarón. El sistema está compuesto por tres nodos: un nodo sensor, un nodo coordinador y nodo de publicación. El nodo sensor integra sensores, microcontroladores, radio tranceptor y fuente de energía solar, los cuales censan la calidad del agua y transmiten estos datos de forma inalámbrica al nodo coordinador; el nodo coordinador recibe y extrae el paquete

de datos transmitido y los descarga en una computadora personal (PC) para su almacenamiento. En el nodo de publicación los usuarios podrán consultar los parámetros censados en una PC mediante una interfaz gráfica. El sistema desarrollado ofrece una herramienta tecnológica para el monitoreo eficiente de parámetros que permita tomar mejores decisiones a los productores acuícolas para lograr una mayor productividad y rentabilidad.

Palabras clave: acuicultura, calidad del agua, sensores, transmisión inalámbrica, monitoreo automatizado.

Abstract

(Prototype for the Automated Monitoring of Water Quality Parameters in a Shrimp Farm)

In Aquaculture one of the most important aspects to take care of is the adequate monitoring and control of the parameters that determine the water quality such as dissolved oxygen, pH, salinity and temperature; since these parameters directly affect the growth and development of cultivated organisms. The present work proposes a low-cost prototype for the automated monitoring of water quality parameters in shrimp farms. The system consists of three nodes: a sensor node, a coordinating node and a publishing node. The sensor node integrates sensors, microcontroller, radio transceiver and a solar power source which senses water quality and transmits this data to the coordinating node wirelessly; The coordinating node receives and extracts the transmitted data packet and downloads it for storage. In the publishing node, users can consult the sensed parameters in a PC through a graphical interface. The developed system offers a technological tool for the adequate monitoring of parameters that allows to make better decisions to achieve a greater productivity and profitability.

Index terms: aquaculture, water quality, sensors, wireless transmission, automated monitoring.

1. Introducción

En México, la acuicultura se considera cada vez más como un componente importante para lograr la seguridad alimentaria y

generar desarrollo económico, esta se ha desarrollado desde hace varias décadas. El gobierno de México promovió la acuicultura a partir de la formación de centros acuícolas en diversos estados de la república con el fin de cultivar diversas especies en granjas, presas, cuerpos de agua temporales y lagos. La proyección del crecimiento de la producción acuícola en México es de 54.2% para el 2025 [1].

De acuerdo con la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA) en su estadística más reciente, el volumen de producción por acuicultura de todas las especies fue de 1,751,952 kg, de las cuales 158,128 kg fueron de camarón [2]. El camarón por su volumen se encuentra posicionado en el cuarto lugar de la producción pesquera en México; sin embargo, por su valor comercial, lo encontramos en el primer lugar. También, la exportación de camarón se encuentra en el lugar número uno de las especies pesqueras, siendo Estados Unidos de América, Japón y España sus principales destinos [2].

De acuerdo con [3] en Colima, la producción pesquera en peso vivo fue 37,081 kg en total para todas las especies. De las cuales 1,892 kg correspondieron a camarón. Siendo los municipios de Armería, Tecmán y Manzanillo los que generaron la mayor producción. Los padrones de los acuicultores en el estado de Colima están clasificados en productores a pequeña escala los cuales realizan sus actividades con recursos limitados. Para estos pequeños productores acuícolas, es prioritario mantener la rentabilidad de su negocio y esto lo lograrán incorporando tecnología que les permita ser más competitivos. En un sistema de producción acuícola, uno de los principales factores a tomar en cuenta para lograr una mayor productividad es la calidad del agua en los estanques de cultivo; ya que esta afecta directamente la salud y crecimiento de los organismos cultivados. La calidad óptima del agua utilizada varía según las especies cultivadas y debe monitorearse y controlarse para asegurar un ambiente adecuado para cultivar cualquier especie.

Los parámetros más importantes por monitorear en un sistema acuícola son temperatura, oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrogeno (pH) y salinidad. Estos parámetros afectan directamente la salud animal, patrón de alimentación y tasa de crecimiento de los organismos que se cultivan.

Respecto a la temperatura, esta debe encontrarse entre 23°C y 31°C para la mayoría de especies que se cultivan en el trópico. Cuando la temperatura sale de estos límites o fluctúa repentinamente los organismos acuáticos experimentan estrés y enfermedades. La temperatura del agua interactúa con el OD situación en la cual el agua caliente contiene menos oxígeno disuelto que el agua fría [4].

El nivel de OD está directamente relacionado con el patrón de alimentación, crecimiento y nivel de actividad de los organis-

mos. El nivel de OD ideal debe estar entre 5.0-7.0 partes por millón (ppm), bajo esta condición los organismos crecen saludable y rápidamente. La interacción del OD con otros parámetros es de la siguiente forma: la cantidad de OD en el agua aumenta cuando la temperatura baja, y disminuye cuando la salinidad aumenta. Una baja concentración de OD es reconocida como causa principal de estrés, falta de apetito, susceptibilidad a enfermedades y mortalidad de organismos en la acuicultura. Está establecido que la concentración mínima de oxígeno en un estanque acuícola es el parámetro de mayor preocupación [4].

La salinidad del agua de mar es de 35 ppm, +/- 3 ppm, sin embargo, la salinidad encontrada en los estanques de crianza puede variar mucho, puede incrementarse con la evaporación o decrementarse con la lluvia. El rango de tolerancia de la salinidad para los camarones es muy amplio y pueden sobrevivir de 0 ppm hasta 50 ppm; sin embargo, el rango de crecimiento óptimo es de un promedio de 15 a 25 ppm. No obstante, aunque el camarón puede vivir en aguas con diferentes niveles de salinidad, no puede soportar cambios bruscos de salinidad dentro del rango de 0 a 50 ppm [4]. El rango aceptable de pH para el cultivo de especies es entre pH > 6.5 y pH < 8.5. Cuando el agua es muy alcalina (pH > 8.5), el amonio en el agua se convierte en amoníaco tóxico y esto puede matar a los organismos. Por otro lado, el agua ácida (pH < 5) lixivía metales de rocas y sedimentos. Estos metales tienen un efecto adverso en las tasas de metabolismo y puede ser fatal [4].

Los sistemas de monitoreo ambiental se han vuelto de gran relevancia en el monitoreo de parámetros y condiciones ambientales en ámbitos como la agricultura y la acuicultura. Actualmente, una gran cantidad de dispositivos de hardware y protocolos de comunicación permite el desarrollo de este tipo de sistemas. Estos sistemas pueden representar adecuadamente la variabilidad presente en el agua de cultivo de una granja de acuicultura. Varios prototipos y sistemas se han desarrollado para medir parámetros de calidad del agua en sistemas acuícolas. En el trabajo desarrollado en [5] se implementó una red inalámbrica para el monitoreo de parámetros en un sistema acuícola con recirculación, en el cual se incluyó la medición de variables como la temperatura, oxígeno disuelto, presión de agua y aire, así como sensores de corriente eléctrica. Además, el sistema incluyó módulos para lectura y transmisión de los valores de los sensores a través de una red inalámbrica. Se creó un programa de monitoreo con el fin de visualizar y almacenar los valores de los sensores y comparar con límites de referencia.

Por otra parte, en el trabajo de investigación realizado por [6] presentaron una red inalámbrica para la acuicultura. El entorno de monitoreo de esta red inalámbrica tiene la característica de puntos de medición múltiples y condiciones de medición complejas. Este sistema alcanza los objetivos de recolectar, transmitir y mostrar multiparámetros tales como oxígeno disuelto, temperatura y pH.

Asimismo, en [7] diseñaron e implementaron una red inalámbrica para el monitoreo continuo de la calidad del agua en una granja acuícola. Se diseñó e implementó un nodo de multiparámetros de calidad de agua, nodo de temperatura, nodo de enrutamiento y un centro de monitoreo *in situ* de manera remota vía la web.

Un sistema de trazabilidad basado en una red inalámbrica para un sistema de recirculación acuícola fue desarrollado por [8]. El sistema permite un rápido despliegue de datos y puede monitorear la temperatura del agua, la salinidad, el oxígeno disuelto y el pH, y lograr en tiempo real transmisión de datos. El sistema fue desarrollado principalmente utilizando C# en Microsoft Visual Studio integrado con el monitoreo gráfico en tiempo real con librerías de MATLAB.

Los investigadores en [9] diseñaron e implementaron la estructura de una red inalámbrica para recopilar y transmitir datos de parámetros acuícolas, tales como temperatura, oxígeno disuelto, entre otros. También, consta de un software de monitoreo inteligente con conocimiento experto que se utilizó para llevar un control automático de aireadores y alimentadores para asegurar la calidad del agua y alimentación de organismos en el sistema acuícola.

En [10] se desarrolló un sistema de monitoreo para calidad del agua en una granja acuícola. Los datos de los sensores fueron recolectados y transmitidos a través de ZigBee y GPRS. Las lecturas de los sensores fueron desplegadas online y en situ. El proceso de datos fue implementado usando el software LabView.

En el trabajo de investigación llevado a cabo por [11] desarrollaron un sistema de medición distribuido basado en una red de sensores inteligentes para medir parámetros en la acuicultura. El sistema está conformado por cuatro componentes: nodo de colección de datos, nodo de ruteo, centro de monitoreo *in situ* y centro de monitoreo remoto.

Una red inalámbrica para medir los parámetros de pH, NH₄⁺ y temperatura en una granja acuícola fue desarrollada por [12]. Se diseñaron dos módulos, el de sensores y el módulo inalámbrico. La red sigue el estándar 802.15.4 IEEE e implementa protocolo de ruteo basado en el mismo.

Un sistema de monitorización para mejorar los factores del medio ambiente en la acuicultura fue construido por [13]. El sistema basado en radio frecuencia inalámbrica y tecnología GSM, puede medir los parámetros ambientales en línea, como la temperatura y el contenido de oxígeno disuelto

(OD). De acuerdo con las condiciones ambientales, puede controlar un actuador que acciona un aireador. También permite el monitoreo remoto de datos por computadora hasta recibir una alerta por teléfono móvil cuando un parámetro salga del rango establecido.

Tanto las soluciones comerciales en el mercado actual, como las investigaciones descritas anteriormente, en su mayoría utilizan componentes de un costo elevado, difícil configuración y mantenimiento costoso que son poco accesibles a productores a pequeña escala. Por lo tanto, se propone un sistema que utilice componentes y tecnologías de bajo costo, de fácil configuración y mantenimiento para que esté al alcance del presupuesto de pequeños productores acuícolas.

2. Desarrollo

El presente sistema se desarrolló con componentes y tecnologías de uso libre y de bajo costo, para asegurar que el producto tecnológico desarrollado esté al alcance de los acuicultores del estado de Colima. Este trabajo es una investigación aplicada o tecnológica; la cual usa y aplica conocimientos y tecnologías previamente desarrollados y crea a partir de estos una nueva tecnología o solución que permita resolver un problema específico.

2.1. Descripción general del sistema

El sistema está compuesto por tres nodos, un nodo sensor, un nodo coordinador y nodo de publicación (véase Fig. 1). El nodo sensor integra sensores y microcontroladores, radio transceptor y fuente de energía solar, los cuales censan la

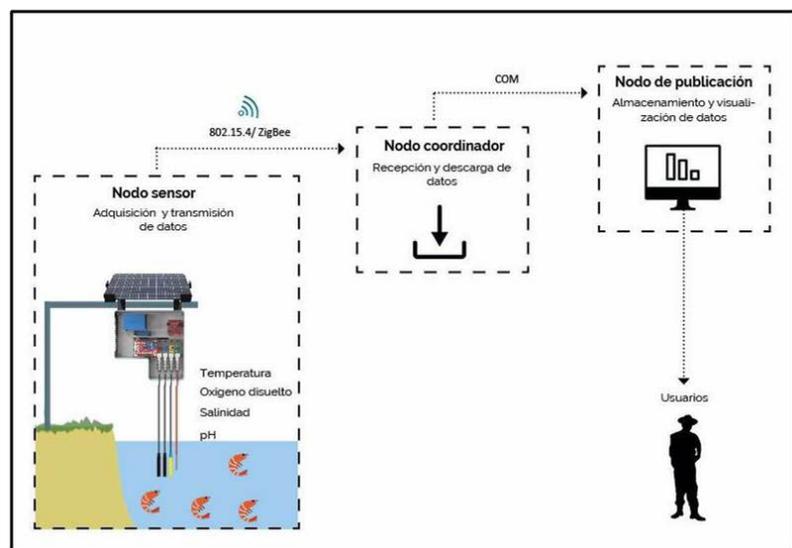


Fig. 1. Descripción general de los módulos del sistema.

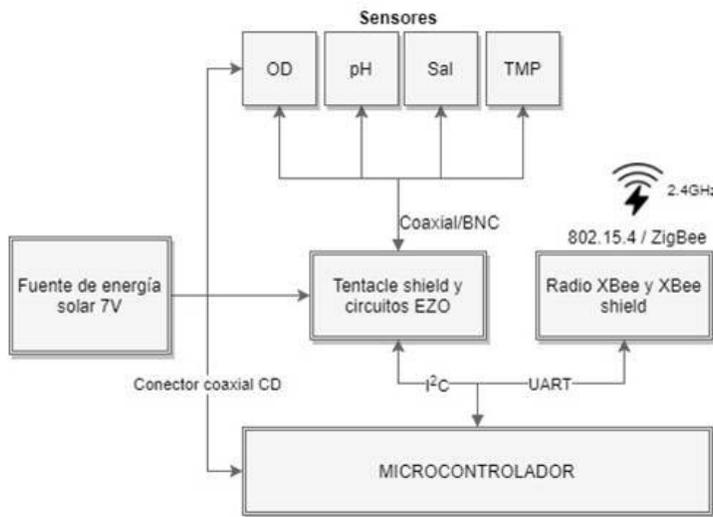


Fig. 2. Diagrama de bloques de los componentes del nodo sensor.

calidad del agua y transmite estos datos al nodo coordinador utilizando el estándar 802.15.4 y la especificación Zigbee; el nodo coordinador recibe y extrae el paquete de datos transmitido y los descarga en una computadora personal (PC) para su almacenamiento y visualización. En el nodo de publicación los usuarios podrán consultar los parámetros censados en una PC mediante una interfaz gráfica de ventana. A continuación, se describe los nodos con sus componentes.

2.2. Nodo sensor

El nodo sensor se compone de los siguientes elementos: sensores, microcontrolador y Tentacle shield con circuitos EZO, radio transceptor XBee y XBee shield, fuente de energía solar y código (véase Fig. 2). A continuación, se describen los elementos del nodo sensor.

2.2.1. Sensores

Los sensores utilizados para medir la calidad del agua son de oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y temperatura. Estos se conectan al *tentacle shield* y circuitos EZO mediante un cable coaxial RG179 y conector Bayonet Neill-Concelman (BNC) (véase Fig. 2). Las características técnicas de los sensores se describen en la Tabla 1.

2.2.2. Microcontrolador, *tentacle shield* y circuitos EZO

Las lecturas de los sensores son obtenidas y procesadas a través de la tarjeta de desarrollo Arduino Uno en conjunto con el *Tentacle shield* y circuitos EZO utilizando el protocolo I²C (Inter-Integrated Circuit) (véase Fig. 3). El protocolo I²C utiliza dos líneas SCL y SDA. SCL es la línea del reloj y se utiliza para sincronizar todas las transferencias de datos a través del bus I²C, SDA es la línea de transmisión de datos. Las líneas SCL y SDA están conectadas a todos los dispositivos en el bus I²C. Cuando desde el microcontrolador se quiere mandar un comando se dirige al *Tentacle shield* y circuito EZO del sensor con el que quiere hablar, envía una señal de inicio (*Start*) condicional y se procede al envío de un byte con los siete bits que componen la dirección (*Address*) del circuito EZO con el que se quiere comunicar, más un octavo bit de menor peso que corresponde con la operación deseada, escritura = 0 (enviar al circuito EZO), y lectura = 1 (recibir del circuito EZO), seguido del bit de reconocer (véase Fig. 3).

A continuación, la dirección enviada es comparada por cada uno de los circuitos EZO del bus con su propia dirección, si ambas coinciden, el circuito EZO se considera direccionado como esclavo-receptor o esclavo-transmisor dependiendo del

Tabla1. Características técnicas de los sensores utilizados para medir la calidad del agua [14].

Tipo de sensor	Valor medido	Rango de medición	Precisión	Voltaje de operación
Oxígeno disuelto	Mg/l	0.01-35.99 mg/l	+/- 0.05mg/l	3.3-5V
Ph	pH	0-14	+/- 0.0002	3.3-5V
Conductividad eléctrica	μS/cm sólidos disueltos/ salinidad	5-200,000 μS/cm	+/- 2%	3.3-5V
Temperatura	°C	de -200°C a 850°C	+/- (0.15 + (0.002*t))	3.3-5V

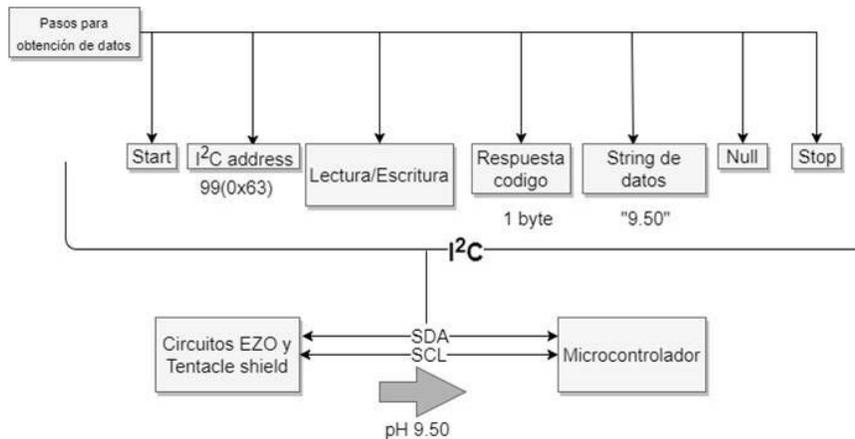


Fig. 3. Obtención y procesamiento de datos utilizando I²C, Tentacle shield y circuitos EZO (ejemplo para el pH).

bit de menor peso escritura/lectura. El circuito EZO responde enviando un bit de reconocer (respuesta del código) que le indica al microcontrolador que el circuito EZO reconoce la solicitud y está en condiciones de comunicarse y comienza el intercambio de información entre ambos dispositivos. El microcontrolador envía la dirección del registro interno del dispositivo, en el que se desea leer o escribir, el circuito EZO responde con otro bit de reconocer, ahora el microcontrolador puede empezar a leer o escribir bytes de datos. Al final del proceso se intercambia una señal *null* y *stop* para terminar la comunicación (véase Fig. 3).

A continuación, la dirección enviada es comparada por cada uno de los circuitos EZO del bus con su propia dirección, si ambas coinciden, el circuito EZO se considera direccionado como esclavo-receptor o esclavo-transmisor dependiendo del bit de menor peso escritura/lectura. El circuito EZO responde enviando un bit de reconocer (respuesta del código) que le indica al microcontrolador que el circuito EZO reconoce la solicitud y está en condiciones de comunicarse y comienza el intercambio de información entre ambos dispositivos. El microcontrolador envía la dirección del registro interno del dispositivo, en el que se desea leer o escribir, el circuito EZO responde con otro bit de reconocer, ahora el microcontrolador puede empezar a leer o escribir bytes de datos. Al final del proceso se intercambia una señal *null* y *stop* para terminar la comunicación (véase Fig. 3).

2.2.3. Radio XBee y XBee shield

Una vez obtenidos y procesados los valores de los sensores, estos se transmiten inalámbricamente al coordinador por medio del radio XBee utilizando el estándar 802.15.4 y la especi-

ficación Zigbee por medio del radio XBee. Los radios XBee se conectan a un dispositivo host (XBee shield y microcontrolador) a través de una lógica de nivel asíncrono de un puerto serial. A través del puerto serial, el XBee puede comunicarse con cualquier dispositivo que incluya UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*), o a través de un traductor de nivel a cualquier dispositivo en serie. Los dispositivos que tienen una interfaz UART pueden conectarse directamente a los pines del módulo del radio XBee. Los datos entran en el módulo UART a través del pin 3 (*data in*, DI) del XBee como una señal serial asíncrona. La señal debe estar en inactivo cuando no se transmiten datos.

Cada byte de datos consiste en un bit de inicio (bajo), 8 bits de datos (bit de menor importancia primero) y un bit de parada (alto) (véase Fig. 4). El módulo UART realiza tareas, como la temporización y la comprobación de paridad, que son necesarias para la comunicación y transmisión de datos. La comunicación serial dependen de que los dos UART se configuren en los siguientes aspectos: velocidad de baudios, paridad, bits de inicio, bits de parada, bits de datos. El radio XBee se configura y programa utilizando el software XCTU de Digi International [15].

El microcontrolador, Tentacle shield, XBee shield y radio XBee utilizados en el prototipo se ensamblan y conectan uno sobre otro formando niveles a través de conectores Berg (cabezales para pines), los cuales permiten la conexión e interacción entre todos estos componentes y hacen posible que sea funcional.

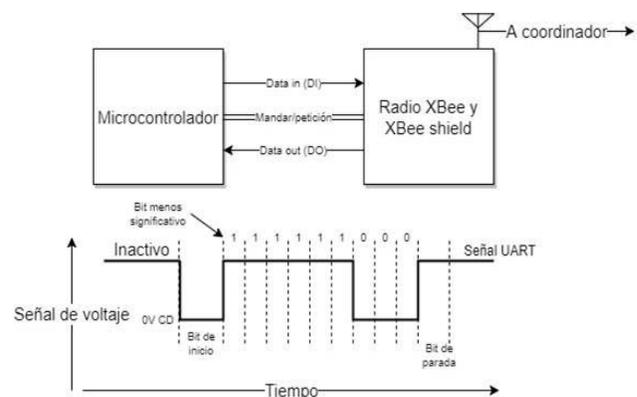


Fig. 4. Funcionamiento básico Radio XBee.

2.2.4. Fuente de energía solar

La fuente de energía está compuesta por los siguientes elementos: un panel de 6W con una salida de 7V, batería de Lithium ion de 6000 mAh, cargador para baterías Lithium ion y un convertidor corriente directa a corriente directa (CD-CD) con una salida que puede ajustarse entre 4V y 12V (véase Fig. 5). La fuente de energía se conecta al Arduino Uno por medio de un conector coaxial de corriente directa y provee la energía necesaria al nodo sensor.

El panel solar es capaz de producir 6 Watts con una salida de alrededor de 7V a 1025 mA. Cada panel cuenta con celdas monocristalinas de alta eficiencia (19%), con un recubrimiento de uretano impermeable con soporte de plástico duro y con sellado robusto, ideal para utilizarse en aplicaciones en el exterior. El panel se conecta al cargador por medio de un conector coaxial de corriente directa.

El cargador es solar de seguimiento de punto de máxima potencia (MPPT por sus siglas en inglés) para baterías Lithium ion. Este cargador ofrece la posibilidad de obtener la máxima potencia posible del panel solar u otro dispositivo fotovoltaico y cargar una batería recargable de Lithium ion. La carga debe conectarse en paralelo con la batería y viene configurado a una corriente de carga máxima de 450Ma. La entrada máxima recomendada de 20V y mínima de 6V. La batería utilizada en el prototipo no se carga más allá de su capacidad nominal. El cargador se conecta a la batería Lithium ion por medio de un conector JST-PH estándar de 2 pines - 2 mm de separación entre pines.

La batería está basada en química de iones de litio. Este consiste en un paquete de 3 celdas y cada celda produce una salida nominal de 3.7V a 2000mAh (6000mAh en total) y viene

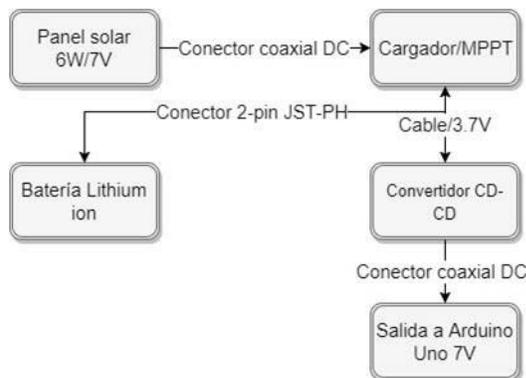


Fig. 5. Componentes de la fuente de energía.

con un conector JST-PH estándar de 2 pines - 2 mm de separación entre pines. La batería da energía al nodo por la noche. El convertidor eleva eficientemente los voltajes de entrada tan bajos como 2,9 V a un voltaje de salida ajustable más alto entre 4V y 12V, mientras que permite una corriente de entrada tan alta como 5A. El convertidor tiene una eficiencia entre el 80% y el 95%. La salida del convertidor se conecta al Arduino Uno mediante un conector coaxial de corriente directa.

2.2.5. Código

El código necesario para la petición, adquisición, procesamiento y transmisión inalámbrica se encuentra contenido en la tarjeta de desarrollo Arduino Uno y se programó con el Arduino Software IDE [16]. En la primera parte del código se habilita la comunicación en modo I²C y se declaran todas las variables necesarias. Enseguida, se desarrolla la función leer y procesar los datos de los sensores vía I²C. Esta función a su vez se divide en dos funciones una para solicitar las lecturas y otra para recibirlas. Por último, la función para realizar la comunicación UART entre el microcontrolador y el radio XBee y el XBee shield para la transmisión inalámbrica se define. Se llaman las dos funciones principales en el *void loop*. En el código se programa el intervalo de tiempo en que los componentes se activaran y realizaran el monitoreo de los parámetros de acuerdo con las necesidades de monitoreo que requiera el acuicultor.

2.2.6. Carcasa y soporte para componentes

Se diseñó y construyó un soporte y carcasa para contener y ensamblar todos los componentes del nodo sensor. El diseño, características y dimensiones de la carcasa y soporte se muestra en los planos (véase Figs. 6a, b, c). La carcasa se diseñó con el software Autodesk Fusion 360 [17] y se imprimió en una impresora 3D con material PET resistente para usar en exteriores. Se compone de dos mitades y cuenta con

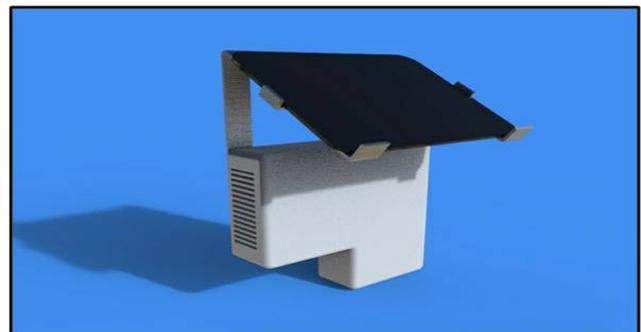


Fig. 6a. Diseño 3D de carcasa y soporte.

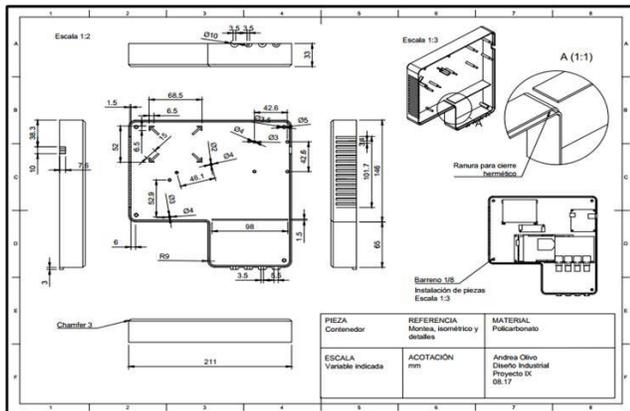


Fig. 6b. Planos de la carcasa.

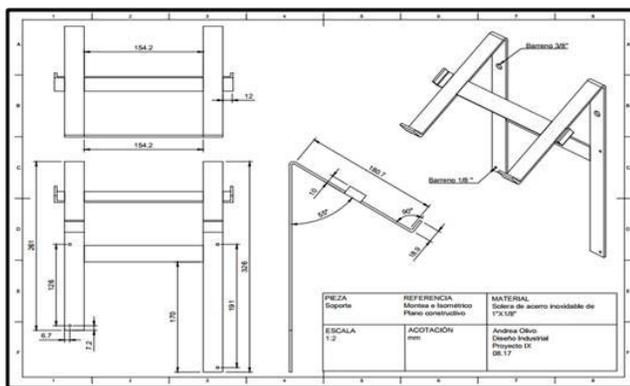


Fig. 6c. Planos del soporte.

ranuras de ventilación. Cada componente al interior de la carcasa se ensambla y fija a la misma por medio de postes y barras. Todos los componentes del prototipo ensamblados en la carcasa y soporte se muestran en la Fig. 7.

2.3. Nodo coordinador

El nodo coordinador consta de dos elementos el XBee Explorer Dongle y un radio XBee configurado como coordinador con el software XCTU. Los datos transmitidos desde el nodo sensor son recibidos por el coordinador XBee el cual los descarga a una PC para su almacenamiento. Para lograr este propósito se utiliza el XBee Explorer Dongle el cual permite pasar los datos a la PC a través del puerto COM (véase Fig. 8). El XBee Explorer Dongle puede conectar la unidad directamente a un puerto USB y hacer que actúe como una puerta de enlace entre la PC y el radio XBee. Lo más destacado del Xbee Explorer Dongle es el convertidor USB a serie FT231X que traduce los datos entre la PC y el radio XBee.



Fig. 7. Componentes del nodo sensor ensamblados en su carcasa y soporte.

Los datos recibidos y descargados a través del coordinador XBee se almacenan usando un *script* en Python.

2.4. Nodo de publicación

En el nodo de publicación, los datos censados se muestran en una interfaz de ventana desarrollado con el paquete Tkinter de Python (véase Fig. 9). Así mismo, los parámetros censados se almacenan en la PC y estos se pueden consultar y graficar según sea necesario analizar los datos en conjunto o forma individual para cada parámetro. En el archivo se guarda la fecha y hora en que se midió cada parámetro, el tipo de parámetro medido y el valor censado (véase Fig. 10a y Fig. 10b).

2.5. Pruebas al prototipo

Para validar el prototipo se han hecho pruebas poniendo en funcionamiento el nodo sensor, nodo coordinador y nodo de



Fig. 8. Nodo coordinador conectado a PC por medio de puerto USB.

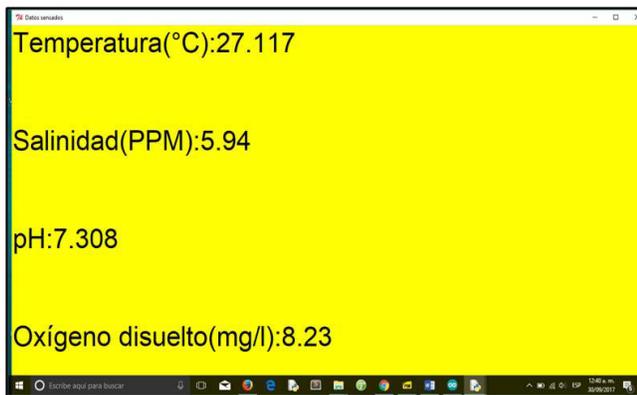


Fig. 9. Interfaz de ventana mostrando datos censados.

publicación. Las pruebas se han realizado en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Colima el cual es un ambiente urbano con obstáculos. Se probó el alcance del prototipo a diferentes distancias 50, 100 y 150 metros. Los datos se transmitieron al nodo coordinador en las distancias anteriormente especi-

ficadas y se mostraron en la interfaz de ventana y se almacenaron en la PC sin ningún problema (véase Figs. 9, 10a, b). Las mediciones de los parámetros se han hecho en diferentes intervalos de tiempo con un funcionamiento satisfactorio. La fuente de energía solar ha tenido un desempeño satisfactorio durante el día proporcionando la energía necesaria al nodo sensor y la batería de 6000 mA ha durado en funcionamiento toda la noche realizando las mediciones. La transmisión de paquetes de datos mejorará en campo abierto y con línea de vista.

3. Conclusiones

En el presente trabajo se describe la construcción de un prototipo para monitorear y medir unos de los parámetros más importantes que determinan la calidad del agua en los sistemas acuícolas. Este prototipo en su primera fase es capaz de monitorear los parámetros oxígeno disuelto, pH, salinidad y temperatura en forma continua o de acuerdo con un determinado intervalo de tiempo según sea necesario. También, se pueden presentar los parámetros censados en una interfaz gráfica de ventana en una PC. Además, los datos se almacenan y se pueden consultar y graficar para ver cuál ha sido su comportamiento a través del tiempo. Finalmente, el prototipo está construido desde un enfoque modular, para consumir poca energía y transmitir los datos de forma eficiente utilizando el estándar 802.15.4 y la especificación Zigbee.

Esta herramienta tecnológica permite el monitoreo eficiente de parámetros fisicoquímicos y facilita la toma de mejores decisiones a los productores acuícolas para lograr una mayor productividad y rentabilidad. Lo notable de este prototipo es que fue construido con componentes comunes, fácil de armar, configurar, programar, mantener y, sobre todo, de bajo costo, lo que implica que se encuentre al alcance de las condiciones económicas de los acuicultores del estado de Colima y de otras regiones del país.

Como trabajos a futuro, se considera dotar al sistema de un ambiente web para poder monitorear los parámetros desde cualquier lugar accediendo a internet. Otro aspecto que se contempla es desarrollar un modelo predictivo basado en los datos recolectados que permita predecir las condiciones ideales del agua de cultivo para que los camarones tengan un adecuado crecimiento y desarrollo. También, es posible incluir un sistema de alertas SMS, para el envío de notificaciones cuando se presenten condiciones irregulares en los parámetros censados.

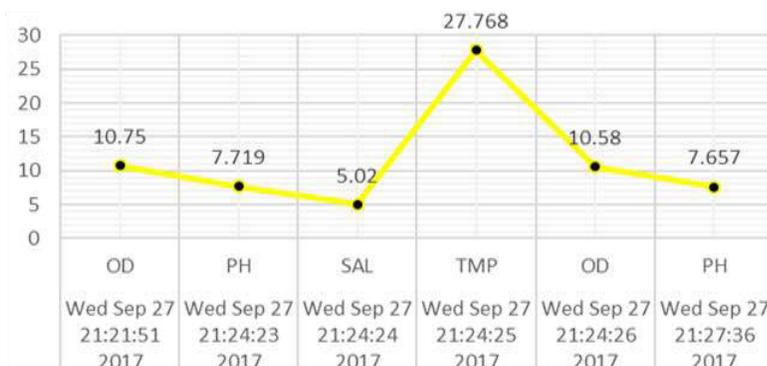


Fig. 10a. Consulta y visualización de datos censados, todos los sensores.



Fig. 10b. Consulta y visualización de datos censados, oxígeno disuelto.

Referencias

- [1] FAO, *Perfiles países*, abril 2017 [en línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/countryprofiles/index/es/?iso3=MEX> [Consultado: 29 mayo 2017]
- [2] CONAPESCA, "Anuario estadístico de acuicultura y pesca", abril 2017 [en línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>
- [3] CONAPESCA, "Anuario estadístico de acuicultura y pesca", abril 2017. [en línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>
- [4] FAO, "Depósito de documentos de la FAO: Manual para la cría de camarones", mayo 2017 [en línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB466S/AB466S03.htm> [Consultado: 19 mayo 2017]
- [5] F. J. Espinosa-Faller, G. E. Rendon Rodriguez, "A ZigBee wireless sensor network for monitoring an aquaculture recirculating system", *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 10, núm. 3, pp. 380-387, mayo, 2012.
- [6] Xingqiao Liu and Liqiang Cheng, "Wireless sensor network based on ZigBee in aquaculture", *Advances in Intelligent and Soft Computing*, vol. 148, pp. 553-558, febrero, 2012.
- [7] Ma Daokun, Ding Qisheng, Li Daoliang, Zhao Linlin, "Wireless Sensor Network for Continuous Monitoring Water Quality in Aquaculture Farm", *Sensor Letters*, vol.8, núm.1, pp. 109-113, febrero, 2010.
- [8] Qi Lin, Zhang Jian, Mark Xu, Fu Zetian, Chen Wei, Zhang Xiaoshuan, "Developing WSN-based traceability system for recirculation aquaculture", *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 53, núm. 11-12, pp. 2162-2172, noviembre, 2011.
- [9] Mingfei Zhang, Daoliang Li, Lianzhi Wang, Daokun Ma, Qisheng Ding, "Design and Development of Water Quality Monitoring System Based on Wireless Sensor Network in Aquaculture", *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol.347, pp. 629-641, octubre, 2011.
- [10] Xin Wang, Longquan Ma, Huizhong Yang, "Online water monitoring system based on ZigBee and GPRS", *Procedia Engineering*, vol. 15, pp. 2680-2684, julio, 2011.
- [11] Tai Haijiang, Liu Shuangyin, Li Daoliang, Ding Qisheng, Ma Daokun, "A multi-environmental factor monitoring system for aquaculture based on wireless sensor networks", *Sensor Letters*, vol. 10, núms. 1-2, pp. 265-270, septiembre, 2012.
- [12] M. López *et al.*, "Wireless Monitoring of the pH, NH₄⁺ and Temperature in a Fish Farm", *Proceedings of the EuroSensors XXIII conference*, *Procedia Chem.*, vol. 1, núm. 1, pp. 445-448, agosto, 2009.
- [13] Yang Shifeng, Ke Jing, and Zhao Jimin, "Wireless monitoring system for aquaculture environment," in *Proc. Radio-Frequency Integration Technology*, RFIT 007, IEEE, pp. 274-277, marzo, 2007.
- [14] EZO circuits datasheets. Long Island City, NY: Atlas Scientific, 2017.
- [15] Digi international, 274-277, marzo, 2007, in *Proc. Radio-Frequency* <https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu#productsupport-utilities>. [Consultado: 9 junio 2017].
- [16] Arduino, <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>. [Consultado: 29 mayo 2017].
- [17] Autodesk, <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/students-teachers-educators>. [Consultado: 9 junio 2017].

Científica

indizada en

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.

http://132.248.9.1:8991/F/-/?func=find-b-0&local_base=PER01

Redalyc

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

Sistema de Información Científica Redalyc.

www.redalyc.org

Simulación con Flexsim, una nueva alternativa para la ingeniería hacia la toma de decisiones en la operación de un sistema de múltiples estaciones de prueba

Marco Antonio **Díaz-Martínez**
Ricardo **Zárate-Cruz**
Reina Verónica **Román-Salinas**

Instituto Tecnológico Superior de Pánuco
Investigación y Posgrado
Prol. Avenida Artículo Tercero Constitución s/n,
Solidaridad, 93998 Pánuco, Veracruz.
MÉXICO

correo electrónico (email): marco.diaz@itspanuco.edu.mx
reina.roman@itspanuco.edu.mx

Recibido 09-01-2018, aceptado 11-04-2018.

Resumen

El objetivo principal de este documento es afrontar conceptos clave en relación con el uso del software FlexSim dentro de un modelo de simulación, como una alternativa innovadora de efectividad en la toma de decisiones de las operaciones de un sistema de producción. El estudio incluye una revisión literaria, conceptos del modelo y simulación, aplicaciones, la caracterización de Flexsim y la descripción para la construcción de un modelo en el software FlexSim. Este trabajo se desarrolla partiendo del entendimiento y uso del software, modelación, ejecución y análisis de las operaciones de un sistema de múltiples estaciones de prueba. El modelo aquí descrito ilustra claramente la amplia precisión y capacidad de FlexSim como herramienta de mejora, además muestra lo sencillo que es su programación y su estilo innovador en el diseño en 3D. Este artículo busca dar una idea clara del impacto que tiene la simulación dentro de un sistema de producción y a su vez logre un entendimiento claro del uso de Flexsim.

Palabras clave: Flexsim, simulación, toma de decisiones.

Abstract

(Simulation with Flexsim, a New Alternative for the Engineering towards the Decision Making in the Operation of a System of Multiple Test Stations)

The main objective of this document is to address key concepts in relation to the use of FlexSim software within a simulation model, as an innovative alternative of effectiveness in the decision making of the operations of a production system. The study includes a literary review, concepts of the model and simulation, applications, the characterization of Flexsim and the description for the construction of a model in FlexSim software. This work is developed based on the understanding and use of software, modeling, execution and analysis of the operations of a system of multiple test stations. The model described here clearly illustrates FlexSim's wide precision and capacity as an improvement tool, as well as how simple its programming and innovative style are in 3D design. This article seeks to give a clear idea of the impact that simulation has within a production system and in turn to achieve a clear understanding of the use of Flexsim.

Index terms: Flexsim, simulation, decision making.

1. Introducción

Para poder comprender la realidad y la dificultad que un sistema puede conllevar, ha sido necesario construir un modelo artificialmente con objetos y experimentar con ellos dinámicamente antes de interactuar con el sistema real. La simulación por computadora puede observarse como el equivalente computarizado a ese tipo de experimentación. Para lo cual es necesario construir modelos que representen la realidad de tales modelos que puedan ser interpretados por una computadora. Las operaciones, procesos o servicios de varias clases que existen en el mundo real son generalmente llamados sistemas y para estudiarlos de forma científica frecuentemente se hace un conjunto de suposiciones acerca de cómo trabajan. Estas suposiciones, que generalmente toman

la forma de relaciones matemáticas o lógicas, constituyen un modelo que es usado para intentar ganar un entendimiento de cómo se comporta el sistema correspondiente. Si las relaciones entre los componentes que componen el modelo son bastante simples, puede ser posible usar métodos matemáticos (como cálculo o estadística) para obtener información exacta en cuestiones de interés, a esto se le llama solución analítica. Sin embargo, la mayoría de los sistemas reales son difíciles, por lo que deben ser estudiados por medio de simulación para permitir que estos modelos sean reales y puedan ser evaluados de forma analítica. Las áreas de aplicación de la simulación son numerosas y diversas; es usual encontrar aplicaciones en ingeniería, economía, manufactura, administración, ciencias sociales.

Mostrar un ambiente concreto de simulación desde una perspectiva aleatoria en modelos prácticos utilizando el software FlexSim, requiere del entendimiento de los conceptos elementales que componen esta relación. En este contexto, es necesario tener una buena comprensión teórica de los conceptos de modelado y simulación de procesos industriales. Además de contar con conocimientos en el desarrollo de análisis experimental, en esta investigación se describen los conceptos principales del tema en estudio.

El objetivo de este artículo es inducir el uso de la simulación en la evaluación de un sistema productivo en un ambiente virtual, con la intención de lograr la máxima eficiencia en los sistemas de producción, minimizar costos, mejorar la calidad, reducir el lapso de tiempo entre la fabricación y la entrega de los productos al cliente, proyectar escenarios catastróficos y extremos. Así como la aplicación de alternativas educativas para la formación de personal en diferentes áreas de una organización.

2. Revisión de la literatura

2.1. Definición de simulación

Para el desarrollo del presente trabajo resulta de suma importancia iniciar definiendo el término simulación. La simulación es la representación gráfica de algún proceso, sistema de producción o sistema real a través del tiempo, ya sea diseñada manualmente o en una computadora, la simulación compromete la generación de un historial artificial de un sistema y su observación para obtener inferencias relacionadas con las características operativas del sistema real [1]. La simulación por computadora se refiere a los métodos para estudiar una gran variedad de modelos de sistemas del mundo real mediante la evolución numérica usando un software diseñado para imitar las características u operaciones del sistema, a menudo en el transcurso del tiempo [2].

La simulación comienza con un modelo. Un modelo es una descripción física o matemática de un sistema y usualmente representa un punto particular de acción en el tiempo [3]. Asimismo, los modelos de simulación son empleados para estudiar y determinar la representación de un sistema real de manera abstracta con la intención de predecir el comportamiento del mismo. Sin embargo, dado que un sistema es un conjunto complejo, integrado de elementos interconectados, el cual forma parte de otro sistema superior y se compone de sistemas de orden anterior [4], se dificulta el nivel de abstracción pues la mayoría de los sistemas reales son muy complejos para la realización de evaluaciones analíticas, por lo que los sistemas deben ser estudiados mediante la simulación [5].

Un modelo de simulación representa la operación de algún proceso o sistema del mundo real, a través del tiempo, ya sea realizada manualmente o por medio de una computadora. La simulación involucra la generación de una historia artificial de un sistema y su observación para obtener inferencias relacionadas con las características operativas del sistema real [1]. Este modelo, comúnmente toma la forma de un conjunto de supuestos respecto a la operación del sistema, estos supuestos son expresados en forma de relaciones matemáticas y lógicas entre los objetos de interés del sistema. Entonces el sistema es modelado identificando las características de sus eventos y mostrando un juego de rutinas que dan una descripción detallada del sistema en estudio. Es así, como los eventos de la simulación evolucionan en el tiempo (reloj de simulación) ejecutando los eventos en orden creciente del tiempo de ocurrencia: un evento es algo que sucede en un instante de tiempo (simulado) que puede cambiar atributos, variables o acumuladores estadísticos. Asimismo, un evento discreto es un momento específico del tiempo [6]. De esta forma, el estado de los elementos de un sistema cambia continuamente o solo en determinados estados del tiempo. El flujo del agua que entra y sale en una planta tratadora de aguas residuales y, la entrada y salida de clientes que pagan la despesa en un cajero son ejemplos de cambios continuos y discretos, respectivamente. Esto es, en el primer ejemplo el agua no muestra un espacio de tiempo entre litro y litro, por otro lado, las llegadas de las personas al cajero de un supermercado muestran tiempos variados entre una y otra.

Posteriormente, una vez desarrollado, validado y verificado el modelo de simulación, este puede ser utilizado para investigar una amplia variedad de preguntas del tipo ¿Qué pasa si...?, acerca del mundo real [2]. Una vez realizado lo anterior, se procede con la planeación de los experimentos que se harán mediante el modelo de simulación establecido. Después de haber concluido el modelo de simulación, los clientes o dueños del sistema real, tendrán una herramienta que les permitirá proyectar distintos escenarios de simulación en diferentes periodos de tiempo. La simulación también puede ser utilizada para estu-

diar sistemas en su etapa de diseño (antes de que dichos sistemas sean construidos). De esta manera, los modelos de simulación pueden ser utilizados tanto como un instrumento de análisis para predecir los efectos de cambios en sistemas existentes en lapsos de tiempo distintos, o bien como un instrumento de diseño para predecir el comportamiento de sistemas nuevos en proyecciones que contribuyan a soluciones alternativas en efectos presentes para un futuro sustentable.

Se considera que un sistema es modelado y simulado con la finalidad de identificar sus componentes, su estructura y observar su conducta en términos de sinergia, con el propósito de crear, planificar, controlar y predecir el comportamiento de distintos escenarios.

2.2. La simulación en el tiempo

La palabra simulación, en su concepto actual, se remonta hacia fines de 1940 cuando Von Neumann y Ulam definieron el término "análisis de Monte Carlo" para aplicarlo a una técnica matemática que usaban al resolver ciertos problemas de protección nuclear que eran demasiado costosos o muy complicados para resolverse experimentalmente o analíticamente [7]. Sin embargo, la simulación analógica fue muy evidente durante los años 50, la cual se definía entonces como *Simulation Programming Languages* (SPL) o bien simulación por ordenador [8].

La necesidad de resultados cada vez más precisos y rápidos estimuló el desarrollo de cientos de nuevas técnicas de simulación en los últimos 60 años. Además, con el desarrollo de la computadora de gran velocidad, a principios de 1950, la simulación tomó otro significado, ya que surgió la posibilidad de experimentar con modelos matemáticos (que describen sistemas de interés) en una computadora. Su sorprendente evolución brindó la herramienta necesaria que permite la implementación de los métodos de simulación más complejos de una manera simple y eficiente [3]. El primer simulador fue General Simulation Program (GSP) acreditado por K. D. Tocher en conjunto con D. G. Owen en 1960 [9]. Mientras que en el periodo de 1961 a 1965 surgieron nuevos simuladores los cuales incluían declaraciones del principal lenguaje de programación llamada FORTRAN (*Formula Translator System* es un lenguaje de programación adaptado especialmente al cálculo numérico y a la computación científica desarrollado por John Backus e IBM en 1954), el cual se tenía como idioma hasta entonces [10]: *General Purpose System Simulator* (GPSS) y SIMULA descritos por Wexelblatt [11], SIMSCRIPT enunciado por Marcowitz *et al.* [12], *Control and Simulation Language* (CSL) el cual contribuía con la solución de problemas complejos dentro de las empresas industriales y comerciales [13] y algunos más enunciados en la publicación de Nance [8]. En esa época el diseñador del software utilizaba instrucciones de

lenguaje y macros para especificar al sistema su lógica de operación. Por lo que el modelador tenía inicialmente que entender todo el conjunto de argumentos antes de poder hacer un seguimiento de las variables de estado del sistema. Esto implicaba la construcción de macros complicados, se requería de mucho tiempo y los costos eran excesivos. Además, los modelos que empleaban estos lenguajes de simulación no contaban con animación [14]. Posteriormente, la aparición de un nuevo lenguaje popular y de uso general llamado PASCAL desarrollado por Niklaus Wirth entre los años 1968 - 1969, estimuló el diseño posterior de paquetes de simulación basados en este lenguaje [8]: Bryant [15], [16] desarrolló el lenguaje de programación SIMPAS como un lenguaje de simulación de redes el cual fue diseñado para ser altamente portátil y orientado a eventos. Otro programa sobresaliente fue el lenguaje de simulación de redes llamando INTERACTIVE, el cual permitía la utilización de símbolos gráficos además de que la construcción y la ejecución eran interactivos [17].

Por otro lado, un primer lenguaje que permitió añadir animación fue SIMAN el cual fue creado por Dennis Pegden en 1982. Sin embargo, para crear animación SIMAN utilizaba un segundo lenguaje independiente llamado CINEMA [12]. SIMAN y CINEMA más tarde (en el año 2000) se combinaron para crear al software Arena.

En 1986, WITNESS lanzó el primer producto con nivel de construcciones prefabricadas junto con una mejor representación visual. Este nuevo software redujo aún más la necesidad de una programación directa en el lenguaje de simulación. La nueva generación de simuladores hasta entonces era más fácil de usar, pero aún carecían de flexibilidad y la programación de código en el ordenador no estaba disponible para el usuario. A finales de los años 80 existían en el mercado diferentes simuladores para computadora basados en *Disk Operating System* (DOS) los cuales fueron creados principalmente para usos comerciales, incluyendo WITNESS, ProModel, SLAM y SIMFACTORY. En esa misma época, existieron en el mercado una amplia variedad de software de simulación; no obstante, muchos de ellos eran difíciles de usar, debido limitada capacidad gráfica, lo que ocasionaba el uso máximo de la capacidad de la computadora al momento de ejecutar los modelos de simulación [3].

2.3. La nueva generación de software para simulaciones

En la década de los 90, surgieron diferentes simuladores. En Europa surgió el Simple++, Simul8 y Taylor II (el primer simulador 3D para ejecutarse en una PC). En Estado Unidos, se crearon muchos programas de simulación de los cuales los más notables son: Extend y Simcad. En 1998 Taylor ED fue puesto

en el mercado. Este último software se destacó por ser el primer software de simulación orientado a objetos en 3D con realidad virtual, el cual también operaba con la plataforma del software de Microsoft Windows. Posteriormente, en el año 2003 fue lanzado el software FlexSim, el cual resultó ser sustancialmente diferente respecto a los simuladores anteriores tanto en su lenguaje de simulación como en su arquitectura [3].

3. Simulación con Flexsim

3.1. Descripción del software

El software FlexSim fue desarrollado por Bill Nordgren, Cliff King, Roger Hullinger, Eamonn Lavery y Anthony Johnson. FlexSim permite modelar y entender con precisión los problemas básicos de un sistema sin la necesidad de programaciones complicadas, esto debido a que ofrece una forma sencilla al desarrollar el modelo de simulación. Se enlistan algunas razones por las cuales FlexSim es una buena alternativa como herramienta en simulación:

- Su amplia sección de predefinidos permiten abordar situaciones mucho más complejas sin tener que escribir código de software.
- El software se orienta a objetos lo que admite una mayor visualización del flujo de producción.
- Todo el proyecto se desarrolla en un ambiente tridimensional (3D), además de permitir importar infinidad de objetos de distintos paquetes de diseño, incluyendo AutoCAD, Solid Works, Catia, 3D Studio, Revit, Google Sketch-Up, etc.
- Otra razón importante es que no sólo se pueden simular sistemas discretos, sino que también se admite la simulación de fluidos o modelos combinados continuo-discreto.
- La generación de distintos escenarios y condiciones variadas son fáciles de programar.
- Las distribuciones de probabilidad se pueden representar con gran precisión en lugar de valores promedio para representar fielmente la realidad.
- Las gráficas, los reportes y todo lo que se refiere a los estadísticos se puede revisar a detalle.

3.2. Aplicaciones de FlexSim

FlexSim ha contribuido con aplicaciones de clase mundial en temas de medicina, salud, sistemas de logística tales como operaciones de contenedores en puertos, simulaciones distribuidas en varios equipos dentro de una empresa manufacturera, en la minería, en centros aeroespaciales e incluso se ha adaptado a la industria del servicio (hoteles, hospitales, supermercados, o muchas otras industrias) para simular la administración y operación de los recursos humanos.

Así mismo se ha demostrado en diferentes casos de diversos corporativos alrededor del mundo (Volkswagen, FEMSA, DHL, MICHELIN, MATTEL, VALE, CATERPILLAR, DISCOVER, ARMY, U.S. AIR FORCE, DUPONT, ABB, CARRIER, ORACLE, Tetra Pak, IBM, NASA, FedEx, AVON, Whirlpool, ALCAN, Remington, BAKER HUGHES, etcétera) que FlexSim es una herramienta clave para mejorar los resultados al dar respuesta acertadas a los problemas planteados [18].

4. Uso y manejo del software Flexsim

En la presente sección, para poder describir el uso y manejo del software se desarrollará un caso sencillo de estudio de un modelo de múltiples estaciones de prueba.

En muchos modelos se ha ilustrado cómo manipular materiales que se encuentran en cantidades discretas (piezas, esferas, personas, etc.), pero dentro de muchos sistemas reales los materiales no necesariamente son piezas discretas. En este apartado se presentan los conceptos fundamentales para construir un modelo básico de estaciones de prueba. La construcción de un modelo con estas características requiere de mucha atención ya que existen detalles que no pueden pasarse por alto.

4.1 Descripción del caso de estudio

Una planta industrial tiene un sistema de producción con un único Queue FIFO (*First-In-First-Out*) alimenta cuatro estaciones de prueba en paralelo. El producto llega a la Queue cada 21 segundos desde el source. El tiempo de ciclo de pruebas es de 1 minuto. Las estaciones de prueba paran cada 20 minutos exponencialmente distribuidos y lleva entre 2 y 5 minutos uniformemente distribuidos arreglarlos. La tasa de fallos en las estaciones es del 10%. Las piezas que fallan se separan manualmente en una mesa de retrabajo, con un tiempo lognormal (35.4, 3.2, 0.1) y se vuelven a introducir nuevamente al Queue que alimenta a las estaciones de prueba.

4.2 Descripción de los objetos del modelo

- El Source presenta un tiempo de arribo de 21 segundo y un flujo de primeras disponibles hacia el Queue 2 con un máximo de capacidad de contenido de 50 piezas.
- El Queue 2 presenta un flujo de producción de tipo Matching Itemtypes donde existe una separación de productos para ser asignados a los Queue 4, 5, 6, 7 respectivamente.
- Cada una de las Queues tiene una capacidad máxima de 50 productos dependiendo su tipo y presenta un flujo de proceso de tipo First Available y luego el producto es enviado hacia el área de pruebas.
- En los procesos se presentan un 10% de fallos y tiempo de proceso de 60 segundos. Se tiene un supervisor asignado

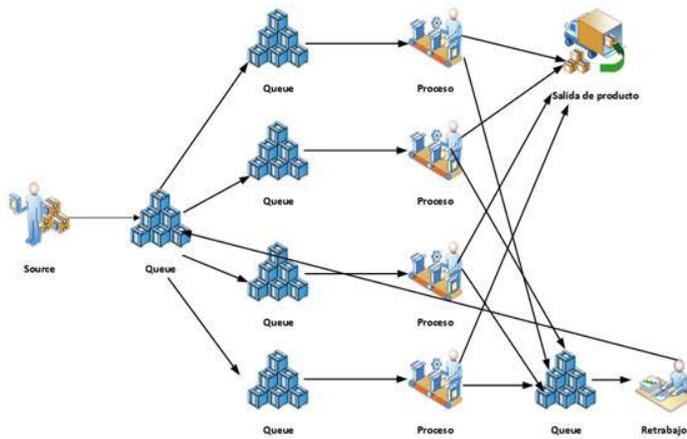


Fig. 1. Diagrama de flujo de producción del modelo de pruebas.

para separar las piezas con defectos y volver a introducir nuevamente al queue que alimenta a las estaciones de prueba.

- Los productos que cumplan con las pruebas serán enviados al Sink donde es la etapa final y termino del proceso.
- En caso de no ser enviados al Sink por cumplimiento de las pruebas son enviados a una mesa de retrabajo Processor 14 para su análisis y al no cumplir con las especificaciones son enviadas al Queue 2 para empezar nuevamente el proceso de pruebas (véase Fig. 1).

4.3. Construcción del modelo

Para la construcción del modelo se inicia creando una nueva hoja de trabajo (New Model) en Flexsim. Posteriormente, se seleccionan de las librerías los recursos necesarios y se arrastran al área de trabajo (véase Fig. 2). Los objetos necesarios para este caso de estudio son:

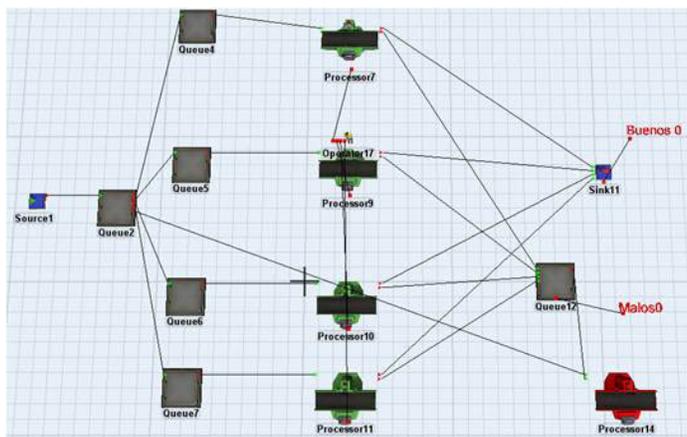


Fig. 2. Imagen del modelo final en ejecución.

- 1 Source que es la fuente de salida de producto hacia la línea de espera Queue 2.
- 6 Queues que son las líneas de espera que son los envíos hacia las operaciones o procesos.
- 5 procesos que son los encargados de las pruebas respectivas hacia los productos.
- 1 Sink que es la salida de producto terminado y que cumple con las correctamente con las especificaciones.
- 1 Transporter (supervisor).

4.4. Conexión de objetos

Después de arrastrar los objetos al área de trabajo, es necesario conectarlos. La conexión de objetos fluidos se hace de la misma forma con la que conecta objetos discretos: presionando la tecla A y dando clic en los objetos a conectar se crea una conexión de entrada/salida y la tecla S crea una conexión de puerto central. Recuerde que los objetos deben ser conectados de acuerdo con el diagrama de flujo de producción mostrado en la figura 1. Para este caso de estudio, las conexiones son las que se enlistan en la Tabla 1.

Tabla 1. Conexiones de elementos del sistema de modelación de pruebas.

Actividad	Dependencia
Source 1	Queue 2
Queue 2	Queue 4
Queue 2	Queue 5
Queue 2	Queue 6
Queue 2	Queue 7
Queue 3	Processor 7
Queue 3	Processor 8
Queue 3	Processor 9
Queue 3	Processor 10
Processor 7	Sink 13
Processor 8	Sink 13
Processor 9	Sink 13
Processor 10	Sink 13
Processor 7	Queue 11
Processor 8	Queue 11
Processor 9	Queue 11
Processor 10	Queue 11
Queue 11	Queue 12

4.5. Configuración de los objetos

Configuración del Sources. Dado que el valor predeterminado del tiempo de llegadas es de 21 y el envío hacia el puerto Queue 2 es de First available.

Configuración de las líneas de espera (Queues). Una vez posicionados los elementos de las líneas de espera se empieza la configuración dando doble clic en cualquiera de los elementos y se asigna primeramente la capacidad máxima que tendrá cada línea de espera y en este caso será de 50 cajas máximo y un envío (Send To Port) hacia las demás líneas de espera con la opción de Matching Itemtypes ya que en el caso de la Queue 2 es la primera línea de espera de servicio de los diferentes tipos de producto a enviar a las demás líneas de espera (véase Fig. 3).

Configuración de los procesadores (Processors). Una vez enviados los productos por las diferentes líneas de espera es ahora cuando deben ser sometidos a las pruebas de inspección para determinar si cumplen con las especificaciones y proceder a la salida de producto terminado. Se da clic en el procesador y en la opción de Processor se asigna una capacidad máxima de 1 caja por operación durante 10 segundos y se asigna un transporte quien realizara los ajustes manuales o cambios en este tiempo. En este caso de estudio se menciona que se presenta un 10% de defecto y esto significa que los envíos al reproceso son por probabilidad (véase Fig. 4).

Configuración del sink (salida y recepción de producto final). Después de terminar las pruebas en los diferentes procesadores y las inspecciones del supervisor los produc-

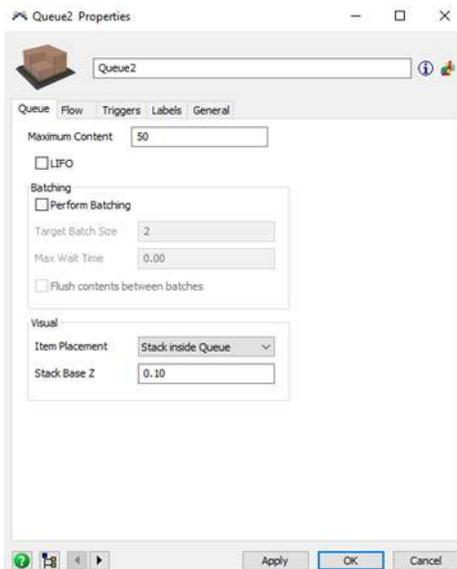


Fig. 3. Configuración de las propiedades de los Queue.

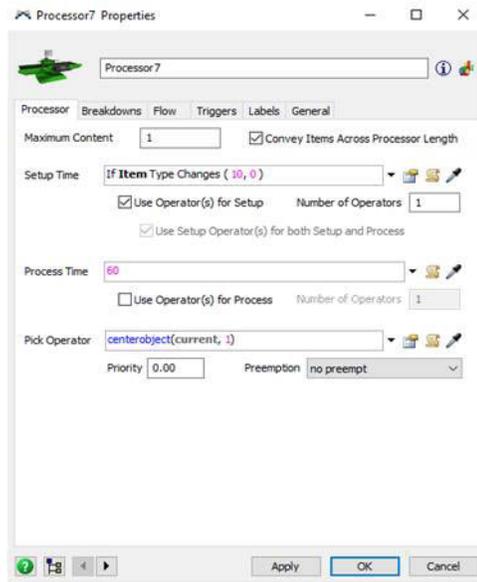


Fig. 4. Configuración de las propiedades de los Processor.

tos son enviados al Sink donde este último toma como válido el producto terminado proveniente de los procesos y es almacenado. En caso contrario que después de realizar las pruebas pertinentes envíe el producto al Queue 12 esto significa que no cumple con las especificaciones y es enviado al Processor 14 que es la mesa de retrabajo que enviara el producto defectuoso a la línea de espera inicial del proceso de producción (véase Fig. 5).

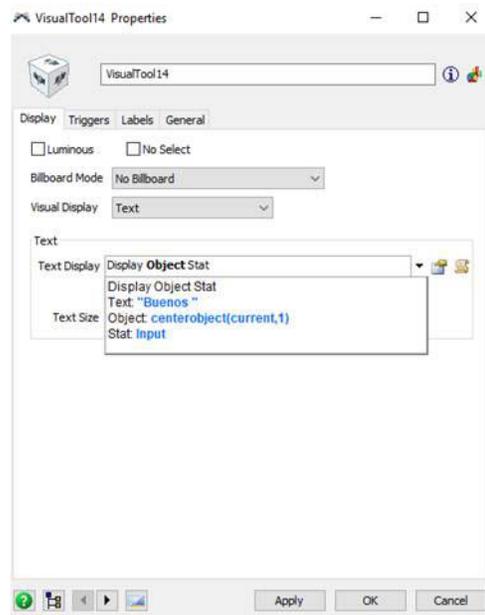


Fig. 5. Configuración de las propiedades del VisualTool.

En el caso del Queue 12 y Sink 11 están programados mediante un elemento llamado VisualTool para llevar el conteo de los productos que cumplen (Buenos) y no cumplen (Malos) de acuerdo a la configuración del sistema y tener datos reales del comportamiento que tendría y así poder tomar las mejores decisiones en las operaciones.

4.6. Ejecución del modelo

Para ejecutar el modelo, definir el tiempo de simulación (por ejemplo 3600 segundos) y después dar Reset una vez que modelo esté corriendo, puede observarse como cada una de las líneas de espera cumple con su capacidad máxima de inicio y fin, así como los procesos en ejecución y el supervisor. También se puede observar la cantidad total de producto aceptado y rechazado durante el tiempo total de ejecución del sistema (figura 6).

5. Resultados

El desempeño del sistema se describe con estadísticas. Las estadísticas son la acumulación de valores en una variable por un tiempo determinado, inician en 0 cada vez que se restaura (Reset) el modelo y se acumulan valores hasta el momento en que se detiene la simulación. Además, estos resultados pueden ser vistos como números, porcentajes o gráficos y pueden programarse variables de interés para el usuario o simplemente consultarse las ya definidas.

Una vez que se ha ejecutado el modelo durante un período de tiempo predeterminado, se pueden analizar los resultados de la ejecución en muchas y muy variadas formas (véase Fig. 7).

1. Algunas estadísticas que pueden ser observadas de forma rápida, se encuentran disponibles en los objetos que se muestran en el área de trabajo.
2. Además, también es posible agregar recursos especiales de la librería de objetos. Por ejemplo, el Recorder permite añadir gráficas dinámicas y variables, las cuales se animan mientras el modelo se está simulando.
3. En el menú Statistics > Reports and Statistics se puede tener acceso a un informe completo, a un resumen del informe o quizá a un informe del estado en el que se encuentra el modelo.

Finalmente, recordar que, para hacer una inferencia válida, los modelos de simulación se estabilizan haciendo ejecuciones con periodos de tiempo largos. Además, es importante tener en cuenta la importancia de ejecutar el número necesario de réplicas, puesto que las ejecuciones múltiples contribuyen también a mejorar la validez de la inferencia. Un mayor número de réplicas implica un número más elevado de muestras aleatorias independientes con distribución estadística diversas.

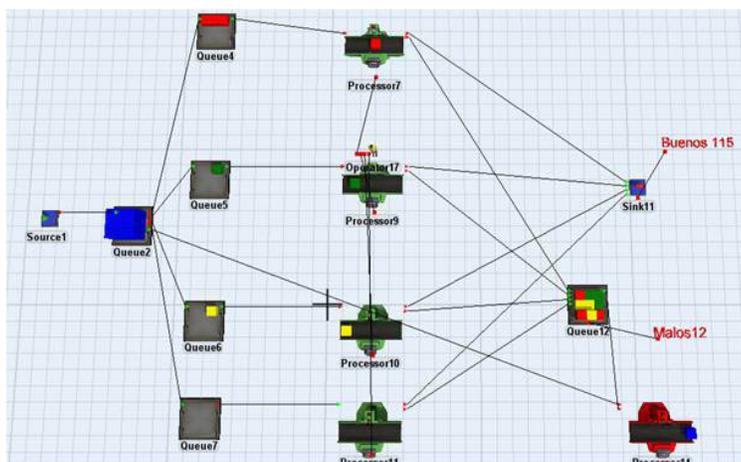


Fig. 6. Presentación del modelo final.

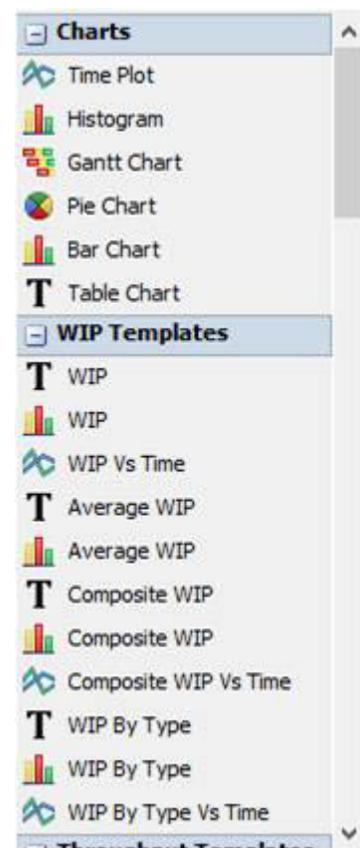


Fig. 7. Herramientas de informe de las estadísticas de operación de un modelo de simulación

6. Conclusiones

Después de entender la terminología general de la simulación y de haber construido su propio modelo en FlexSim el modelador deberá tener idea clara de cómo operan los objetos en FlexSim. Además, como resultados de esta investigación, el lector comprobará que la simulación de un modelo desarrollado con FlexSim permite tomar mejores decisiones en la operación de los sistemas industriales, los cuales buscan mejorar su rentabilidad. Finalmente, se espera que este artículo refleje la importancia de la simulación tanto a investigadores, como a catedráticos y alumnos hacia el involucramiento en la construcción, análisis e interpretación de modelos más grandes, complejos y realistas, basados en la simulación con FlexSim.

Referencias

- [1] J. Banks, J. S. Carson, B. L. Nelson, & D. M. Nicol. *Discrete-Event System Simulation*, 4a ed., USA: Prentice Hall, 2005.
- [2] D. W. Kelton, R. P. Sadowski, & D. T. Sturrock. *Simulación con Software Arena*, 4a ed., México: McGraw Hill, 2008, pp. 1-25.
- [3] M. Beaverstock, A. G. Greenwood, E. Lavery, y W. Nordgren. *Applied Simulation Modeling and Analysis using FlexSim*, 3a ed., FlexSim Software Products, Inc., Orem USA, 2012.
- [4] J. Acosta Flores. *Ingeniería de sistemas: un enfoque interdisciplinario*. 2a ed., Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM, México: AlfaOmega, 2007, pp. 1-26.
- [5] Law Averill M. & Associates Inc. *Simulation Modeling and Analysis*, 4a ed., Tucson, Arizona: U.S.A. McGraw-Hill, 2007, pp. 1-273.
- [6] W. L. Winston. *Investigación de operaciones aplicación y algoritmos*, 4a ed., México, Thomson Learning, 2005, pp. 1-273, 1145-1158.
- [7] J. Von Neumann. *John Von Neumann y los orígenes de la computación moderna*, William Aspray-Gedisa, 1992.
- [8] R. E. Nance. *A History of Discrete Event Simulation Programming Language*, Department of Computer Science, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 1993, pp. 4-39.
- [9] K. D. Tocher, & D. G. Owen. *The Automatic Programming of Simulations*, Proceedings of the Second International Conference on Operational Research, 1960, pp.50-68.
- [10] M. Barceló G. Una historia de la informática, Rambla del Poblenou, Barcelona, UOC, 2008, pp. 77-80.
- [11] R. L. Wexelblatt. *History of Programming Languages*, Academic Press, Proceedings of the ACM SIGPLAN History of Programming Languages Conference, 1-3 junio, 1978.
- [12] H. M. Marcowitz, B. Hausner, y H. W. Karr. *SIMSCRIPT: A Simulation Programming Language*, The RAND Corporation, Prentice Hall, 1963.
- [13] Esso C.S.L. *Reference Manual/Control and Simulation Language*, Esso Petroleum Company, Ltd. & IBM United Kingdom, 1963.
- [14] B. Zeigler, T. Gon Kim, & H. Praehofer. *Theory of Modeling and Simulation*, 2a ed., New York: Academic Press, 2000.
- [15] R. M. Bryant. *SIMPAS - a Simulation Language Based on PASCAL*, Proceedings of the 1980 Winter Simulation Conference, T.I. Ören, C.M. Shub, and P.F. Roth, eds., 1980, pp.25-40.
- [16] R. M. Bryant. *A Tutorial on Simulation Programming with SIMPAS*, In Proceedings of the 1981 Winter Simulation Conference, T.I. Ören, C.M. Delfosse, and C.M. Shub (eds.), pp. 363-377.
- [17] R. Lakshmanan, *Design and Implementation of a PASCAL Based Interactive Network Simulation Language for Microcomputers*, unpublished Ph.D. dissertation, Oakland University, Rochester, Michigan, 1983.
- [18] FlexSim Software Products, Inc. Improve performance. Save money, Who is using FlexSim?, Consultado en enero 2012 en <http://www.flexsim.com/>.
- [19] R. Coss Bú. *Simulación: un enfoque práctico*, 20a ed., Noriega/Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey/Limusa, México, 2003, pp. 11-18.

Logística del comercio electrónico: *cross docking, merge in transit, drop shipping y click and collect*

Vladimir Meléndrez-Acosta

Instituto Tecnológico de Sonora
Departamento de Ingeniería Industrial
Campus Nainari. Antonio Caso S/N y E. Kino,
Colonia Villa ITSON. CP 85130.
Ciudad Obregón, Sonora.
MÉXICO

Tel. +52 (644) 410-90-01 ext. 1739
correo electrónico (email):
ing.vladimiracosta@gmail.com

Recibido 16-01-2018, aceptado 23-05-2018.

Resumen

El artículo describe condiciones de la logística en el comercio electrónico y su importancia a la hora de controlar el flujo de información de un punto de origen a un punto destino, utilizando medios electrónicos, generalmente internet. Las futuras cadenas logísticas estarán conectadas a internet, los intercambiadores logísticos son parte importante, sobre todo, para controlar la recepción y pedido de materiales, su gestión y almacenamiento. Se analiza la situación del tema en países de América y Europa, su historia, funcionamiento, bases legales y buenas prácticas. Además, se hace hincapié en algunas estrategias utilizadas en el e-commerce: *cross docking, drop shipping, merge in transit y click and collect*. Describiendo a cada una de ellas, su uso, importancia y la aplicabilidad en empresas de rango.

Palabras clave: logística, comercio electrónico, *cross docking, drop shipping, merge in transit, click and collect*.

Abstract

(E-commerce logistics: cross-docking, merge in transit, drop shipping and click and collect)

The article describes the conditions of logistics in e-commerce and their importance in controlling the flow of information from a point of origin to a destination point, using electronic means,

usually the internet. Future logistics chains will be connected to the internet, logistic exchangers are an important part of this mainly to control the reception and ordering of materials, their management and storage. It analyzes the situation of the subject in countries of America and Europe, its history, function, legal basis and good practices. In addition, some strategies are used in the e-commerce: *cross docking, drop shipping, merge in transit and click and collect*. Describing each of them, their use, importance and applicability in companies of rank.

Index terms: logistics, e-commerce, *cross docking, drop shipping, merge in transit, click and collect*.

1. Introducción

Cada vez es mayor las personas que se conectan a internet, las posibilidades de estar en línea se han incrementado, se utiliza en muchas de las actividades diarias. Este ha propiciado el comercio electrónico, transacción de bienes o servicios sin necesidad de tener contacto físico para obtener el pago, dando origen a nuevas formas de pago, tarjetas de crédito y débito, etcétera.

La logística en el comercio electrónico incluye todas las actividades de la cadena de suministro (inventario, pedido, empacar, transportar, recibo de pagos, atención al cliente, etc.) [1]. Es la forma de controlar el flujo de información de un punto de origen a un punto destino, utilizando medios electrónicos que generalmente es el internet. Las futuras cadenas logísticas estarán conectadas a internet, los intercambiadores logísticos son parte importante de esto sobre todo para controlar la recepción y pedido de materiales, su gestión y almacenamiento.

Entre un 20 y 30% del comercio electrónico no llega a su consumidor final, las empresas no están preparadas para atender casos de logística inversa, esto sería un aspecto negativo que atender [1].

El comercio electrónico ya sea mayorista o minorista comenzó en el año 1920 en Estados Unidos a través de catálogos, el impacto al realizarse utilizando la computadora fue notable por la facilidad en el flujo de información ó intercambio electrónico de datos (EDI), las empresas comenzaron a realizar

pedidos electrónicos [2]. Existen contratos electrónicos que regulan los acuerdos establecidos entre un oferente y un comprador, son derechos y obligaciones que se adquieren al realizar cualquier tipo de transacción vía internet [3]. La transferencia electrónica de fondos, crédito y débito nace a raíz del comienzo de nuevas formas de pago después de una transacción exitosa. El dinero electrónico es un ejemplo de ello. Tanto las tarjetas prepago y la banca electrónica reducen el costo a la hora de realizar una actividad comercial on-line [3].

México como muchos países se basó en la ley modelo sobre comercio electrónico de la Comisión de las Naciones Unidas para el derecho mercantil internacional, tal y como lo describe Ríos [3], en la que a través del Diario Oficial de la Federación en el año 2000 se reformaron cuatro leyes federales, Código de Comercio y Ley Federal de Protección al Consumidor. México fue el segundo país latinoamericano de mayor crecimiento en el comercio electrónico, después de Brasil en el año 2013. Cada año va aumentando hasta más del doble de dinero en su año anterior. Las formas de pago de las transacciones hechas han sido principalmente con tarjetas de crédito (más del 50%) y con depósitos a sucursales (más del 10%). De octubre a diciembre ocurre más e-commerce en México y a principio de año, menos. Aunque el consumidor se dice satisfecho realizando operaciones on-line el 10% están indecisos y les genera desconfianza [4].

La mayor parte de las transacciones que se realizan por internet son por servicios. La organización mundial del comercio (OMC) se ha encargado de facilitar y determinar regulaciones modernas, como patentes y derechos de autor [5]. Estados Unidos y la Unión Europea, hasta el momento, van a la cabeza en el comercio electrónico. Internet puede convertirse en la principal entrada del conocimiento.

En algunos sectores el e-commerce español ha repuntado, sobre todo en la relación directa B2C [5], en otras aún se tiene la desconfianza sobre todo porque no conocen las regulaciones para conservar y proteger las transacciones que se realizan on-line. La comisión del mercado de telecomunicaciones (CMT) y la asociación española del comercio electrónico (AECE) elaboran estudios constantes, pero con parámetros de búsqueda diferentes, por lo que los resultados tienen variaciones. Evalúan las transacciones realizadas a través de internet, principalmente.

2. Desarrollo

Torres [1] dice que el comercio electrónico ha repuntado mucho en los últimos años, este debe ir a la par de la logística para facilitar la integración, el flujo de información y la colaboración entre las empresas. Para ello se tiene la base legal en diferentes normativas, como la Ley Modelo de la Comisión

de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional de 1999 (UNCITRAL), en sus artículos 1 y 2 ordinal C. Otra regulatoria de este tipo de leyes es la que tiene Venezuela, en el decreto regula a los servicios y certificadores electrónicos, reconoce el valor jurídico de la información on-line y toda la información en la red.

Uno de los principales problemas en la red según la OCDE que han sido objeto de estudio son los relacionados con la logística, el transporte y las formas de pago [5]. El comercio electrónico es una forma de ofrecer productos/servicios a través de internet, cada vez más empresas en el mundo están dando pie al comercio electrónico [6].

Los beneficios que este último autor describe para las empresas son:

- Se puede tener puntos de venta a toda hora los 360 días del año.
- Comunicación directa con el cliente y por ende se eliminan los intermediarios.
- Productos/servicios personalizados.
- Cero inventarios para empresas 100% digitales.

Los principales beneficios del comercio electrónico son reducción de costos en la transacción, los costos de la operación compraventa bajan notablemente, acceso fácil a la información por lo que los clientes tienen la ventaja de poder hacer comparaciones, acceder a varios mercados, entre otros [2].

Las empresas costarricenses ofertan pocos productos on-line, los clientes buscan encontrar todo lo que necesitan y al no hacerlo prefieren no comprarlo o buscarlo por otro lado. El comercio por internet en este país es incipiente, no se cuenta con el equipo y la tecnología básica para desarrollarse por lo que se requiere de alta inversión. Los clientes tienen desconfianza de las pocas empresas 100% on-line ya que la mayoría no representan una marca que las diferencie, descrito por [6]. El comercio electrónico no solo es a través de internet, también se da por mensajes de textos, por intercambio electrónico de información y hasta con el uso de los cajeros automáticos en empresas bancarias [7].

Hay dos estrategias al diseñar negocios en la red, primero que la empresa esté totalmente en la red o que solo se trasladen partes preexistentes, la primera indica ausencia de almacenes, personal capacitado para manipulación de mercancía, entre otros. Por lo que se tiende al outsourcing y la segunda, aunque se tiene experiencia en logística a veces es más práctico y barato contratar un producto/servicio externo.

Se menciona [7] que la logística es uno de los elementos que más deben ser trabajados por las organizaciones para hacer

frente a los retos del comercio electrónico y poder minimizar costos y maximizar la rentabilidad ahorrando tales costos.

Para regular la homogeneidad del comercio electrónico internacional está la Ley Modelo sobre Comercio Electrónico de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI), esta fue empleada en Colombia en su ley 527 de comercio electrónico. La Unión Europea también ha realizado iniciativas de leyes que puedan regular el comercio electrónico en la región para proteger y aumentar la seguridad de los consumidores y de los usuarios en general en las diversas transacciones existentes. Venezuela también tiene sus propias regulaciones basadas en la ley modelo como la ley de protección al consumidor y al usuario y el decreto presidencial No. 825, además de la ley de delitos informáticos. Las leyes van más encaminadas para regular la seguridad de los usuarios más que regulaciones restrictivas en el comercio electrónico [7].

La región de Murcia está un poco adelantada en cuanto a comercio electrónico comparado con otras regiones autónomas. Las ventas casi se igualan a las realizadas por España. De acuerdo con lo que plantea [8], el 30.6% de estas familias disponen de computadora comparado con el 32.5% de España, lo que supone un equipamiento tecnológico aceptable propiciando el crecimiento del comercio por internet. El 53% de las PyMES realizan comercio electrónico justificando ahorros de aprovisionamiento y costos generales. En España un porcentaje muy pequeño considera invertir en tecnología como estrategia de desarrollo.

No se tiene información específica de las comunidades autónomas de España para definir su situación actual en referencia al comercio electrónico y cuales serían sus fortalezas. Actualmente se hace un estudio cualitativo y cuantitativo de regresión logística para determinar variables que tengan algún efecto (positivo y negativo) de la región murciana en referente al comercio vía internet [8].

3. Método y resultados

3.1. Cross docking

Sistema de distribución en el que los materiales se reciben por los proveedores en un centro de distribución donde no se almacenan sino se gestiona para su próximo envío [9]. El objetivo es reducir el inventario improductivo, los tiempos de envío y los costos de distribución. Algunos beneficios significativos son el aprovechamiento de la vida útil de los productos por su constante rotación [10]. Es muy utilizado en productos de consumo masivo, perecederos, abarrotes, etc. La figura 1 refleja el panorama general y la funcionalidad de esta herramienta.

Hay dos tipos de *cross docking*: predistribuido y consolidado (directo e indirecto), el primero las unidades a comercializarse ya están ordenadas de manera que facilite el envío a su cliente final, no requieren de manipulación adicional por lo que son movidas a sus puntos de salida. El segundo sucede

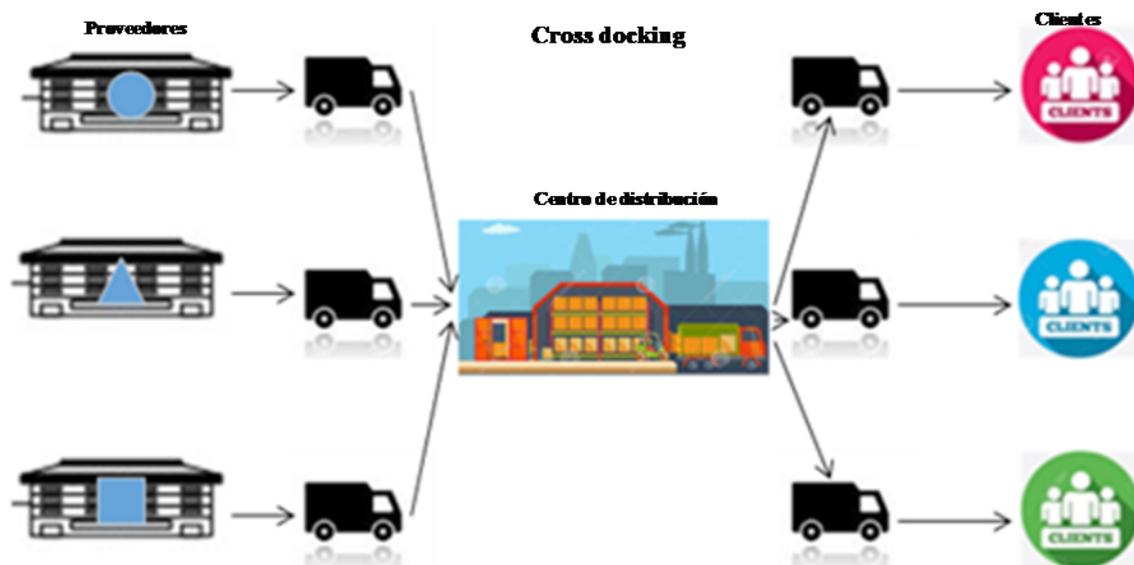


Fig. 1. Proceso general del *cross docking*.

lo contrario, las unidades no están previamente ordenadas y se procede con su manipulación para enviarse a los puntos de salida correspondientes. Este último se da más cuando se realizan promociones de los productos, [11].

En [12] la elección de los dos tipos de *cross docking* que se describen depende principalmente de:

- Tipo de producto: fresco, no perecedero, etcétera.
- Modelo de distribución utilizado por el detallista.
- El tiempo límite de entrega.

El principal objetivo de *cross docking* es eliminar el inventario improductivo retenido tanto por el minorista como por el centro de distribución del mayorista. Eliminando tiempos y reduciendo los costes de manipulación y distribución [12]. *cross docking* ha evolucionado permitiendo tiempo de entrega muy cortos por los ítems. Autores como [13], [14] y [15] hablan de los factores importantes para implementar con éxito *cross docking*.

Las principales ventajas de esta herramienta: mejora el flujo de mercancía y disminuye los niveles de inventario debido a la rotación constante en el centro de distribución [16]. Además, reduce las áreas físicas necesarias, ocupando solamente áreas como puntos de intermedios. Se utiliza más para órdenes consolidadas donde se tiene acceso a la información de la actividad del producto. Se requiere que los socios implicados inviertan en tecnología informática como el intercambio electrónico de datos (EDI), codificación de barras y lecturas por radiofrecuencia para rastrear el flujo de los productos e intercambiar la información de forma rápida, segura y concisa, tal y como se describe en [17].

En [12] se menciona que *Promodés*, uno de los mayores minoristas franceses, utiliza *cross docking* en la distribución de enormes cantidades de sus productos para varios países de Europa y América del sur, principalmente; emplea los dos tipos de *cross docking* definidos, obteniendo beneficios muy significativos en la optimización del flujo de materiales [18]. Otro ejemplo de la aplicación de esta herramienta es *Debenhams*, una empresa minorista de tiendas departamentales de las más grandes del Reino Unido, sus beneficios repuntaron sobre todo en productos continuos, cuya demanda suele ser constante. Esta compañía tiene un alto nivel de confianza entre cada uno de sus proveedores, dándole calidad por su precisión en tanto se refiera al artículo y la cantidad requerida. La frecuencia de entrega de un punto de origen u otro de salida es de 3 a 5 veces cada semana. Esto ha incrementado la disponibilidad de sus productos en un 7% en el año 2000.

3.2. Drop shipping

Los problemas de cumplimiento han sido un reto sobre todo en periodos vacacionales cuando los pedidos aumentan considerablemente, por eso, la comunicación rápida y eficaz en toda cadena de suministro es obligada en aras de mejorar el servicio al cliente. Esta mejora se puede realizar a través de internet con el *drop shipping* y una relación audaz entre los e-minoristas y los clientes, al efectuarse órdenes [19]. Por un lado, una ventaja para los clientes sobre el *drop shipping* es que los pedidos pueden ser artículos de diferentes proveedores mismos que deberán ser integrados, pero también puede ser un inconveniente por posibles elevaciones en los costos de envío y el plazo de entrega [20].

En [21] se define al *drop shipping* como una herramienta de distribución para sustituir o complementar los canales tradicionales, una ventaja propiciada por el uso masivo de internet. Este tipo de envío disminuye los costos por inventario y agiliza el envío. Una variable por considerar es el tiempo de entrega del producto demandado. Comparado al *drop shipping* con un canal de distribución tradicional, en [22] dicen que en su mayoría resulta más atractiva y en [23] se examina la estrategia mixta en la que los *e-tailers* pueden usar inventario local como una fuente primaria y el uso de *drop shipping* para apoyo. Bajo distintas fuentes de incertidumbre (por ejemplo, variabilidad y variabilidad en el tiempo de avance), se habla de desarrollar un modelo de simulación que proporcione las implicaciones de los minoristas de internet para aprovechar el desempeño del envío con una política de racionamiento de inventarios [24].

Un minorista electrónico de entorno empresarial y consumidor (B2C) utiliza tres formas organizativas cuando se maneja niveles de inventarios bajos y algunos pedidos deben mandarse directamente desde el proveedor: "store-picking", "dedicated warehouse-picking" y "drop shipping". Cada una de las políticas de órdenes repercute en el inventario en toda la cadena de suministro [19].

Según [21] en su estudio comparativo indican que los *e-tailers* cobran un mayor precio al por mayor (5.18%) que los minoristas tradicionales, con la ventaja de tener cero inventarios. Y una vez realizado el envío desde el fabricante al cliente reflejan un beneficio promedio de 18.33% según los autores. Esto debido al control que se obtiene de la producción, concluyendo ventajas significativas con la herramienta de distribución *drop shipping* cuando los clientes son indiferentes. Estas son algunas de las condiciones donde el envío a gota supera en rentabilidad a los detallistas tradicionales. El envío de gota eleva la eficiencia que el canal tradicional maneja por

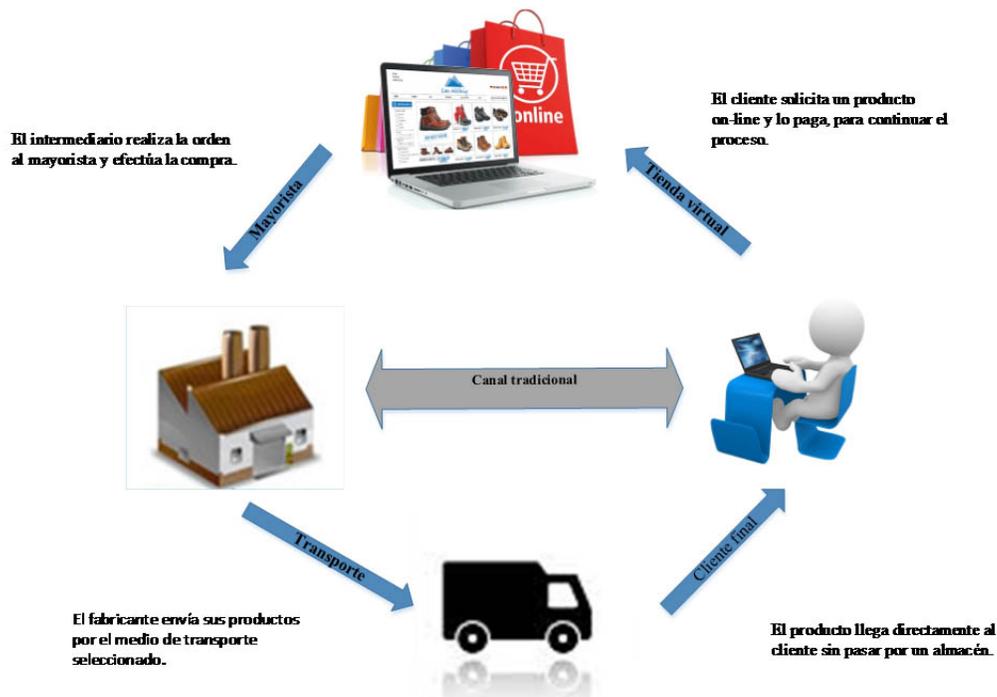


Fig. 2. Comparativa de un canal de distribución tradicional y Drop shipping

la coordinación y adopción directa. La figura 2 muestra el diagrama comparativo de un canal de distribución tradicional y usando *drop shipping*.

El internet además de propiciar la venta de productos en línea ayuda a mejorar los procesos operativos convencionales, [25]. En los últimos años se han utilizado políticas de cumplimiento *drop shipping* para gestionar órdenes para minoristas en línea y se han comparado las cadenas de suministro tradicionales. Por ejemplo, en [22] se considera una cadena de suministro con múltiples minoristas y un mayorista que sigue un acuerdo de envío de la gota y caracterizan situaciones en las que es preferible el envío por caída o un canal tradicional.

Internet ha interferido en que los consumidores ya no estén dispuestos a esperar largos periodos en la compra de sus productos on-line, los minoristas se están esforzando para cumplir en tiempo y forma con las órdenes de sus clientes, implementando nuevas estrategias de cumplimiento tales como el *drop shipping* en el comercio electrónico como una política de inventario estructurada [24]. Varios detallistas son coordinados para hacer llegar los productos de un fabricante (o varios) directamente al cliente sin tener que almacenarlos. Ahorrándose costos de inspección, mantener, recoger y embalaje. En países como Estados Unidos donde el e-commerce es muy activo, la entrega de pedidos depende en altos por-

centajes de esta herramienta, sobre todo en productos no perecederos (los CD, libros, celulares, computadoras, etcétera). A principios del presente siglo en ese país los *e-tailers* tenían un límite máximo de 30 días para reportarse con sus clientes, en dado caso que sus artículos no llegaran en la fecha pactada, dando la posibilidad de cancelar el pedido por parte de sus clientes o en su defecto plantear acuerdos. Esto regulado por la Comisión Federal del Comercio (FTC, por sus siglas en inglés). Cuando los clientes solicitan un pedido rápido el precio del *drop shipping* aumenta oscilando entre un 10 y 15% [24].

3.3. Merge in transit

Consolidación en tránsito es un método de distribución en el que varios proveedores simultáneamente de diferentes lugares consolidan un pedido (tal y como se presenta en la figura 3) y se lo entregan directamente al cliente sin pasar por un almacén y ahorrándose costos de transportes [26]. Esta estrategia principalmente se da en la industria de telecomunicaciones y electrónica, por sus constantes avances tecnológicos en sus productos. Puede ser una estrategia de cero inventarios, además facilita el envío de pedidos completos en lugar de varios envíos pequeños. Este sistema requiere de una alta inversión en TIC innovadoras para el eficiente flujo de información.

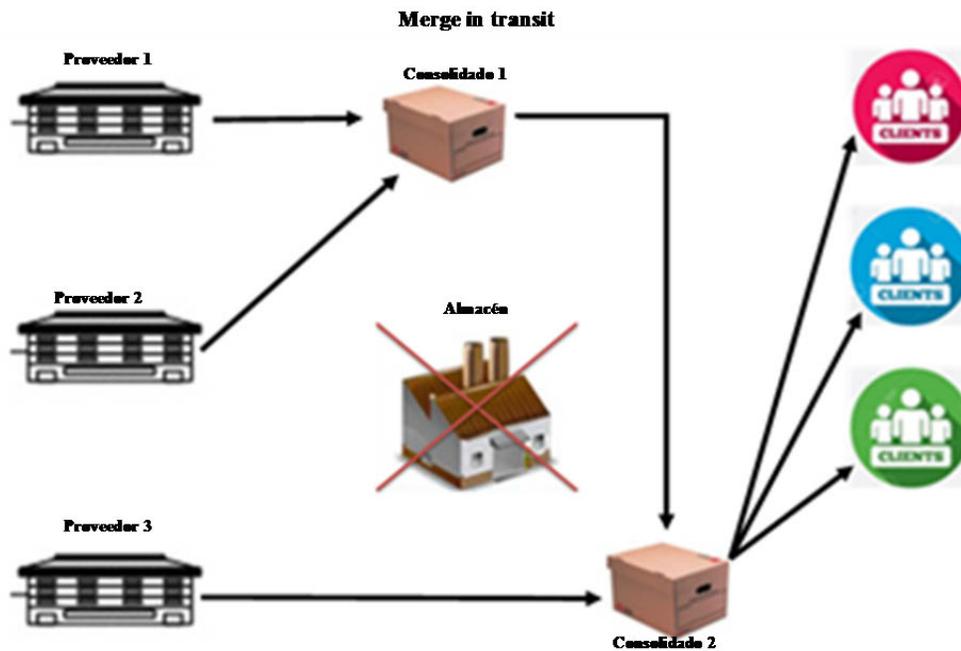


Fig. 3. Funcionabilidad del Merge in transit.

En algunas aplicaciones es complicado el manejo de la cadena de suministro por artículos que están compuestos de varios componentes, los cuales se fabrican en lugares diferentes. Un ejemplo de ello es la industria automotriz y la de computación. El cliente no quiere recibir su producto por partes, lo quiere completo y el día solicitado. El fabricante para satisfacer la demanda podría tener grandes inventarios o utilizar centros de fusión en tránsito, donde no se tiene la intención de mantener inventario [27].

Se ha comentado que debido al proceso de mejora continua con el objetivo de aumentar el valor a la vez que se reducen los costes [28], los modelos de canales de distribución básicos basados en almacenes centrales y locales, centro de distribución centralizado y entrega directa se ven superados por otro nuevo modelo: *Merge in Transit* (MIT). El MIT ofrece un enfoque innovador que minimiza los costos de entrega y el riesgo de obsolescencia al mismo tiempo que maximiza el nivel de servicio al cliente para pedidos de tamaño pequeño formados por productos suministrados por varios proveedores.

La separación entre orden y flujo de bienes permite un seguimiento centralizado y la consecuente reducción de las actividades administrativas además de la eliminación del inventario y la adopción de puntos de fusión. Así, los costos de inventario, el tiempo y costos de almacenamiento se reducen mientras que la variedad del producto, la completitud de la entrega al consumidor final, la precisión y la oportunidad se mejoran [28].

Los efectos de la fusión en tránsito sobre los costos de distribución están representados en dos modelos de servicio comparados [29]:

- Entrega directa de los proveedores al cliente interno y
- La fusión en tránsito en la cadena de entrega antes de la entrega al cliente interno.

La consolidación de las entregas cerca de la fuente de suministro reduce el número de emisiones que se manejarán más adelante en la cadena de entrega, lo que reduce los costos de distribución. En teoría, la fusión en tránsito es rentable en situaciones donde el procesamiento de las entregas es costoso en comparación con el costo de la consolidación.

3.4. Click and collect

Los clientes tienen la posibilidad de aventajar la flexibilidad que permite el comercio electrónico para obtener compras (*click*), para después recoger el producto adquirido [30]. Esto da pie a dar agilidad a sus peticiones y adaptabilidad a sus requerimientos. El producto que se vende en la tienda virtual debe estar perfectamente coordinado con el inventario real físico que tiene la organización. *Click and collect* es básicamente comprar por internet mercancías y recogerlas en una sucursal local.

Este tipo de compras aventaja en países como Reino Unido sobre todo por campañas como *Black Friday*. Para empresas

como Amazon en estos días se les acumulan los pedidos y se les dificulta el tiempo de entregas. Para solucionar esto algunas compañías realizan alianzas para utilizar oficinas como puntos de entrega de los clientes que hacen compras on-line.

Algunos beneficios más significativos de la compra-venta *click and collect* son:

- Oferta adaptada y rápida para los consumidores.
- Flexibilidad para gestionar la compra de diversos productos, dando la posibilidad de poder pagar al recibir el producto o en dado caso anular la transacción.
- Una vez que el cliente recoge sus productos se tiene la posibilidad de adquirir productos complementarios (Cross Selling).

4. Discusión o conclusiones

En la actualidad ya no basta con tener una página de internet con la información de tu empresa, ahora el comercio electrónico se ha convertido en una excelente oportunidad de negocio. Cada año el número de usuarios en internet aumenta considerablemente, al igual que los compradores on-line. Las formas de pago son cada vez más diversas y seguras, propiciando al consumidor confianza y mayor uso.

E-commerce consiste en el intercambio de información llevado a cabo por internet. Existen varias formas de realizarse, B2B (Comercio entre las empresas), C2C (Compra y ventas de productos y servicios entre particulares) y B2C (*Business to consumer*). Se pueden realizar casi cualquier transacción desde la comodidad de cada hogar.

Cada vez más países adoptan la Ley Modelo de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional de 1999 (UNCITRAL), creando bases legales que regulan el comercio electrónico y generando confianza a los consumidores. Países como Estados Unidos y de Europa están más adelantados en el tema, utilizan tecnología más específica tales como EDI (Intercambio Electrónico de Datos), EFT (Transferencia Electrónica de Fondos), correo electrónico, entre otros. En México y América Latina apenas se comienza a fomentar la cultura del e-commerce, la principal barrera es que los consumidores aún no tienen la confianza necesaria para que se efectúen las transacciones de forma segura, los gobiernos están en el proceso de generar bases legales que agilicen un cambio en el paradigma de los clientes., por lo que apenas se comienza a contar con la tecnología necesaria para su expansión.

Empresas como Amazon, Walt-mart, eBay, mercado libre, por mencionar algunas, han sido referencia en el campo y han implementado estrategias aquí mencionadas. El *cross docking*

es más utilizada en productos de consumo masivo o perecederos, sin almacenarse y en constante rotación. El *drop shipping* ha sustituido o complementado los canales tradicionales de distribución, una ventaja propiciada por el uso masivo de internet. Este tipo de envío disminuye los costos por inventario y agiliza la entrega. *Merge in transit* es otra estrategia muy utilizada, sobre todo, en la industria de telecomunicaciones por su constante innovación y cambios en los ítems. **Click and collect** también ha agilizado la venta en línea y ha mejorado el flujo de entrega.

El comercio electrónico ha crecido en los últimos años, se ha vuelto muy complejo y, por ende, se han propiciado nuevas estrategias en busca de hacer más eficientes los procesos y poder controlar el flujo de materiales, cumpliendo con las necesidades cada vez más exigentes de los clientes, dispuestos a esperar plazos de entrega cada vez más cortos.

Agradecimientos

Agradezco al Dr. Oliverio Cruz-Mejía profesor investigador de tiempo completo de la Universidad Autónoma del Estado de México, CU Nezahualcóyotl, Estado de México. Por su asesoría durante el Verano de Investigación Científica en el marco de colaboración con la Academia Mexicana de Ciencias durante mi estancia.

Referencias

- [1] E. Torres Amaya, "Implicaciones de la logística en el comercio electrónico sobre la satisfacción del cliente final interactivo", *Télématique*, vol. 6 núm. 1, 2007, pp. 208-223.
- [2] S. M. Roxana, "Beneficios del comercio electrónico", *Perspectivas*, núm. 24, 2009, pp. 151-164.
- [3] A. A. Ríos Ruiz, "Análisis y perspectivas del comercio electrónico en México", *Perfiles de las Ciencias Sociales*, vol. 3, núm. 5, julio-diciembre 2015, disponible en <http://revistas.ujat.mx/index.php/perfiles/article/view/993>
- [4] Yao, D.Q., Kurata, H., & Mukhopadhyay, S., "Incentivos para el cumplimiento de pedidos confiables para una cadena de suministro de envío a través de Internet", *International Journal of Production Economics*, 2008, pp. 324-334.
- [5] M. Fernández, M. A. Hurtado, & D. Peral, "Comercio Electrónico en la Era Digital: España", *Razón y Palabra*, núm. 45, 2005, disponible en <http://www.razonypalabra.org.mx/antecedentes/n45/fernandez.html>
- [6] S. Sojo Obando, "Comercio electrónico en Costa Rica", *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, vol. 2, núms. 2-3, 2001, pp. 157-171.

- [7] M. Caridad de Navarro, "La plataforma jurídica como elemento imprescindible de la e-logística dentro del comercio electrónico," *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, vol. XIII, núm. 1, 2007, pp. 72-83.
- [8] J. J. Bernal García, S. M. Martínez María-Dolores, S. M., & J. F. Sánchez García. "Estudio de la Potencialidad del Comercio Electrónico en la Región de Murcia mediante un Modelo de Regresión Logística," *Estudios de Economía Aplicada*, vol. 24, núm. 1, 2006, pp. 499-529.
- [9] J. Bartholdi, & K. R. Gue, *La mejor forma para un crossdock*. The Logistics Institute, 2004, pp. 235 - 244.
- [10] J. Bartholdi, & K. R. Gue, "Reducción de los costos de mano de obra en un terminal de crossdocking LTL," *Operations Research*, 2000, pp. 823-832.
- [11] D. Agustina, C. Lee, & R. Piplani, "Una revisión: Modelos matemáticos para la planificación cross docking", *International Journal of Engineering Business Management*, vol. 2, 2010, pp. 47-54.
- [12] EAN International. *Cross docking*. Versión 1. 2000.
- [13] T. Moore, & C. Roy, *Manage inventory in a real-time environment, Transportation & Distribution*, 1998, pp. 68-73.
- [14] G. Álvarez Pérez, J. González Velarde, & J. Fowler, "Crossdocking Just in Time: un enfoque de solución alternativa," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 60, 2009, pp. 554-564.
- [15] B. Schaffer, *Implementing a successful crossdocking operation, IIE Solutions*, 1997, pp. 34-36.
- [16] F. Enderer, C. Contardo, & I. A. Contreras, "Integración de la asignación de puertos y el enrutamiento de vehículos con cross-docking," *Computers and Operations Research*, 2017, pp. 30-43.
- [17] D. Kalenatic, C. A. López Bello, L. J. González Rodríguez, & R. Velasco, "Localización de una plataforma de cross docking en el contexto de logística focalizada utilizando distancias euclidianas," *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 18, núm. 1, 2008, pp. 17-34.
- [18] Y. Li, A. Lim, & B. Rodrigues, "Crossdocking - JIT scheduling with time Windows," *Journal of the Operational Research Society*, 2004, pp. 1342-1351.
- [19] M. Khouja, & A. C. Stylianou, "A (Q, R) inventory model with a drop-shipping option for e-business," *Research Gate*, 2008.
- [20] S. Ma, Z. Jemai, E. Sahin, & Y. Dallery, "El problema del proveedor de noticias con el envío de la gota y las devoluciones," *International Journal of Production Research*, 2017, pp. 1-25.
- [21] W. K. Chiang, & Y. Feng, "¿Minorista o e-tailer? Los precios estratégicos y las decisiones de tamaño económico de lotes en una cadena de suministro competitiva con drop-shipping," *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 61, núm. 11, 2010, pp. 1645-1653.
- [22] S. Netessine, & N. Rudi, "Supply chain choice on the internet," *Management Science*, vol. 52, núm. 6, 2006, pp. 844-864.
- [23] M. J. Khouja, "La evaluación de la opción drop shipping para los minoristas del e-comercio," *Computers & Industrial Engineering*, núm. 41, 2001, pp. 109-126.
- [24] A. Ayanso, M. Diaby, & S. K. Nair, S. K. "Racionamiento de inventario vía drop-shipping en la venta al por menor de Internet: Un análisis de sensibilidad," *European Journal of Operational Research*, 2006, pp. 135-152.
- [25] D. Z. Yu, T. Cheong, & D. Sun, "Impacto de la potencia de la cadena de suministro y de drop shipping en la estrategia de canal de distribución óptima de un fabricante," *European Journal of Operational Research*, 2017, pp. 554-563.
- [26] T. Ala-Risku, M. K. Kärkkäinen, & J. Holmström, "Evaluación de la aplicabilidad de merge in transit," *The International Journal of Logistics Management*, núm. 14, 2003, pp. 67-82.
- [27] K. L. Croxton, B. Gendron, & T. L. Magnanti, "Modelos y métodos para merge in transit," *Transportation Science*, 2000, pp. 1-22.
- [28] E. Gattolin, *Merge in transit, un método de distribución en el entorno industrial*. Tekniska Hogskolan, 2008.
- [29] M. Kärkkäinen, T. Ala-Risku, & J. Holmström, "Incrementar el valor del cliente y reducir los costos de distribución con la fusión en tránsito," *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, núm. 33, 2003, pp. 132-148.
- [30] E. Bjorklund, "Sólo un clic de distancia: la política de la política de comercio electrónico de impuestos de venta," *Sociological Inquiry*, 2017, pp. 97-123.

Caracterización del poder calorífico de la biomasa residual de cacao CCN51 mediante procesos de gasificación anaeróbica y termoquímica

Carlos Augusto **Carvajal-Jara**
Paúl Michael **Tafur-Escanta**
Ángelo Homero **Villavicencio-Poveda**
Eduardo Roberto **Gutiérrez-Gualotuña**

Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
ECUADOR

Tel. (593)992774720
correos electrónicos (emails): cacarvajal1@espe.edu.ec
pmtafur@espe.edu.ec
ahvillavicencio@espe.edu.ec
ergutierrez@espe.edu.ec

Recibido 31-01-2018, aceptado 13-03-2018.

Resumen

Se presenta una propuesta en la que se realiza el análisis respectivo para el procedimiento de caracterización del poder calorífico del gas, producido en una instalación de gasificación tipo *downdraft* y el biogás producido en biodigestores de los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Energía Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Este estudio se realiza con la finalidad de encontrar el mejor proceso para aprovechar el poder energético de la biomasa resultante del procesamiento del cacao CCN51 (Colección Castro Naranjal). La generación del gas producto del uso de estas dos tecnologías (anaeróbica y termoquímica) se analiza mediante cromatografías, realizadas en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador, con las lecturas más altas en poder calórico, determinar el mejor método y procedimiento en la producción de calor de la biomasa residual del cacao CCN51 y su utilidad. El estudio analizó variables como; la relación carbono/nitrógeno, tiempo de retención en el proceso de gasificación anaeróbica; % de humedad, kg de biomasa en la tolva, % de apertura en el Venturi en el proceso de gasificación termoquímica. La investigación se efectuó bajo un diseño experimental de tipo factorial, que arrojó para el análisis nueve muestras con tres repeticiones para el proceso de gasificación anaeróbica y veintisiete muestras con

tres repeticiones para el proceso de gasificación termoquímica, de donde se obtuvo como resultado de un análisis estadístico un poder calorífico inferior y superior de 16,11 MJ/kg y 17,24 MJ/kg en el biogás; 13,36 MJ/kg y 15,85 MJ/kg en el gas de síntesis (syngas), respectivamente.

Palabras clave: cacao CCN51, gasificación anaeróbica, gasificación termoquímica, cromatografía, poder calorífico.

Abstract

(Characterization of the Calorific Power of the Residual Biomass of Cacao CCN51 through Anaerobic and Thermochemical Gasification Processes)

A proposal is presented in which the respectful analysis for the heat generation process of the gas is carried out, a gasification type installation was carried out and the biogas was made in bio digesters of the laboratories of the Faculty of Mechanical Energy Sciences of the University of the Armed Forces ESPE. This study is carried out in order to find the best process to take advantage of the energy power of the biomass resulting from the processing of cocoa CCN51 (Castro Naranjal Collection). The generation of the gas product of the use of these technologies (anaerobic and thermochemical), son analyzed by chromatography, carried out in the laboratories of the Chemical Engineering Faculty of the Central University of Ecuador, with the highest readings in caloric power, to determine the best method and procedure in the production of calories from the residual biomass of cocoa CCN51 and its usefulness. The study analyzed variables such as; the carbon / nitrogen ratio, retention time in the anaerobic gasification process; % of humidity, kg of biomass in the hopper, % of opening in the Venturi in the process of thermochemical gasification. The research was carried out under an experimental factorial design, which yielded for the analysis nine samples with three repetitions for the anaerobic gasification process and twenty-seven samples with three repetitions for the thermochemical gasification process, from which it was obtained as a result of an analysis statistical a lower and higher calorific value of 16.11 MJ / kg and 17.24 MJ / kg in the biogas; 13.36 MJ / kg and 15.85 MJ / kg in the synthesis gas (syngas), respectively.

Index terms: cacao CCN51, anaerobic gasification, thermochemical gasification, chromatography, calorific power.

1. Introducción

Las investigaciones sobre productos y subproductos de cacao inician desde el siglo XX y se refieren al uso alimenticio que se da al cacao, transformándose en el más importante producto de exportación, pero nunca se lo tomó como una posible fuente de producción energética [1].

La cáscara del cacao es una fuente de pectinas como lo indican Calderón y Matos, además, Barazarte y col. identifican el potencial de las cáscaras de cacao como fuente de pectinas. Posteriormente, Franco y col. demuestran que la pectina obtenida de la cáscara de cacao es aceptable para ser empleada en la industria alimentaria de los seres humanos dando un valor agregado a este subproducto [1].

Bermúdez *et al.* puntualizan que la fermentación de cáscara de cacao con *Pleurotus ostreatus*, permite obtener un sustrato remanente de alto valor nutritivo para ser utilizado en dietas alimenticias de animales o como abono orgánico [1].

Según Brenes, la cáscara de cacao puede ser utilizada en la alimentación animal, fertilización de plantas y como materia prima para biodigestores. Estos usos han sido planteados de acuerdo a la composición química de la cáscara: 27% de fibra cruda, 6,25% de proteína cruda con 35,5% de nitrógeno disponible total y 3,2% de potasio. Una tonelada métrica de materia seca de cáscara puede aportar 12 kg de nitrógeno, 2,5 kg de fósforo (P₂O₅), 42 kg de potasio (K₂O), 4,2 kg de Calcio (CaO) y 4,2 kg de Magnesio (MgO) [1].

En un estudio sobre la evaluación energética de las características de la biomasa residual agrícola del cacao Nacional y CCN51 (clon Castro Naranjal) [1], se determina que el poder calorífico inferior y superior de la cáscara del CCN51 es 11,70 MJ/kg y 14,00 MJ/kg.

Los residuos orgánicos que generan las plantas industriales que procesan el cacao en el Ecuador no son aprovechados adecuadamente, lo que genera una gran cantidad de desperdicios que al no ser utilizados se convierten en una fuente de contaminación ambiental debido a que se pueden producir bacterias las cuales pueden generar gas metano, este es el caso de los residuos producidos por las industrias procesadoras de cacao, mismos que pueden ser utilizados en ahorros significativos de uso para la generación energía eléctrica en las agroindustrias [19].

Para el proceso de la industrialización de cacao CCN51, se sabe que en Ecuador se producen 110 000 toneladas anuales de las cuales solo de desecho son cerca del 20% entre cáscara, granza, triturado, maguey, que proporcionan alrededor de 22 000 toneladas anuales de desperdicio (véase Tabla 1).

Tabla 1. Producción ecuatoriana de cacao en quintales y tiempo/hectárea del cacao nacional y el CCN51 [16].

Tipo de cacao	Producción cosechada	
	t/ha	qq/ha
Nacional	0.18	4.0
CCN51	0.93	20.5

La biomasa es la materia viva presente en la superficie terrestre. Los residuos que se generan a partir de procesos de transformación natural o artificial de la materia viva, también constituyen biomasa, misma que es considerada renovable debido a que forma parte del flujo natural y repetitivo de procesos productivos en la naturaleza, siendo las plantas las optimizan los procesos de fotosíntesis para captar energía solar y producirlos en energía [3], [4].

Según la investigación realizada por Escalante, la valoración energética de la biomasa está dada por la cantidad de energía que contiene y que se puede llegar a liberar cuando se somete a un proceso de conversión energética. Una buena parte de la población rural de los países en desarrollo depende de la biomasa como fuente energética. La biomasa suple un 35% en consumo de energía primaria en los países subdesarrollados y alcanza un 14% del total de la energía consumida por el mundo [4].

1.1. Análisis del potencial energético de la biomasa

En su investigación, Escalante indica que los análisis fisicoquímicos son los más importantes para determinar el potencial de la biomasa, estos análisis se expresan en base seca. Por esta razón, lo primero que se debe realizar es la determinación del contenido de humedad de la biomasa. Con el análisis elemental se determina el contenido de compuestos simples que se puede gasificar y aportar energía en las reacciones de combustión. El análisis incluye la determinación del porcentaje de azufre, carbono, hidrógeno y nitrógeno [4].

1.2. Contenido energético

En 1997 Flotats propuso que el contenido energético corresponde a la cantidad de energía disponible en el material, los combustibles son compuestos que poseen carbono, el cual reacciona con el oxígeno, en procesos térmicos o celdas de combustibles, liberando energía en forma de calor. La calidad de estos combustibles dependen de la cantidad de calor que puede liberar en el proceso de conversión energética; esta cantidad de calor referida a la unidad de masa es el poder o potencia calorífica [3].

Al romper los enlaces de los compuestos orgánicos, por combustión directa de biomasa o por combustión de productos obtenidos de ella mediante transformaciones físicas o químicas. Para dar dióxido de carbono y agua como productos finales, se libera energía. La biomasa puede proporcionar energía mediante su transformación en materiales sólidos, líquidos y gaseosos. Los productos procedentes de la biomasa que se utilizan para fines energéticos se denominan, en general, biocombustibles y, específicamente, a todos aquellos, generalmente sólidos y gases, que se aplican con fines térmicos y eléctricos [5].

El contenido energético de un compuesto orgánico es proporcional a las cadenas C-C en su estructura; el contenido energético de la biomasa es menor que el de los combustibles fósiles, debido al contenido en su estructura de las cadenas C-O y C-H. El uso de la biomasa, con elevado porcentaje de humedad, reduce la eficiencia de la combustión, debido a que el calor liberado es para evaporar el agua y no para la reducción química del material [4].

1.3. Ecuaciones de transformación de la biomasa

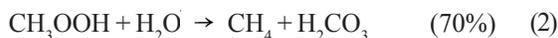
A. Reacciones en el procesos de gasificación anaeróbica

La metanogénesis, última etapa del proceso de digestión anaerobia, consiste en la transformación bacteriana del ácido acético y del ácido fórmico en dióxido de carbono y metano y la formación de metano a partir de dióxido de carbono e hidrógeno [6], [18].

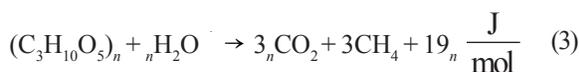
Reducción



Descarbonización del ácido acético



Ecuación de fermentación anaerobia



Donde n es el número de moles. El biogás generador por la digestión anaerobia se compone aproximadamente de 55% de metano y 45% de dióxido de carbono, además de otros contaminantes en trazas [7].

Relación Carbono-Nitrógeno

El carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de alimento de las bacterias formadoras de metano. Por tanto, la

relación Carbono/Nitrógeno (C/N) es adecuada para la obtención de biogás en el proceso de gasificación anaeróbica.

$$\frac{\text{C}}{\text{N}} = \frac{\% \text{C} \times M_{\text{estiércol}} + \% \text{C} \times M_{\text{biomasa}}}{\% \text{N} \times M_{\text{estiércol}} + \% \text{N} \times M_{\text{biomasa}}} \quad (4)$$

La ecuación (4) sirve para el cálculo de la masa de los residuos de cacao CCN51.

El carbono es la fuente energética para los microorganismos y el nitrógeno es un material esencial para la síntesis proteínica. Esta relación expresa la digestibilidad de un determinado material orgánico [4].

La máxima relación de C/N que se debe obtener para una buena producción de biogás no debe superar 30:1 [8].

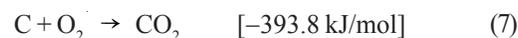
B. Reacciones en el proceso de gasificación termoquímica

La gasificación de biomasa es un complicado proceso que incluye numerosas reacciones químicas que determinan el comportamiento térmico, la composición del gas y las impurezas que acompañan a los compuestos principales. El modelo es descrito por los balances de carbón, hidrógeno, oxígeno, así como las ecuaciones de balance de energía y equilibrio químico [9], [17].

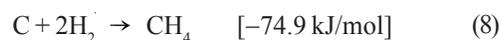
a) Reacciones exotérmicas

Son las principales responsables de aportar el calor necesario para compensar la absorción de calor de las reacciones endotérmicas.

Oxidación



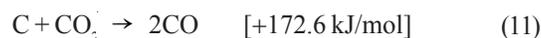
Finalmente las reacciones que son las responsables de la formación de impurezas:



b) Reacciones endotérmicas



Reacción Boudouard

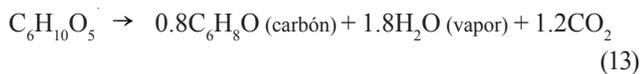


Ecuación de gasificación termoquímica



La reacción dada por (12) se puede describir como la consecución de varios fenómenos: secado, descomposición térmica o pirólisis, combustión parcial, craqueo de gases, vapores, alquitranes y gasificación de los productos finales [10], [11].

Ecuación del proceso de pirólisis



El calor liberado por la reacción dentro de gasificación no se pierde, sino que se aprovecha para la producción de vapor [12].

El gas de síntesis que se genera después del proceso de gasificación contiene una mezcla de gases combustibles y no combustibles, agua, polvo y compuestos de sulfuro como (H_2S) y compuestos de nitrógeno como (NH_3 , HCN) que son indeseables por generar condensados corrosivos y contaminantes en los gases de escape como los NO_x que son grandes contribuyentes al fenómeno de la lluvia ácida [13].

Con base en lo que se ha expuesto anteriormente, en este artículo se detalla una propuesta de caracterización del biogás y syngas de la biomasa residual de CCN51 mediante los procesos de gasificación anaeróbica y termoquímico para la obtención del poder calorífico inferior y superior con lo cual se puede promover eficiencia energética en el sector agroindustrial. De esta manera se puede involucrar a las agroindustrias que se dedican a esta actividad promoviendo un desarrollo sustentable.

El presente artículo está distribuido de la siguiente manera: la fase dos trata el contexto de residuos de biomasa que se tiene en el Ecuador, el análisis del potencial energético, el contenido energético y las ecuaciones de transformación energéticas de los residuos de biomasa. La fase tres especifica el diseño experimental y los parámetros operacionales tanto de variación como los que se mantienen constantes. La cuatro pormenoriza el desarrollo experimental de los procesos de gasificación anaeróbica y termoquímico. La fase cinco expone los resultados cromatográficos, concretamente los datos más altos de poder calorífico inferior y superior. Finalmente, en la fase seis se exponen las conclusiones de esta investigación.

2. Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental 3N dada la necesidad de considerar el carácter no lineal esperado del proceso. Se uti-

Tabla 2. Parámetros operacionales de variación del proceso digestión anaerobia para la obtención del biogás.

FACTORES	VARIABLES	NIVELES		
		ALTO	MEDIO	BAJO
Relación C/N	X_1	30:1	25:1	22:1
Tiempo de retención (días)	X_2	30	25	20

lizan 3 réplicas para considerar la influencia de los factores aleatorios, en primer lugar el error de los medios de medición. En el caso de la digestión anaerobia $N = 2$, para un total de 27 experimentos. En el caso de la gasificación termoquímica en instalaciones tipo *downdraft* $N = 3$, para un total de 81 experimentos. En ambos casos los experimentos se realizaron en condiciones de estacionamiento del proceso, ya que se requiere, precisamente, el comportamiento para el estado estacionario [14].

Para la obtención del biogás, se consideró como factores las variables de proceso de digestión anaerobia que se encuentran en la Tabla 2. Mientras que para la obtención del gas de síntesis se consideró como factores los parámetros operacionales del proceso de gasificación termoquímica expuestos en la Tabla 4.

2.1. Parámetros de variación para la digestión anaerobia

Las variables de operación como pH, temperatura, agitación, nutrientes, tamaño de partícula y la presión atmosférica se mantendrán constantes en ésta investigación.

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

Tabla 3. Variables de operación que se mantendrán constantes en el proceso de digestión anaerobia para la obtención del biogás.

Variables de operación constantes	
pH	7
Temperatura	35 °C
Tamaño de Partícula	2 - 3 mm
Nutrientes	1 % en la mezcla
Presión atmosférica ESPE	0.740 atm

$$PCI = -0.0886705 + 1.13641(tret^{1.316})(RCN^{0.023}) \quad (14)$$

Se obtuvieron los siguientes indicadores de calidad:

R-cuadrado = 88,3151 %

Error estándar de la estimación = 0,832709

$$PCS = -0.0780329 + 1.13858(tret^{1.347})(RCN^{0.024}) \quad (15)$$

Se obtuvieron los siguientes indicadores de calidad:

R-cuadrado = 88,4129 %

Error estándar de la estimación. = 0,899387

donde:

RCN, Relación Carbono/Nitrógeno

tret, tiempo de retención

Las potencias *RCN* y *tret* se obtuvieron a partir de modelos para la búsqueda de las potencias de mejor ajuste correspondiente.

2.2. Parámetros de variación para la gasificación en instalaciones *downdraft*

Las variables de decisión de la investigación, es decir, aquellas que al ser modificadas hacen variar la capacidad calorífica del gas de síntesis para una biomasa dada, son la humedad y la cantidad de biomasa, así como la apertura de la válvula (la que determina el caudal de aire a la zona de combustión).

Se mantuvieron constantes otros parámetros operacionales como la cantidad de carbón vegetal, el tamaño de la partícula de biomasa. La temperatura en el reactor se determina como resultado de los parámetros de operación, y la presión atmosférica.

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

Tabla 4. Parámetros de variación en el proceso de gasificación termoquímica para la obtención del gas de síntesis.

FACTORES	VARIABLES	NIVELES		
		ALTO	MEDIO	BAJO
% de humedad	X_1	15	12	8
Cantidad de biomasa (en kg)	X_2	5	3	1
% Apertura y cierre de la válvula del Venturi	X_3	100	50	25

Tabla 5. Parámetros operacionales que se mantendrán constantes en el proceso de gasificación termoquímica para la obtención de syngas.

Parámetros operacionales constantes	
Cantidad de carbón vegetal	3 kg
Temperatura en el reactor de inicio	600°C
Tamaño de partícula	2-3 mm
Presión atmosférica ESPE	0.740 atm

$$PCI = 1271.75 - 1269.99Av^{0.005} + 1258.09(Av^{0.005})(Cbio^{0.023}) + 0.239273Cbio - 1246.12Cbio^{0.023} - 0.196226Hu \quad (16)$$

Se obtuvieron los siguientes indicadores de calidad:

R-cuadrado = 87,2317 %

Error estándar de la estimación = 0,239817

$$PCS = 921.142 - 919.143Av^{0.008} + 916.82(Av^{0.008})(Cbio^{0.022}) + 0.259738Cbio - 902.391Cbio^{0.022} - 0.231425Hu \quad (17)$$

Se obtuvieron los siguientes indicadores de calidad:

R-cuadrado = 90,2694 %

Error estándar de la estimación = 0,241529

donde:

Av, apertura de la válvula del Venturi del gasificador

Cbio, cantidad de biomasa

Hu, porcentaje de humedad de la biomasa

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

3. Desarrollo de los procesos de gasificación

3.1. Proceso de digestión anaerobia

Para esta investigación se construyeron 6 biodigestores con las siguientes características; como muestra la figura 3a.

- Volumen total de 19 lt
- Agitador de hélice manual
- Resistencia térmica variable de hasta 50°C

Un parámetro que se tomó en cuenta al momento de formar el lodo (biomasa cacao CCN51, estiércol vacuno y agua) es el porcentaje humedad $\geq 85\%$ como lo propuso Ortega [15]. El porcentaje de humedad de la biomasa debe oscilar entre 8-12%.

Descripción del proceso

1. Secado y triturado de la Biomasa con contenido de humedad del 8-12%, como se indica en la figura 1 b).
2. Se realizó el cálculo de la relación C/N para la obtención de las masas de cacao y estiércol para la mezcla.
3. Se estableció la relación entre la mezcla y el porcentaje de urea incluido.
4. Con el uso de una balanza se pesaron las masas de la mezcla de biomasa, estiércol y urea.
5. Colocación de agua en la mezcla y homogenización de la misma.
6. Colocar la tapa con el agitador y resistencia.
7. Sellar herméticamente para evitar fugas.

Cálculo de las masas de cacao CCN51 y estiércol

$$\rho_{lodo} = \frac{m_{lodo}}{V_T} \quad (18)$$

donde:

V_T volumen total del biodigestor

ρ_{lodo} densidad del lodo

m_{lodo} masa del lodo

$$M_s = M_h \frac{100 - xwi}{100} \quad (19)$$

donde:

M_s masa en base seca

M_h masa en base húmeda (m_{lodo})

xwi , porcentaje de humedad inicial lodo (85%)

para valores de $V_T = 12.60$ l, $\rho_{lodo} = 1174$ kg/m³. Al reemplazar en (4) se obtienen las relaciones C/N vs masa en kg de biomasa y estiércol vacuno (véase Tabla 6).

Tabla 6. Relaciones C/N vs masa en kg de biomasa y estiércol vacunos.

	RELACIÓN C/N		
	22/1	25/1	30/1
Masa (kg)			
Biomasa	1	0.6	1.24
Estiércol	1.25	1.65	1.01

3.2. Proceso termoquímico

Se utilizó el gasificador tipo *downdraft* de 10 kW como se muestra en la figura 2a. Para el proceso se requirió un secado de la biomasa a utilizar inferior al 18% de humedad (véase Fig. 2b).

Descripción del proceso

1. Secado y triturado de la Biomasa con contenido de humedad del 8-15% como se muestra en la figura 2b.
2. Limpieza del gasificador de alquitrán, restos de biomasa y carbón no combustionado.
3. Colocación de empaques y sellado.
4. Alimentación y encendido de carbón vegetal hasta las temperaturas de funcionamiento como se indica en la figura 3a.
5. Encendido de la balanza digital para saber la cantidad exacta de biomasa que se va a colocar.
6. Se espera a que el la temperatura de reducción alcance los 600°C.
7. Se prueba con una antorcha en la tobera de salida para comprobar que ya se produce el gas, una vez que este comienza a generarse, se enciende y se toma la muestra como se indica en la figura 3b.

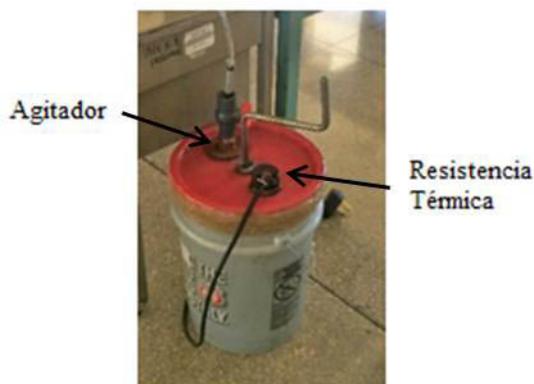


Fig. 1. Biodigestor, triturado y medición de la humedad de la biomasa.

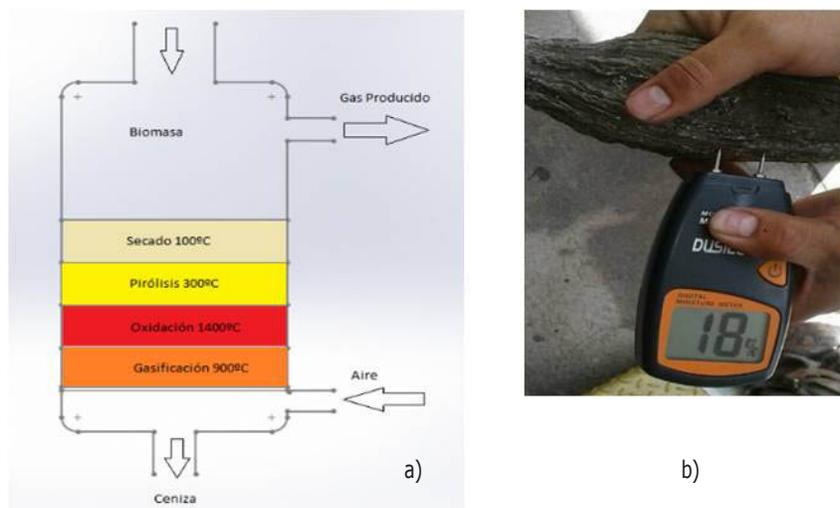


Fig. 2. Gasificador tipo downdraft de 10 kW y medición del porcentaje de humedad de la biomasa.

4. Resultados

Al graficar la composición química del gas de síntesis (véase Figura 4), encontramos grandes cantidades de N_2 , siendo el más representativo en lo que a poder calorífico se refiere al H_2 , adicionalmente metano (CH_4) y etano (CH_3) en bajas cantidades.

Se puede observar que el gas de síntesis se relacionó con el poder calorífico. La muestra correspondiente y los parámetros de variación (% de humedad, kg de biomasa, % de apertura y

cierre de la válvula del Venturi) obteniendo el más alto valor de poder calorífico para la muestra número 17 con 8% de humedad, 5 kg de biomasa y el 25% de apertura de la válvula del Venturi.

El gráfico muestra la composición química del gas, donde se encuentra una gran presencia de CO y CO_2 , siendo el más representativo en lo que a poder calorífico corresponde al metano (CH_4), adicionalmente Carbono (C), Hidrógeno (H_2) y Sulfuro de Hidrógeno (H_2S) en bajos niveles.

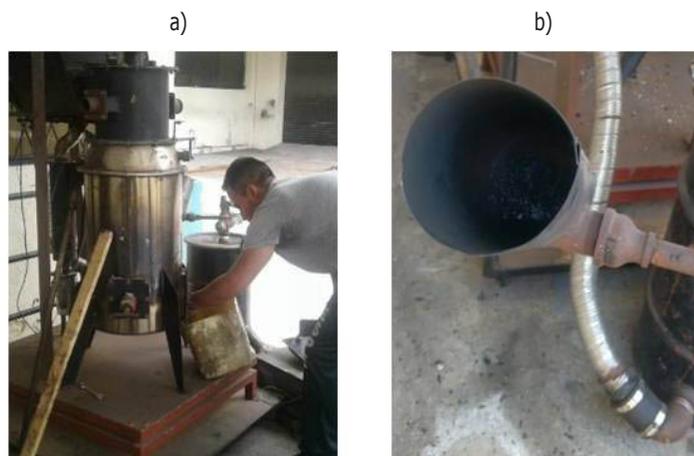


Fig. 3. Alimentación del carbón vegetal y tobera de salida de gas de síntesis.

Tabla 7. Resultados de la cromatografía del gas de síntesis con mayor poder calorífico.

Gas de síntesis Cacao CCN51	
Hidrógeno	10.681210%moles
Oxígeno	14.688000%moles
Nitrógeno	26.226000%moles
CO	4.6066000%moles
Metano	0.4815000%moles
CO_2	6.2646000%moles
Etano	0.1265000%moles
Agua	0.3505750%moles
N-I	36.575015%moles
PCS	15,85 kJ/kg
PCI	13,36 kJ/kg

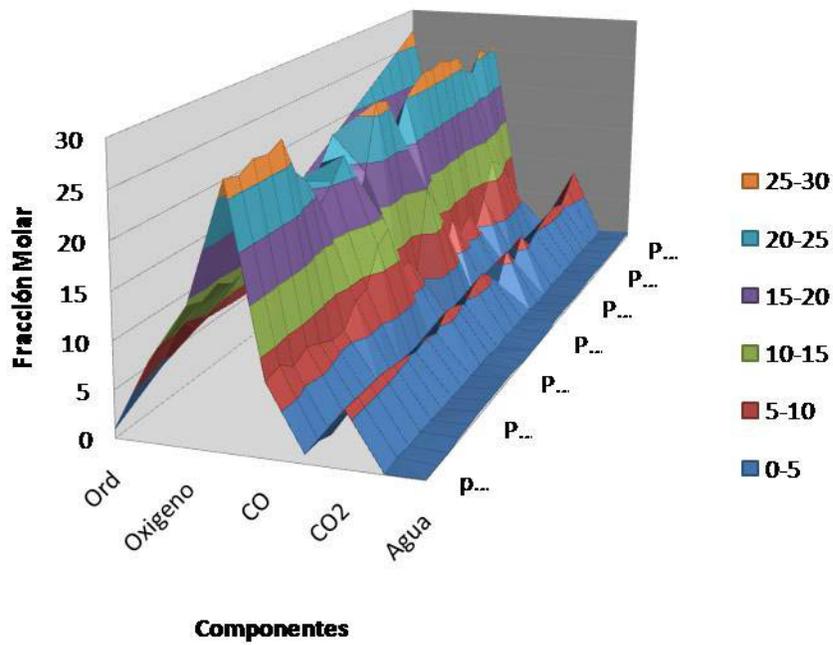


Fig. 4. Composición química del syngas del cacao CCN51.

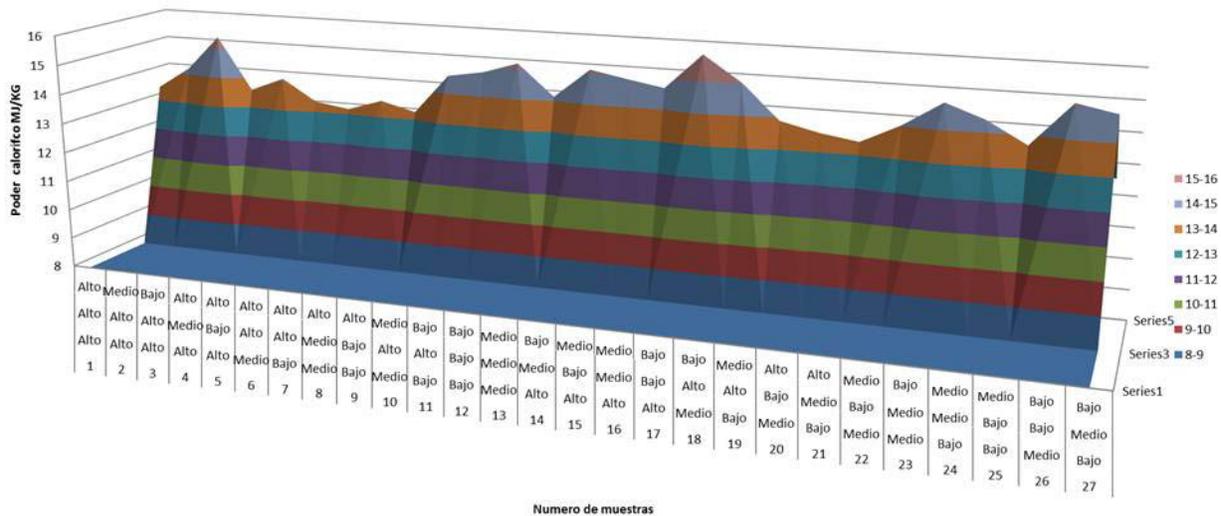


Fig. 5. Poder calorífico-número de muestras y variables syngas de cacao CCN51.

Tabla 8. Resultados de la cromatografía de biogás con mayor poder calorífico.

Biogás Cacao CCN51	
Hidrógeno	0,12819817%moles
Oxígeno	11,7940427%moles
CO	34,6696908%moles
Metano	20,0900526%moles
CO ₂	25,8269981%moles
H ₂ S	0,11678647%moles
Carbono	7,37423108%moles
N-I	0,30699000%moles
PCS	17,24 kJ/kg
PCI	16,11 kJ/kg

La Fig. 7 muestra la composición química del gas, donde se encuentra una gran presencia de CO y CO₂, siendo el más representativo en lo que a poder calorífico corresponde al metano (CH₄), adicionalmente Carbono (C), Hidrógeno (H₂) y Sulfuro de Hidrógeno (H₂S) en bajos niveles.

En la Figura 6, se muestra la relación del poder calorífico, la muestra correspondiente, y los parámetros de variación (variables), (Relación Carbono/Nitrógeno y el tiempo de retención) obteniendo el más alto valor de poder calorífico para la muestra número 5 con Relación C/N de 25:1 y un tiempo de retención de 30 días.

Se encontró que el poder calorífico superior e inferior del gas de síntesis es de 15.85 MJ/kg y 13.36 MJ/kg respectivamente, mientras que el poder calorífico superior e inferior de biogás

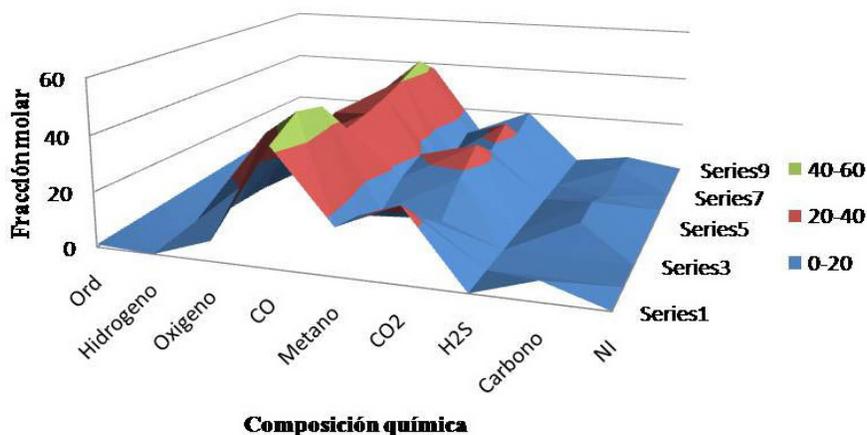


Fig. 6. Composición química del biogás del Cacao CCN51.

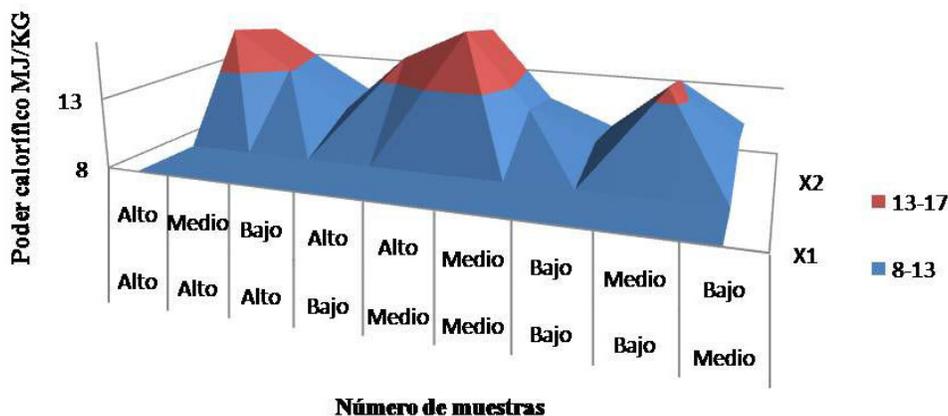


Fig. 7. Poder calorífico-número de muestras y las variables del biogás del Cacao CCN51.

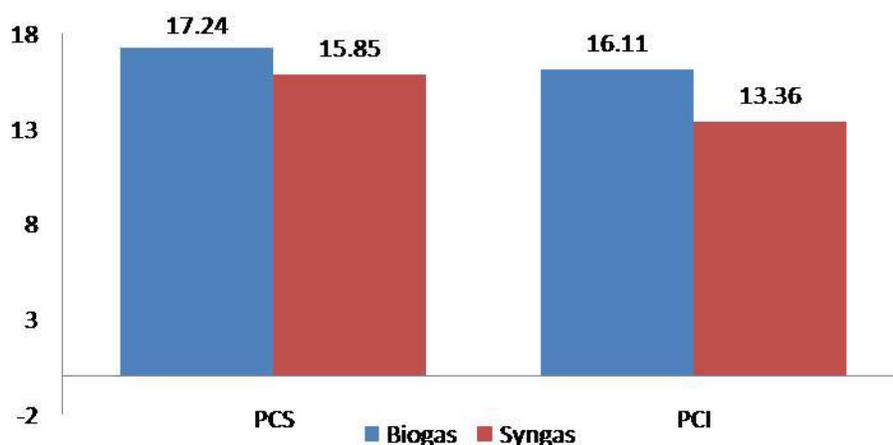


Fig. 8. Comparación del PCS y PCI obtenido por el gas de síntesis y biogás.

es de 17.24 MJ/kg y 16.11 MJ/kg respectivamente lo que representa que el biogás es superior al gas de síntesis en un 8.95%.

5. Conclusiones

- Se determinó que los residuos de cacao CCN51, posterior a pasar por procesos de gasificación anaeróbica y termoquímica, producen gases combustibles que podrían ser utilizados como una alternativa de generación energética dentro de aplicaciones domésticas y agroindustrial debido a que tanto el gas de síntesis como el biogás sirven para la generación eléctrica y sistemas de combustión de alta eficiencia.
- La investigación demostró que el valor más alto de poder calorífico del biogás generado por los residuos de cacao, en las condiciones preestablecidas de experimentación fue 17.24 MJ/Kg. En cambio el valor más alto del poder calorífico generado por el gas de síntesis fue de 15.85 MJ/kg, obteniéndose un 8.95% mayor de poder calorífico del biogás frente al gas de síntesis.
- Se estableció que los procesos de producción del biogás y del gas de síntesis son diametralmente distintos en tiempo y forma de producción. El biogás requiere un tiempo mínimo de 15 días para su producción, mantener constante el parámetro de relación C/N y añadir biomasa se genera el biogás de manera continua el cual es almacenado en recipientes adecuados y temperaturas controladas donde los costos de construcción del biodigestor son bajos. En cambio el gas de síntesis requiere de un reactor donde los costos de construcción son altos para su producción, se requiere un tiempo mínimo de 30 minutos para su calentamiento y empezar a producir gas lo que hace que este proceso sea más simple ya que el momento cuando disminuye la

producción de gas de síntesis se abre la tolva y se ingresa más biomasa y el proceso sigue de manera continua.

- Dentro de la investigación se observó que para la generación óptima en las condiciones preestablecidas de experimentación, el poder calorífico en el caso del biogás, los parámetros fueron la relación C/N de 25:1 y un tiempo de retención de 30 días. Para el gas de síntesis los parámetros óptimos de poder calorífico para nuestra investigación fueron: bajo % de humedad de la biomasa (8%), alta cantidad de biomasa (5 kg) y bajo % de apertura de la válvula del Venturi (25%), con estos parámetros de variación se encontraron los valores de poder calorífico más alto para el biogás y el gas de síntesis.
- De la investigación realizada se determina que el biogás sería el más aconsejable para el uso doméstico en los sectores marginales de la costa y el oriente, donde los campesinos no tienen la posibilidad de acceder al servicio continuo de gas licuado de petróleo (GLP), en cambio el gas de síntesis puede fácilmente ser generado por el sector agroindustrial que cuenta con todos los elementos y técnicas para producirlo. El Ecuador al ser un país agrícola por naturaleza brinda un aporte y desarrollo en el uso tecnificado de la biomasa para un mejor aprovechamiento del recurso.
- Como resultado del procesamiento de los datos experimentales se obtuvieron modelos matemáticos para la estimación de los poderes caloríficos inferior y superior tanto para el proceso de digestión anaerobia, como para el de gasificación termoquímica en instalaciones *downdraft*.
- En las ecuaciones obtenidas el error no supera en ninguna de ellas el 7% del valor estimado para un 97% de probabilidad.

Agradecimientos

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, al Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, a la Carrera de Ingeniería

ría Mecánica, al Laboratorio de Conversión de Energía, a los docentes, tutores, estudiantes y trabajadores por su importante ayuda en el desarrollo y concreción del presente trabajo de Investigación. En fin, agradecer a todos quienes colaboraron desinteresadamente.

Es necesario dejar constancia del más profundo agradecimiento y reconocimiento, al Laboratorio de investigación, de la Facultad la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador, por su invaluable apoyo en el cometimiento de este Proyecto de Investigación.

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

Referencias

- [1] J. Sánchez. *Evaluación energética de cáscaras de cacao nacional y CCN51*. Tesis de maestría. Universidad de Cuenca, Cuenca- Ecuador, 2013.
- [2] Ministerio de Agricultura y Ganadería Ecuador. *Sistema de Información Pública Agropecuaria* [página web]. 2015. Disponible en <http://sinagap.agricultura.gob.ec/produccion-cacao>.
- [3] X. Flotats, E. Campos. & A. Bonmati. *Aprovechamiento energético de residuos ganaderos*. 1997. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/266218474_APROVECHAMIENTO_ENERGETICO_DE_RESIDUOS_GANADEROS
- [4] H. J. Escalante. *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia*. Universidad Industrial de Santander. 2011. Disponible en <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1058>
- [5] A. Romero. "Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles," *Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat.*, vol. 104, núm. 2, 2010, pp. 331-345. Disponible en <http://www.rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>
- [6] A. Damien, A. *La biomasa fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. París: Dunod. 2010.
- [7] G. Gutiérrez, I. Moncada, M. Meza, A. Félix, J. Balderas & P. Gortáres, "Biogás: una alternativa ecológica para la producción de energía", *Ide@s CONCYTEG*, vol. 7, núm. 85, 2012, pp. 881-894. Disponible en <http://doczz.es/doc/1297513/biog%C3%A1s--una-alternativa-ecol%C3%B3gica-para-la-producci%C3%B3n-de-e>.
- [8] E. Taiganides, *Biogas: Recuperación de energía de los excrementos animales*, Malasia: Agropecuaria Hemisferio Sur. 1981.
- [9] M. L. Souza-Santos, M.L. (2004). *Solid Fuels Combustion and Gasification Modeling, Simulation, and Equipment Operation*. State University at Campinas Sao Paulo, 2004.
- [10] P. Basu, *Biomass Gasification and Pyrolysis*. Academic Press, 2010.
- [11] M. Crocker, *Thermochemical conversion of Biomass to Liquid Fuels and Chemicals*. RCS Energy and Environment. 2010. Recuperado de <http://pubs.rsc.org/en/content/ebook/978-1-84973-035-8/>
- [12] A. Rodríguez, A. Zaleta, A. Olivares & F. Torres, *Análisis y diseño de un sistema de gasificación de biomasa*, Memorias del XVI Congreso Internacional anual de la SOMIM. Disponible en http://somim.org.mx/memorias/memorias2010/A5/A5_64.pdf
- [13] C. Estrada, & A. Zapata (2004). "Gasificación de biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor," *Scientia Et Technica*, vol. 10, 2004. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84911685028>> ISSN 0122-1701
- [14] L. Aguirre, *Evaluación y caracterización energética del gas de síntesis de biomasa con poder calorífico alto, medio y bajo, producto del proceso de gasificación downdraft de 10 kw*, (tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador, 2017.
- [15] M. Ortega, *Energías Renovables*. Madrid: Paraninfo, 2010.
- [16] A. Gonzales, *Modelo de empresa asociativa acopiadora de cacao fino de aroma para los productores del cantón Quinsaloma* (tesis de maestría). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2012.
- [17] A. Schlegel, *Mauss Proceedings, 25th Symposium (International) on Combustion*. The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, 2013.
- [18] A. Seadi, T., Ruiz, D., Prassl, H., Kottner, M., Finsterwaldes, T., Volke, S. and Janssens, R. *Handbook of Biogas*. University of Southern Denmark, Esbjerg, 2008. Disponible en [http://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1437252](http://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1437252)
- [19] WWF, Asociación para la defensa de la naturaleza [página web], 2018. Disponible en <http://www.wwf.es/>

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

Procesamiento de señal de video analógica con optimización de ancho de banda para ser transmitido por internet

Carlos R. Soria-Cano
Salvador Álvarez-Ballesteros

Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (Zacatenco)
Ciudad de México, CP 07738.
MÉXICO

correos electrónicos (emails):
rcanos02@hotmail.com
salvarez@ipn.mx

Recibido 16-09-2016, aceptado 13-12-2017.

Resumen

En este artículo se detalla el procesamiento de la señal de video y audio analógico para ser transmitidos como stream de video sobre IP, respetando cualquier información de metadata en cada procesamiento de la señal, tomando en cuenta desde que se realiza una grabación en banda base, señal analógica y su conversión a señal digital con audio embebido (SDI), en calidad estándar SD-SDI y en alta definición HD-SDI, así como la selección del proceso de compresión para reducir y optimizar el ancho de banda de cada señal; se analiza códec MPEG y H.264, se realizan pruebas de ancho de banda con diferentes tasa de bits de compresión para tener calidad de señal, sin *lipsync* y la menor latencia posible. Para poder transmitir un mayor número de señales en normas de calidad de video se realiza una multiplexación; obteniendo una señal ASI (*Asynchronous Serial Interface*). Se muestra la forma en que el stream puede ser transmitido mediante la nube (internet) para que el usuario final lo pueda observar en diferentes dispositivos móviles (smartphone, tablet, pantalla, PC, laptop).

Palabras clave: señal de video analógico, señal de video SD.SDI, HD-SDI, MPEG, H.264, señal de video ASI.

Abstract (Video Analog Signal Processing with Bandwidth Optimization to Broadcast by Internet)

This article describes the processing of the video analog signal and audio to broadcast as stream video over IP is detailed, taking into account since recording is done in baseband analog signal and converting it to a digital signal with embedded audio (SDI), standard quality SD-SDI and high definition HD-SDI, it shows the selection of the compression process to reduce and optimize the bandwidth of each signal; MPEG and H.264 were analyzed, bandwidth tests are performed with different compression bit rate to have signal quality without lipsync and the lowest possible latency. In order to transmit a greater number of signals in video quality standards multiplexing is performed; obtaining a signal ASI (asynchronous serial interface). The way the stream can be transmitted through the cloud (Internet) so that the end user can observe on various mobile devices (smartphone, tablet, screen, pc, laptop) is shown.

Index terms: analog video signal, video signal SD.SDI, HD-SDI, MPEG, H.264, video signal ASI.

1. Introducción

El mundo está experimentando un espectacular cambio en la recepción de televisión. Las cifras fueron reveladas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT, que hace un balance de los servicios de comunicaciones en 157 países. El informe indica que en los países desarrollados, hasta 91 por ciento de todos los hogares con TV reciben las señales a través de tecnologías digitales, gracias a los avances efectuados en el paso a la televisión por IP[1].

Para entender cómo funciona la transmisión de video y audio se necesita comprender cada uno de los procesos que se llevan a cabo en la señal original. Un primer paso clave en la prestación de servicios de video y audio es la conversión de las señales de voz y video analógicos en un formato digital (digitalización).

1.1. Señal en banda base analógico

Se denomina banda base al conjunto de señales que no sufren ningún proceso de modulación a la salida de la fuente que las origina, es decir son señales que son transmitidas en su frecuencia original, dichas señales se pueden codificar. Por ello, podemos decir que la banda base describe el estado de la señal antes de la modulación y de la multiplexación y después de la demultiplexación y demodulación. Las ondas de video y sonido son analógicos en su origen, son capturadas por una cámara y un micrófono y convertidas en una pequeña variación analógica de tensión denominada señal de video y señal de audio. Esta tensión varía de manera continua a medida que cambia el volumen, frecuencia del sonido, la luminancia y el croma [2].

1.2. Conversión de video y audio analógico a digital

Para convertir la señal de componente analógica en un valor digital, enviamos la señal analógica en un convertidor analógico a digital (ADC), el cual convierte la forma de onda analógica en una palabra binaria, en este caso una palabra binaria de 10 bits. La figura 1 se muestra de manera resumida la conversión analógica a digital.

2. Señal de video Digital SD/SDI y HD/SDI

Serial Digital Interface (SDI) es una interfaz de video digital estandarizada. Utilizada principalmente para la transmisión de señal de video sin compresión (video RGB) y sin encriptación (incluyendo opcionalmente audio). También se utiliza para la transmisión de paquetes de datos. Las especificaciones de este formato están recogidas en la recomendación ITU-R-BT 656 para la transmisión de señales de vídeo en componentes digitales, utilizando un flujo de 270 Mbps (véase Figura 2). Esta cifra se deriva de [3]:

- Cuadros (o frames) por segundo
- Líneas de cada cuadro
- Muestras de cada línea
- Bits de cada muestra

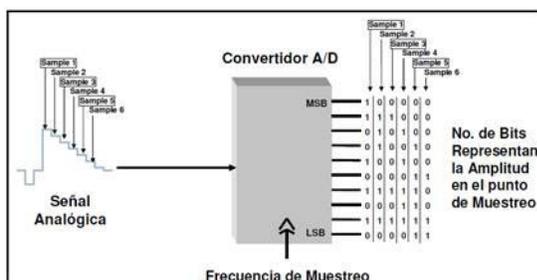


Fig. 1. Convertidor A/D.

Si la señal original de video es PAL (*Phase Alternating Line*, línea de fase alternada, nombre con el que se designa al sistema de codificación utilizado en la transmisión de señales principalmente en Europa) tendrá un número de líneas: 625 de las cuales las líneas activas (resolución vertical efectiva): 576, frecuencia de cuadro: 25 Hz (40 ms), frecuencia de campo: 50 Hz (20 ms, de los cuales 18,4 ms activos). Si la señal original de video es NTSC (llamado así por las siglas de *National Television System Committee*, Comisión Nacional de Sistema de Televisión, utilizado principalmente en América) cada trama o cuadro se compone de dos campos, cada uno de los cuales constan de 262,5 líneas de exploración, para un total de 525 líneas [4].

La tasa de transferencia de una señal PAL es 177 Mbps, señal NTSC es 143Mbps, señal digital estándar 270Mbps y una señal digital de alta definición es 1.485 Gbps. De ahí la necesidad de reducir el ancho de banda para poder ser enviado por internet, con una tasa de transferencia promedio de 3 Mbps. Para ello se necesita comprimir la señal, teniendo especial cuidado en la calidad de la señal.

3. Compresión MPEG 2 vs H264

Se necesita compresión porque sin compresión una imagen bitmap = 2,300,000 bytes, mientras que un archivo comprimido como imagen JPEG = 159,000 bytes; es decir, la reducción de información es de 14.5 veces solo para una imagen.

Con compresión MPEG2:

- ~39MB por minuto de video comprimido
- Película completa (~120 minutos) en 1 DVD.

Sin compresión MPEG2

- ~11GB por minuto de video sin compresión
- Película completa (~120 minutos) en ~280 DVDs.

MPEG-4 AVC, también llamado H.264 y MPEG-4Parte 10, está siendo rápidamente adoptado en todos los segmentos de la industria de video en red, ya que ahorra aproximadamente el

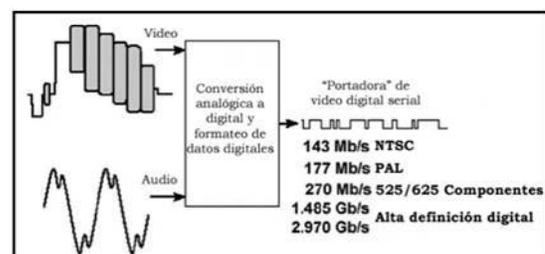


Fig. 2. Tasa de bits de la señal de video.

60% del ancho de banda [6]. Es ahora el estándar aceptado para las comunicaciones, difusión, y las aplicaciones de *streaming*. Se utiliza dentro de Flash, Silverlight, QuickTime, iPhones, iPod, PlayStation, Nero, HD DVD, y las tecnologías de discos Blu-ray.

Un grupo de imágenes (GOP) es el número de fotogramas de un I-Frame a otro. Así, en un GOP, hay un marco completo, y un número de fotogramas que predicen el movimiento asociado con ese fotograma completo. Los niveles más altos de compresión (menos ancho de banda para un clip determinado) se logran a través de mayor tamaño de GOP y predicción de cuadro más profundo (es decir, utilizando una estructura de compresión IBP en lugar de una estructura de IP), ver figura 3 Sin embargo, las compresiones más profundas requieren más tiempo para codificar, resultando en latencias más altas [5].

4. Codificación IP

Para poder enviar por IP la señal de video SDI (audio y video digital embebido), la señal debe de ser comprimida para utilizar el menor ancho de banda posible sin perder la calidad de video y audio. El codificador de señal SDI al estándar de compresión H.264 tiene que tener FEC (factor de corrección de errores) para no tener pérdidas de bits considerables que afecten la calidad de la señal.

Dentro de la configuración del codificador se pueden reproducir secuencias H.264 en resolución completa y plena velocidad de fotogramas de hasta 15 Mbps, al reducir la escala y la velocidad de fotogramas se puede emitir secuencias tan pequeñas de hasta 150 kbps. Dentro del estándar se tiene que verificar que los servicios de METADATA no se pierdan en la codificación. Dentro del Stream de video se pueden tener todos los servicios de datos auxiliares, como *cue tone* (audio), GPI, V-chip, *closed caption*, *raiting*, estos se encuentran dentro de la señal en líneas reservadas para datos auxiliares. Estas líneas no son visibles para el usuario [7].

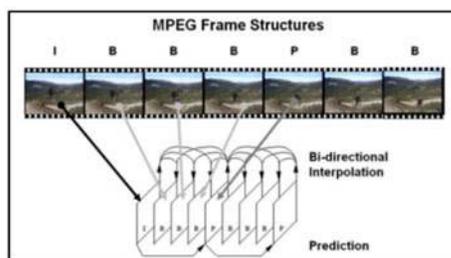


Fig. 3. Estructura MPEG.

La señal H.264 puede ser transmitida en multicast, donde cualquier usuario que este dentro de la red podrá ver la señal. Si se requiere poner diferentes tipos de usuario y contraseña, para que usuarios no permitidos no puedan ver la señal, se necesita un servidor. Con él se podrán administrar las señales: tener una lista de programación de la señal en vivo o del storage disponible en el disco. Vista previa de la señal, cambio de señal (canal). Se tendrá almacenado videos o películas, para que el usuario las pueda ver cuando lo requiera (video bajo demanda). Se tiene una encriptación AES para seguridad de la red.

Los administradores pueden ajustar la característica operativa del cualquier usuario pueden enviar mensajes a todos los usuarios que visualizan la señal. Informes de audiencia, permite a los administradores tener el log exacto de cualquier usuario con detalle. Por ejemplo, pueden saber si alguien tiene *mute* o minimiza la ventana de visualización [8].

Un aspecto importante, principalmente para señales de video en vivo es la latencia, desde el lugar de grabación hasta el dispositivo del usuario final, con este tipo de codificadores se tiene una latencia de 70 milisegundos de extremo a extremo (véase Figura 4).

Se tiene un equipo codificador HAIVISION para poder comprimir la señal de video HD/SDI. Los parámetros que se deben de configurar con respecto al video son:

Input: BNC (SDI)

Input Format: HD o SD dependiendo de la señal.

Color space: Auto

Aspect Ratio: 16:9

Display Logo: Ok

Eneable: High

Profile: Default

Resolución: 1920*1080

Framing: IP

GOP y Bitrate son lo que determina el ancho de banda del video.

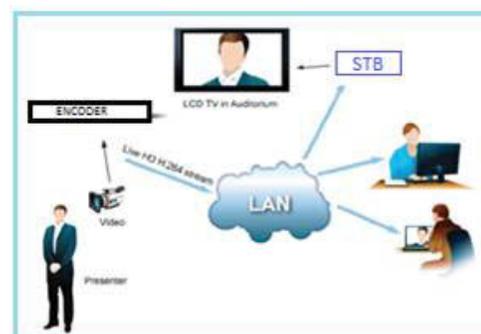


Fig. 4. Diagrama de red.

5. Optimización de ancho de banda

Como se ha estudiado los *settings* que afectan principalmente al ancho de banda son: bit rate de video, de audio y GOP. Se realizarán pruebas modificando cada uno de estos parámetros para obtener la optimización, y que el usuario final pueda observar el streaming en normas de calidad y video. La metodología consiste en dejar fijo el bitrate del video y audio y comenzar a mover el GOP para obtener una latencia por debajo de los 100 ms. Después dejar fijo el bitrate de video y el GOP y modificar el bitrate de video para obtener el menor valor sin que la señal presente problemas de *Lipsync*. Por ultimo se deja fijo el GOP y el bitrate de audio y se modifica el bitrate del video para obtener una señal con normas de calidad.

Parámetros configurados:

GOP: 10
Resolución: 1920*1080
Tasa de Muestreo: 48 kHz
Bitrate de video: 500 kbps
Bitrate de audio: 128 kbps
Ancho de banda utilizado 750 kbps.

La figura 5 muestra la salida de video con la configuración antes mencionada del codificador.

En la figura 5 se nota que el video no está dentro de normas de calidad, se observan macroblocking y digitalizaciones constantes. Al revisar la señal en un monitor forma de onda Tektronix WFW 8300, se dice que está en normas de video cuando cumple con las especificaciones marcadas en ITU-R BT. 1700 [9].

Se observa una señal fuera de normas en Luminancia (mayor de 700mV), en crominancia se encuentra en niveles +/-350 mV, figura 6.

En la figura 7 se observa la señal en niveles de Luminancia pero baja en crominancia, por lo cual la señal se ve opaca y sin color.



Fig. 5. Salida de codificador HAIVISION.

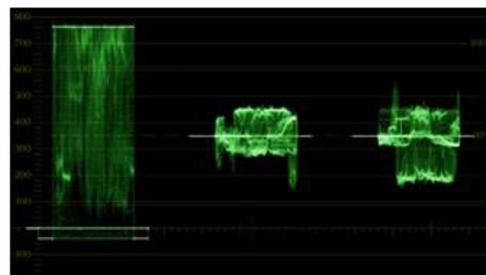


Fig. 6. Señal de video con luminancia saturada.

En la figura 8 se observa la señal configurada con el convertidor de normas, en la cual tiene los niveles en el rango permitido.

Parámetros configurados para siguiente prueba:

GOP: 100
Resolución: 1920*1080
Tasa de Muestreo: 48 KHz
Bitrate de video: 1000 Kbps
Bitrate de audio: 64 Kbps
Ancho de banda utilizado 1.3 Mbps.

La figura 9 es salida del codificador con los parámetros antes configurados.



Fig. 7. Señal de video con baja ganancia en crominancia.

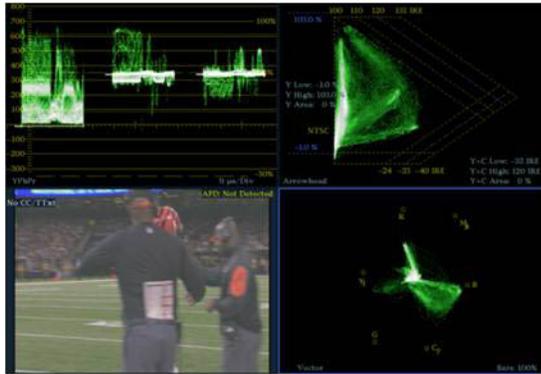


Fig. 8. Salida de codificador HAIVISION.

En la figura 9 se nota que el video no está dentro de normas de calidad, se observan cromas pastosos y digitalizaciones esporádicas, al aumentar el GOP aumenta la latencia (2 segundos con respecto al video original), esto significa que el video tiene un delay de 2 segundos con respecto a la entrada del codificador.

Parámetros configurados:

GOP: 15

Resolución: 1920*1080

Tasa de Muestreo: 48 kHz

Bitrate de video: 1700 kbps

Bitrate de audio: 128 kbps

Ancho de banda utilizado 2.3 Mbps

En la figura 10 se observa señal de video salida de HAIVISION. Se nota que el video está dentro de normas de calidad. Se tiene latencia baja (70 segundos) pero se tiene un ancho de banda de 3.1 Mbps, este AB se puede optimizar sin perder calidad en imagen.

Se realizan pruebas cambiando cada uno de los parámetros para obtener una señal comprimida en H.264 dentro de nor-



Fig. 9. Señal de video comprimida, salida del codificador HAIVISION.



Fig. 10. Señal de video salida HAIVISION.

mas de calidad, con un bajo ancho de banda, baja latencia (delay de video de salida con respecto a video de entrada).

5.1 Resultados

Después de realizar varias pruebas con diferentes parámetros, la optimización con respecto ancho de banda y calidad de imagen tienen que ver principalmente con el bitrate del video, se obtiene video sin digitalizaciones y en normas de video [8], al optimizar el GOP obtenemos una latencia menor a 70 ms sin tener perdida de información en el video (digitalizaciones), al optimizar el bitrate de audio se tiene el video y el audio emfasado sin presentar problemas de *Lipsync* (audio adelantado o atrasado con respecto al video). La configuración optimizada queda de la siguiente manera.

Parámetros óptimos:

GOP: 15

Resolución: 1920*1080

Tasa de Muestreo: 48 KHz

Bitrate de video: 1500 Kbps

Bitrate de audio: 128 Kbps

Ancho de banda utilizado 2 Mbps

La figura 11 muestra video configurado con los parámetros anteriores.



Fig. 11. Señal de video salida HAIVISION.

Auxiliary Data Status		
Anc Data:	Present	
CEA608:	VBI Auto Line 21	Services: CC---- TX1----
CEA708:	Not detected	
Teletext:	Not detected	XDS: Present
CDP:	Not detected	RP207:
V-Chip Rating:	(US TV) TV-None	
TSID:	Not detected	
CGMS-A:	Not detected	Broadcast Flag: Not detected
SMPTE 2016 AFD:	169 15 - Code is 1111 - AR is 169	
Desc:	Full Frame 169 (all 4:3 center) in 169 frame	
Bar 1:	No valid Bar data found	
Bar 2:	No valid Bar data found	

Fig. 12. Metadata.

La señal de video SD/SDI al ser codificada con codificación H.264: se comprime la señal a 2Mbps, con todas las características de video, audio y metadata. Al decodificar el streaming para volver a tener el video original, se conservan todos los servicios de metadata: Cue tone (Audio), GPI, V-chip, Closed Caption, Raiting, AFD como se muestra en el monitor forma de onda de la figura 12.

6. Conclusiones

En este trabajo se ha propuesto el uso de la red para la transmisión de cualquier tipo de video y audio en diferentes formatos, códec, wrapper, realizándole la conversión y compresión para ser transmitidos por IP, y posteriormente aplicando el proceso inverso para recuperar la señal original y poder ser reproducida en el dispositivo electrónico que se desee.

Para broadcast es una alternativa confiable, se realizaron diferentes tipos de pruebas, configurando cada uno de sus parámetros y modificándolos para obtener su mejor rendimiento ancho de banda, lipsync, latencia. Se obtienen los parámetros

optimizados: GOP de 15, resolución: 1920*1080, tasa de muestreo 48 KHz, bitrate de video = 2500 Kbps. Con los parámetros utilizados se obtiene un ancho de banda reducido de 2Mbps, una latencia baja (menor a 70 milisegundos con respecto al video original), luminancia y crominancia en normas de calidad de video, no se tienen problemas de *Lipsync*, no existen digitalizaciones ni macroblocking. Se realiza la codificación sin perder los servicios embebidos en metadata: *cue tone* (audio), GPI, V-chip, *closed caption*, *raiting*, AFD.

Referencias

- [1] International Telecommunication Union, *ITU-T Recommendations and selected Handbooks*, 2014, [<http://www.itu.int>.]
- [2] J. Osorio, *Fundamentos y mediciones de video y audio digital en SD y HD*. Tektronix Latinoamérica, 2009.
- [3] C. Becker C. *Mediciones críticas para video SD y HD sin compresión*. Tektronix Latinoamérica, 2009.
- [4] Tektronix, *MPEG Fundamentals and Protocol Analysis*, 2007. Disponible en <http://www.tek.com/video-test>
- [5] Tektronix, *A Guide to Compression Systems*, 2007. Disponible en <http://www.tek.com/video>.
- [6] Tektronix, *A Guide to Standard and High-Definition Digital Video Measurements*, 2007. Disponible en <http://www.tek.com/video>
- [7] F. Ibrahim, *Guide to Television and Video Technology*, Newness, 2009.
- [8] Tektronix, *A Guide to IPTV The Technologies, the Challenges and How to Test IPTV*, 2007. <http://www.tek.com/video>
- [9] International Telecommunication Union, *Recommendations ITU-R BT. 1700*, 2017.

SAR de teléfonos inteligentes con metamateriales influenciados por contaminación magnética: segunda parte

Héctor **Torres-Silva**

Universidad de Tarapacá
General Velázquez 1775, EIEE, Arica.
CHILE.

correo electrónico (email):
htorres@uta.cl

Recibido 24-10-2017, aceptado 11-01-2018.

Resumen

En este artículo se analiza la reducción de la tasa de absorción específica (SAR) en smartphones con capa metamaterial bajo la presencia de contaminación magnética. Desde el inicio de la especificación del SAR por parte de los fabricantes, no se tiene en cuenta la fuerte influencia del campo magnético generado por las líneas de transmisión, el interior de las plataformas de los trenes eléctricos, la proximidad de los dispositivos eléctricos que aumentan la absorción. Además de esta contaminación magnética está la contaminación de material particulado (magnetita) que se produce en ciudades industriales, que se aloja en el cerebro y que es responsable de que el valor del SAR que afecta al usuario sea superior al SAR estipulado por los fabricantes. La capa metamaterial propuesta en este artículo como blindaje reduce el SAR en aproximadamente el 50%.

Palabras clave: SAR, magnetita, metamaterial, microondas, teléfono móvil.

Abstract (SAR of Smart Phones with Metamaterials Influenced by Magnetic Pollution: Second Part)

In this article we analyze the reduction of the specific absorption rate (SAR) in smartphones with metamaterial layer under the presence of magnetic contamination. From the beginning of the specification of the SAR by the manufacturers, it is not taken into account the strong influence of the magnetic field generated by the transmission lines, the interior of the platforms of the

electric trains, the proximity of the electrical devices that increase absorption. In addition to this magnetic contamination is the contamination of particulate matter (magnetite) in industrial cities, which is lodged in the brain and it is responsible that the value of SAR affects the user is much higher than SAR stipulated by manufacturers. The metamaterial layer proposed in this article as shielding reduces SAR by approximately 50%.

Index terms: SAR, magnetite, metamaterial, microwaves, smartphones.

1. Introducción

El uso de teléfonos móviles ha crecido rápidamente en las comunidades globales en esta década. La absorción electromagnética y la energía emitida por el teléfono celular se han discutido en los últimos años por los posibles efectos nocivos en la salud del usuario. En muchos países se han definido estándares de exposición para proteger al cuerpo humano de la exposición electromagnética. La tasa de absorción específica (SAR) es un parámetro definido para evaluar la absorción de energía en el tejido biológico. Por lo general se define como el nivel de exposición a la radiación de un cuerpo, y expresa la extensión del calor absorbido por los tejidos de un cuerpo. El SAR se expresa en vatios por kilogramo (W/kg). Para el teléfono celular, el valor SAR no debe exceder las pautas de exposición [1]. En relación con la absorción de microondas por el usuario y su regulación, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) y la europea han aprobado hace 20 años dos procesos o métodos para certificar que el dispositivo inalámbrico cumple con el límite de exposición requerido: de SAR mediante simulación por computadora, y (2) obtención de SAR en un Maniquí Antropomórfico Específico (SAM). La determinación de SAR por el método (1) ha sido simulada por el método de diferencias finitas FDTD en [1], concluyendo que es necesario considerar el blindaje con metamateriales en móviles de gama alta en modo 4G y futuro 5G.

El segundo método se basa en un maniquí de plástico que representa a un adulto. Un líquido con las propiedades de absorción promedio de los 40 tejidos de la cabeza se vierte en un agujero en la parte superior de la cabeza o el cuerpo del maniquí. Se mide en un laboratorio anecóico blindado a las

perturbaciones electromagnéticas y de campos magnéticos de baja frecuencia. Un brazo robótico con una sonda de campo eléctrico se encuentra dentro del maniquí de tal manera que la ubicación del campo eléctrico más alto está dentro de cualquier volumen cúbico. Un teléfono móvil para ser certificado se coloca unido a ambos lados del SAM. Los valores del campo eléctrico se utilizan para calcular la tasa máxima de absorción espectral (SAR) para un gramo de tejido (equivalente a un volumen de un centímetro cúbico). La FCC o equivalente europeo requiere que todos los modelos de teléfonos celulares sean aprobados por su tasa de absorción específica o SAR. Si el SAR máximo es igual o inferior al límite de exposición de los Estados Unidos de 1,6 W/kg, el teléfono está certificado para la venta. En Europa el límite es de 2,0 W/kg. Los límites SAR se impusieron hace 20 años cuando sólo la tecnología 2G estaba disponible, sin embargo, el salto actual de 3G a 4G significó un aumento exponencial en el volumen de tráfico y usuarios.

El advenimiento de la tecnología 5G (la quinta generación de tecnologías de telefonía móvil) permitirá una velocidad de banda ancha móvil más rápida y un uso más intensivo de datos móviles como Internet de las Cosas (IoT). Desde la realidad virtual y los autos autónomos hasta internet industrial, las ciudades inteligentes o el video a la carta, la tecnología 5G estará en el centro del futuro de las comunicaciones con una latencia de uno a dos milisegundos. El éxito de estos servicios también dependerá, en gran medida, de las iniciativas de los gobiernos y reguladores de cada país. Por encima de todo, la velocidad, el alcance y la calidad de los servicios 5G dependerá del acceso al espectro y de las bandas apropiadas que los gobiernos y los reguladores proporcionen de manera oportuna y conveniente. Esto requiere una gran cantidad de espectro nuevo para servicios móviles tales como las tres bandas: por debajo de 1 GHz, 1-6 GHz y por encima de 6 GHz para contribuir al soporte de los servicios de Internet de Internet de las Cosas (IoT). Esta expansión requerirá, por otro lado, que los gobiernos y los reguladores deben adoptar políticas nacionales dirigidas a generar nuevas regulaciones sobre la absorción de energía de microondas de los smartphones que ya con el 4G funcionan simultáneamente WIFI, Bluetooth, especialmente en los niños [3]. Por ejemplo, como los teléfonos celulares más recientes, los dos nuevos modelos de iPhone tienen varios transmisores que emiten simultáneamente radiación de microondas, que incluye teléfono móvil, Wi-Fi, Bluetooth y radiación. Cuando todos estos transmisores están activados, el valor SAR es de 1,58 para el iPhone 6 y 1,59 para el iPhone 6 Plus. Estos niveles están muy cerca del límite legal que es de 1,60 W / kg. Se puede inferir que los móviles de gama alta emiten más radiación porque presentan mayor ancho de banda y más aplicaciones simultáneas.

En la actualidad la polución electromagnética en grandes ciudades unida a la contaminación industrial de material particulado (magnetita), hace que el SAR actual indicado por los fabricantes no es un buen indicador de la exposición acumulativa a las microondas por parte del usuario en condiciones reales donde además influye la aglomeración de artefactos eléctricos que generan campos magnéticos de baja frecuencia que al interactuar con las microondas permiten aumentar significativamente el SAR como se ha demostrado en [1]. De hecho, estas estimaciones no consideran la influencia de un entorno magnetizado (cerca de líneas de alta tensión, plataformas interiores de trenes subterráneos y en general cerca de aparatos eléctricos que generan un campo magnético apreciable que interactúa con microondas de teléfonos móviles y contribuye a un aumento significativo en SAR). Un ejemplo de entorno magnetizado se muestra en la Figura 1.

Algunos resultados numéricos han demostrado que en un gramo de tejido con un valor SAR medio se pueden superar las directrices de exposición cuando se coloca un teléfono portátil cerca de la cabeza, se obtiene un valor SAR del orden de ocho a nueve veces el SAR estipulado por el fabricante de acuerdo a nuestra simulación sin blindaje metamaterial [1], [9]. Además, el límite SAR no protege a los usuarios de los efectos no térmicos de la radiación del teléfono celular. De



Fig. 1. Una línea de transmisión trifásica de 13,2 (KV) cuyas líneas están muy cerca de edificios de apartamentos en una zona suburbana de Chile, mostrando que el campo magnético dentro de estos pisos es del orden de 50 a 100 microteslas cuando interactúan con el microondas del teléfono inteligente.

hecho, cientos de estudios de laboratorio con muestras de animales y células han encontrado efectos biológicos nocivos de la exposición a corto plazo a la radiación de bajo nivel celular, incluyendo el desarrollo de proteínas de estrés, micronúcleos, radicales libres, descomposición de ADN y daño espermático. Otros riesgos del uso de teléfonos celulares incluyen la salud reproductiva y la infertilidad masculina, y trastornos neurológicos (por ejemplo, deterioro de las funciones cognitivas, dolores de cabeza y migrañas y trastorno por déficit de atención/hiperactividad) (véase referencias en [1] y [3]). Por lo tanto, la mayoría de los consumidores están en la oscuridad acerca de las precauciones que pueden tomar para mantener su exposición a la radiación de microondas por debajo del límite legal.

Además de esta contaminación electromagnética debido al ambiente magnetizado, en el cerebro humano, la magnetita también se cree que precipitar biológicamente como parte del metabolismo del hierro [4], pero ahora, en PNAS, Maher *et al.* [5] sugieren que puede provenir de una fuente externa. La contaminación del aire comprende no sólo gases (por ejemplo, óxidos de nitrógeno, ozono, dióxido de azufre) sino también partículas sólidas, que varían en tamaño desde unos pocos nanómetros a varios micrómetros. Estas partículas, conocidas como materia particulada (PM), se generan a través de procesos naturales y de la actividad humana, y se emiten directamente a la atmósfera. Como resultado de la circulación atmosférica, las partículas transportadas por el aire en un entorno dado pueden derivarse de fuentes industriales locales y distantes, tales como, chimeneas, tráfico o operaciones de minería. Entre este material particulado está la magnetita que es un componente abundante de la contaminación atmosférica PM, especialmente en el medio urbano [4], [5], donde se ha identificado en el gasóleo diesel, como partículas de freno-abrasión, en el aire de las estaciones subterráneas, a lo largo de las líneas ferroviarias, en los lugares de trabajo de soldadura, y en las emisiones de los procesos de combustión industrial. Aquí, invocamos ese mecanismo de PM para la transferencia de nanopartículas de magnetita derivadas de la contaminación del aire al cerebro que hace aumentare el SAR debido a las microondas y a la contaminación derivada de un ambiente magnetizado.

Esta situación nos obliga a considerar el efecto de los metamateriales que protegen al móvil como protección para el usuario. Una posible aplicación de los metamateriales [1], [2], está en la atenuación de microondas de teléfonos celulares con una reducción SAR de alrededor del 50% [1] en espacios abiertos, pero en el entorno magnético asociado a la magnetita alojada en el cerebro del usuario produce un fuerte aumento de SAR por lo que el blindaje de metamaterial propuesto es una compensación al aumento del SAR.

2. Metamaterial como blindaje

El efecto de la radiación electromagnética ha sido considerado, hasta ahora, por la acción del campo eléctrico y su efecto térmico, medido con el coeficiente SAR. Pero también se debe considerar la acción del campo magnético. El nivel de campo magnético bajo 500 nanoteslas (nT) es considerado seguro y aceptable por muchos científicos. Los niveles de campos magnéticos pueden fluctuar entre 1.000 nT a 7.000 nT, los niveles por encima de 7.000 nT se consideran peligrosos [6], [7], aunque estos son límites aceptables, muchos de los artefactos utilizados actualmente superan estos límites, especialmente los teléfonos celulares en entornos magnetizados. Los campos magnéticos son dañinos para el cuerpo humano si se absorben a altas intensidades. La fuerza del campo magnético transmitida desde una antena de la mayoría de los teléfonos celulares (aproximadamente 2,5 to 3.0 cm de la antena) es sobre 2.000 nT. Cuando de un teléfono celular se responde a un llamado, la corriente de la batería emite campos magnéticos de 1.000 a 6.000 nT. Los científicos creen que las altas intensidades de los campos magnéticos son la causa de los tumores cerebrales y el cáncer en el cuerpo humano [6], [7].

La tasa de absorción específica se define como la relación entre una cantidad de energía infinitesimal, absorbida por un elemento infinitesimal de masa:

$$SAR = \frac{1}{2} \frac{\sigma}{\rho} |E|^2 \quad [\text{W/kg}] \quad (1)$$

De las ecuaciones de Maxwell [1], [9], [10], considerando la baja frecuencia ω_0 del campo magnético B_0 , el SAR se calcula localmente de la siguiente manera:

$$SAR_{ij} = \frac{\sigma_{ij} E_T^2(\beta, B_0, \omega_0, t)|_{ij}}{2\rho_{ij}} \quad (2)$$

$$E_T|_{ij} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n E_y^2|_{ij} + E_x^2|_{ij} + E_z^2|_{ij}} \quad (3)$$

donde los componentes del campo cartesiano de las ecuaciones de Maxwell son:

$$\frac{\partial H_z}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left[\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} \right] + \beta\omega (k_x H_y - k_y H_x) - \frac{2B_{0z}\omega_0}{\mu} \quad (4)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right] + \beta\omega (k_x E_y - k_y E_x) - \frac{\sigma}{\varepsilon} E_z \quad (5)$$

Así sucesivamente, donde $\omega=2\pi f$, $k_x=2\pi/\lambda_x$ y $k_y=2\pi/\lambda_y$. Aquí está la conductividad σ y $\omega_0 t \leq 1$ representa la baja frecuencia del campo magnético B_0 , con $\omega_0 t \leq 1$. El efecto magneto quiral es representado por el factor β debido a la magnetita y por el campo magnético B_0 que puede tomar en cuenta el campo externo y el campo magnético generado por la corriente de la batería. Detalles sobre los parámetros de simulación son encontrados en [1].

El esquema para calcular la ecuación (3) se muestra en la referencia [1], donde las matrices digitalizadas de la cabeza se obtienen de acuerdo con los parámetros que se consideran para el cálculo y la simulación que son dados en [1], [9].

En esencia y resumidamente el esquema de cálculo del SAR en unidades de W/kg es como se muestra en la Figura 2.

En este esquema el proceso de cálculo consta de 6 etapas, las cuales se explican a continuación

Paso 1. A partir de una lámina MRI, se generan los datos necesarios para llevar a cabo el modelado en detalle de cada tejido al interior de la cabeza. Es así como el modelo de la cabeza humana se genera a partir de scanner. De los datos generados se obtienen sólo imágenes a color, llegando a un total de 54 cortes que juntos forman una cabeza de tipo cilíndrica. Esto representa un modelo de 86.400 celdas cúbicas para el caso de matrices de 40x40, donde cada corte o capa es de 0,5 cm y cada celda del corte en estudio corresponde a 0,5 cm para 40x40 en la capa 34, ya que en esta se encuentran dos áreas importantes de la cabeza, el sector oído y el sector cerebro respectivamente.

Paso 2. Se realiza el modelado por medio de MATLAB, obteniendo así una matriz la cual es almacenada en un archivo .mat de MATLAB.

Paso 3. Se obtienen 54 frames correspondientes a la cabeza humana, las que juntas forman el modelo cuadrado de la cabeza humana.

Paso 4. Aquí se indican los parámetros que se considerarán para los cálculos que se desarrollan en este trabajo. Primero se considera el campo magnético en baja frecuencia, el cual está incluido en el desarrollo de las ecuaciones de Maxwell y luego en el método FDTD. El factor normalizado del campo magnético externo o de la batería está incluido sólo en el medio que corresponde al cerebro. La capa metamaterial se incluye entre la antena y la cabeza humana.

Paso 5. Después de tomar en cuenta las consideraciones ya indicadas, se ejecuta el programa en la plataforma MATLAB, es decir se procede a calcular por medio de FDTD los campos electromagnéticos, para luego obtener el valor del SAR. El set de ecuaciones (1) a (5) se consideran en el paso 5.

Paso 6: La obtención del SAR se representa por medio de una matriz de 40x40 o 80x80 según corresponda, esta se puede representar de diversas formas, en la figura 2 se muestra en forma gráfica 3D, pero también se puede representar por colores, perfiles y una vez obtenidas se pueden graficar curvas paramétricas como se muestra en las figuras (3) y (4).

Los valores de la permitividad relativa, la conductividad eléctrica y la densidad aparente de masa en cada uno de los teji-

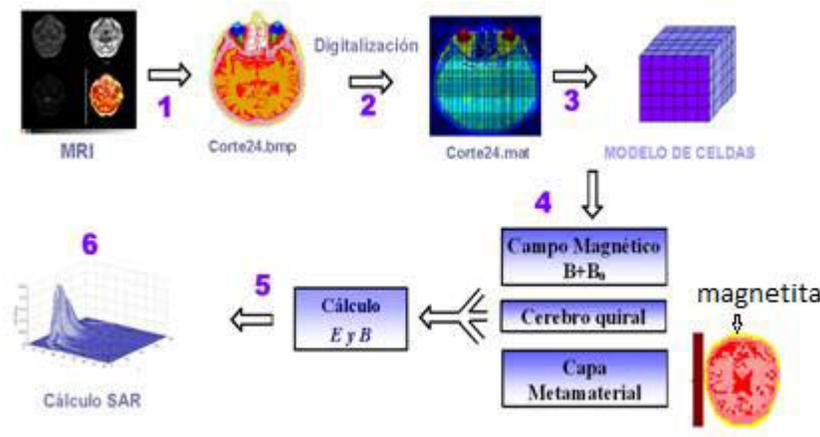


Fig. 2. Esquema de modelado y proceso de simulación utilizado.

dos descritos anteriormente se dan en [1], [10]. Los valores de los parámetros de conductividad, permeabilidad y permitividad son valores medios medidos. El factor que considera el metamaterial con índice de refracción negativo se toma como variable.

La caída de SAR en torno de los 2 cm (celda n° 4) corresponde al cráneo de la cabeza que contiene menor cantidad de agua. Esta caída del SAR se repite en todas las figuras y el máximo del SAR se observa en el interior del cerebro y en la sangre.

La curva punteada en la Figura 3 corresponde a un teléfono inteligente sin metamaterial y sin campo magnético externo $B_0 = 0$ y sin contaminación de magnetita. La potencia de entrada a la antena es de 0.35 vatios, y simula adecuadamente el SAR ($1.2 < SAR < 1.5$), dado por los fabricantes de smartphones de alta gama. Esta situación es ideal y correspondería solo a localidades en espacios libres. La curva sólida corresponde a un campo magnético máximo que se obtiene de la figura 1 [11], el cerebro fue modelado con magnetita en las células 8 y 10 con un $\beta\omega = 0.1\%$ de magnetita en esas celdas, mostrando que en estas células se tiene una condición de resonancia y que muestra la influencia del campo magnético generado por la línea de alto voltaje interactuando con la magnetita producto del material particulado. Se observa que los máximos del SAR tienen relación directa con la magnetita en el cerebro y contribuye con un 30% de aumento en la absorción. Se observa también que a medida que el campo de baja frecuencia aumenta la penetración del SAR es mayor y afecta a todo el cerebro corroborando el hecho de que no hay blindaje para los campos magnéticos cuando interactúan con las microondas del móvil. Por lo tanto, en ambientes fuertemente magnetizados el blindaje con metamateriales es necesario como protección personal para el usuario que utiliza frecuentemente el móvil, la situación puede llegar a ser crítica si el usuario es un niño porque el cerebro contiene más agua y por lo tanto la absorción es mayor [1], [3], [4], [9].

En la Figura 4, tenemos SAR frente a la distancia en términos de la celda de tamaño de 0.5 cm para varios valores de $\beta_0\omega_0$.

De estos resultados se desprende que en el caso de considerar la interacción del campo magnético de baja frecuencia y las microondas del móvil y los contaminantes de material particulado, los resultados sobrepasan los límites de exposición y sugieren que en ambientes extremadamente magnetizados en ciudades urbanizadas, se deben tomar precauciones más exigentes en los límites de exposición frente a la radiación especialmente en niños que tendrán un tiempo de acumulación mayor de radiación de los smartphones a lo largo de sus vidas. Trabajos anteriores han mostrado una

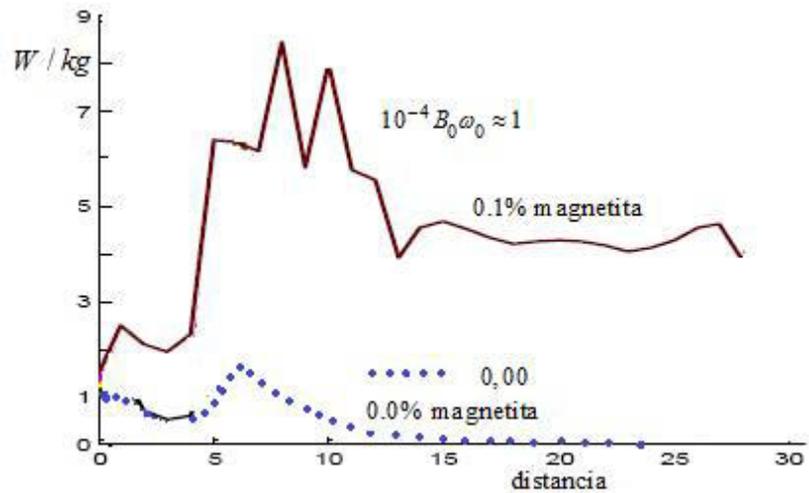


Fig. 3. La curva sólida tiene como parámetro el campo magnético multiplicado por la frecuencia angular sin protección metamaterial.

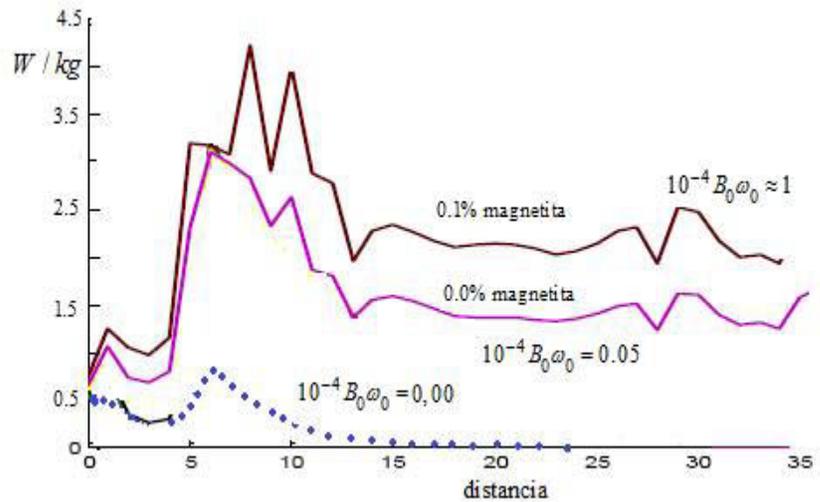


Fig. 4. Las curvas tienen como parámetro el campo magnético multiplicado por la frecuencia angular con protección metamaterial que reduce el SAR en aproximadamente el 50% si se compara con la figura 3. El modelo cerebral se discute en [8, 9] y las propiedades de un metamaterial se describe en [11], [12], [13], [14].

correlación entre la cantidad de magnetita cerebral y la incidencia en la Enfermedad de Alzheimer (EA) [15], [16]. Los cambios neuropatológicos asociados con EA incluyen la formación de placas seniles, que contienen fibrillas β -amiloides (por ejemplo en [17] y [18]). La radiación de microondas del smartphone puede acelerar la aparición del Alzheimer.

3. Conclusiones

En este artículo se analizó la reducción de la tasa de absorción específica (SAR) en smartphones con capa metamaterial bajo la presencia de contaminación magnética. Esta contaminación está constituida por campos magnéticos de baja frecuencia y por contaminantes de material particulado de magnetita que se debe a la actividad industrial y a la combustión. La magnetita producida que se localiza en el cerebro del usuario de un teléfono celular se hace más evidente en ciudades como Ciudad de México, Lima, Santiago, La Paz, es un factor nuevo que hace aumentar el SA significativamente. Desde el inicio de la especificación del SAR por parte de los fabricantes, no se tiene en cuenta por una parte, la fuerte influencia del campo magnético generado por las líneas de transmisión, el interior de las plataformas de los trenes eléctricos, la proximidad de los dispositivos eléctricos que aumentan la absorción y por la contaminación de material particulado (magnetita) en ciudades industriales por otra parte. El SAR obtenido es muy superior al SAR estipulado por los fabricantes. La capa metamaterial propuesta en este artículo como blindaje reduce el SAR en aproximadamente el 50%. Este artículo complementa a la referencia [1] pero incorpora la influencia de la magnetita en el cálculo del SAR.

Referencias

- [1] H. Torres-Silva, "Refracción negativa y SAR en un teléfono celular hecho de metamaterial," *Científica*, vol. 21, núm. 2, julio-diciembre 2017
- [2] H. Torres-Silva, "Microwave absorption in a cell phone shielded by metamaterials for personal protection," *Dyna, New Technologies* 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/NT8407>.
- [3] H. Torres-Silva, "A metamaterial revision," *Dyna New Technologies*, enero-diciembre 2017, vol. 4, núm. 1, 2017 DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/NT8331>.
- [4] L. Lloyd Morgan *et al.*, "Why children absorb more microwave radiation than adults: The consequences," *Journal of Microscopy and Ultrastructure* 2, 197-204, 2014.
- [5] R. Gieré, "Magnetite in the Human Body: Biogenic vs. Anthropogenic," *PNAS*, octubre 25, vol. 113, núm. 43, 2016, pp. 11986-11987.
- [6] B. A. Maher *et al.*, "Magnetite pollution nanoparticles in the human brain," *Proc Natl Acad Sci USA*, vol. 113, núm. 39, pp. 10797-10801, 2016.
- [7] W. R. Adey, "Biological effects of electromagnetic fields," *J Cell, Biochem*, núm. 51, pp. 410-416, 1993.
- [8] D. Fine Maron, "Major Cell Phone Radiation Study Reignites Cancer Questions," *Scientific American*, 2016. Disponible en <https://www.scientificamerican.com/article/major-cell-phone-radiation-study-reignites-cancer-questions>.
- [9] M. Zamorano, & H. Torres-Silva, "FDTD chiral brain tissue model for specific absorption rate determination under radiation from mobile phones at 900 and 1800 MHz," *Physics in Medicine and Biology*, vol. 51, núm. 7, 2006.
- [10] H. Torres-Silva *et al.*, "Enhanced absorption in children brain under microwaves fields," *Open Journal of Biomedical & Life Sciences*, vol. 2, núm. 2, pp. 01-07, 2016.
- [11] H. Torres-Silva, J. L. Lopez-Bonilla, "Chiral waves in Metamaterial medium," *International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology*, núm. 2, pp. 54-65, 2011.
- [12] M. Faruque, M. Islam, & N. Misran, "Electromagnetic (EM) absorption reduction in a muscle cube with metamaterial attachment," *Medical Engineering & Physics*, vol. 33, núm. 5, pp. 646-652, 2011.
- [13] M. Faruque, M. Islam, M. Ali, "A New Design of Metamaterials for SAR Reduction," *Measurement Science Review*, vol. 13, núm. 2, pp. 70-74, 2013
- [14] H. Torres-Silva, "Metamaterial news and development," *Dyna*, vol. 92, núm. 3, pp. 251-253, 2017.
- [15] Q. Pankhurst, D. Hautot, N. Khan, & J. Dobson, "Increased levels of magnetic iron compounds in Alzheimer's disease," *J Alzheimers Dis*, vol. 13, núm. 1, pp. 49-52, 2008.
- [16] D. Hautot, Q. Pankhurst, N. Khan, & J. Dobson. "Preliminary evaluation of nanoscale biogenic magnetite in Alzheimer's disease brain tissue," *Proc Biol Sci*, núm. 270 (Suppl 1), pp. S62-S6, 2003.
- [17] Y. Chen, N. Shah, F. Huggins, & G. Huffman. "Microanalysis of ambient particles from Lexington, KY, by electron microscopy," *Atmos Environ*, vol. 40, núm. 4, pp. 651-663, 2006.

Configuración alterna de sistema de guías de pailas de galvanizado de tubos con extracción manual

José Alfredo **Sánchez de León**

Villacero Trefilados D. D.
Departamento de Calidad
Diego Díaz de Berlanga 1005, Valle del Nogalar,
San Nicolás de los Garza, Nuevo León,
CP 66480.
MÉXICO.

Tel. (+5281) 8215-8181
correo electrónico (email):
jose.sanchez@villacero.com

Recibido 10-10-2017, aceptado 23-02-2018.

Resumen

En el proceso de galvanizado de tubos de acero por inmersión en caliente, una etapa crítica es la inmersión de la pieza a recubrir en un baño de zinc fundido; la calidad y espesor de este recubrimiento depende de varios factores uno de los cuales es el tiempo de residencia de la pieza en el baño de zinc fundido. El tiempo de residencia es controlado por los mecanismos de inmersión y extracción del crisol de galvanizado, sin embargo, en las pailas de extracción manual resulta sumamente complicado controlar el tiempo de residencia, debido a la aleatoriedad de la acumulación de piezas su interior. En el presente trabajo se propone una configuración alterna del sistema guías del mecanismo de extracción de dicho tipo de pailas, modificando su geometría, para que de esta manera sea posible controlar la acumulación de piezas inmersas en un esquema de primeras entradas - primeras salidas. Sobre esta base se plantea la factibilidad de automatizar esta actividad, como consecuencia de la configuración propuesta.

Palabras clave: sistema de extracción de tubos en pailas de galvanizado, guías de sistema de extracción pailas de galvanizado.

Abstract

(Alternate Configuration for Manual Extraction Drives System of Pipes Galvanizing Melting Pots)

In hot-dipped, zinc coated galvanizing process of Steel pipe, a critical steep represents the immersion of the item to be coated into molten zinc; the coat quality and thickness depends upon several factors one of which is the immersion time into the molten zinc. The immersion time is handled by the immersion and

extraction galvanizing melting pots mechanisms, however on manual extraction devices, it becomes very hard to manage this immersion time, mainly due to the random nature of how the pieces are stored inside it. In the present paper it is addressed this issue by proposing an alternate extraction mechanism drives system for this kind of melting pots, by modifying its geometry in such a way that inside storing process could become merely orderly in a first entry - first out basis. Over this approach, it is arising the feasibility of carrying out automation of this task, as a consequence of this proposed configuration.

Index terms: pipe extraction system galvanizing of melting pots, galvanizing melting pots drives extraction system.

1. Introducción

En el proceso de galvanizado [1] una etapa crítica es la inmersión de la pieza a recubrir en un baño de zinc [2] fundido. En la superficie de la pieza ocurre una reacción química entre el Fe, una película de $ZnCl_2-NH_4$ (flux) y el zinc fundido, produciendo un enlace [3] entre el Fe de la pieza y el zinc que se extiende por toda la superficie de la pieza (recubrimiento). La calidad y espesor de este recubrimiento depende de varios factores uno de los cuales es el tiempo de residencia de la pieza en el baño de zinc fundido. El espesor de la capa [4] de zinc es directamente dependiente del tiempo de residencia (o velocidad en el caso del galvanizado de rollos de láminas); posterior a una cantidad de tiempo determinada por el proceso, a partir del cual el recubrimiento pierde su adherencia (se quema) y al enfriarse comienza a desprenderse en forma de escoria con el más mínimo impacto o doblez de la pieza.

En el caso del galvanizado de tubo de acero al carbón [5], [6], [7], [8] el tiempo de residencia es de la misma manera relativo y depende de las mencionadas condiciones de proceso, pero en general, se pretende emplear el menor tiempo de residencia posible para obtener una capa lo más delgada posible para un mejor aprovechamiento de zinc; aunque también un tiempo de residencia demasiado corto pudiera ocasionar un recubrimiento parcial en la superficie (pieza manchada).

En las pailas de extracción manual, los problemas con los que se ha hecho frente en su operación los representan principalmente el surgimiento de defectos como: tubo quemado, manchado (véase Apéndice A) y, por otro lado, espesores de capa de zinc demasiado significativos $> 600 \text{ g/m}^2$. Entre algu-

nas de las principales causas que ocasionan estos defectos e inconvenientes, se encuentra el tiempo de residencia. El tiempo de residencia de los tubos de acero, como piezas individuales, es muy irregular ya que como su extracción se realiza en forma manual, algunas piezas permanecen durante una mayor cantidad de tiempo que otras lo que ocasiona prolongados tiempos de residencia. Esto se debe a la disposición aleatoria en que estos son almacenados en el interior del crisol (véase Fig. 1), ya que la acumulación se realiza a lo largo del tramo horizontal, en el cual los tubos se van apilando unos sobre otros y son extraídos primeramente los que se encuentran más cercanos a la superficie.

En general son comunes los reprocesos por tubo quemado (véase Apéndice A) por la permanencia durante prolongados periodos en inmersión. Un tiempo promedio adecuado para tubos de acero al carbón, podría rondar alrededor de 1.5 min. Por otro lado, la optimización en el consumo de zinc es un aspecto fundamental en el proceso de galvanizado y es uno de los principales indicadores en la eficiencia del proceso. Debido al elevado precio que involucra la adquisición de este metal como materia prima, es necesario aprovecharlo al máximo y constantemente eficientar su consumo para obtener una mayor rentabilidad del proceso.

Se propone modificar la ingeniería del sistema de extracción manual de las pailas de galvanizado modificando el sistema de guías del mecanismo para que de esta manera sea posible

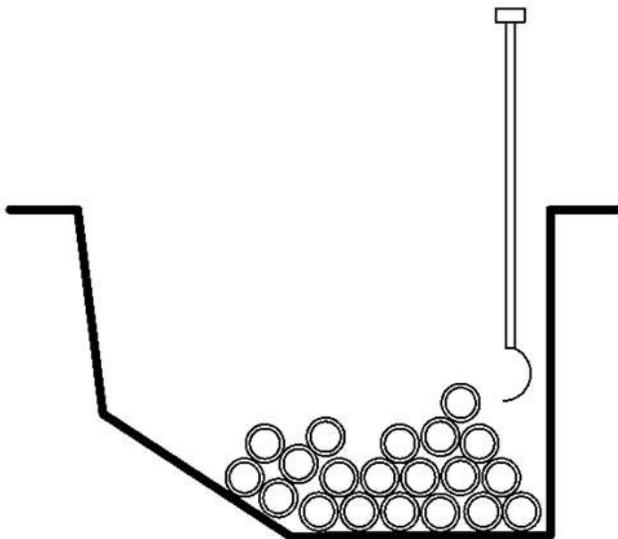


Fig. 1. Vista general de configuración de guías de sistema de extracción típico de una paila de galvanizado con extracción manual de tubos.

controlar de manera más ordenada la disposición de piezas acumuladas en el interior de la paila y así el tiempo de residencia, permitiendo que sea el adecuado para todas y cada una de las piezas a galvanizar, manteniendo una acumulación constante a lo largo de todo el proceso, mediante un esquema de primeras entradas - primeras salidas.

Esto se lograría mediante la modificación geométrica del dispositivo, como se ilustra en la Fig. 2; donde las guías colocarían el tubo a una distancia L_1 de la pared de la paila.

2. Sistema de guías propuesto

En las guías que se proponen los tubos se acumularían a lo largo de una sección inclinada de determinada longitud. La acumulación de los tubos sería totalmente en línea recta, nunca apilados, de tal manera que todos los tubos tendrían el mismo desplazamiento y por consiguiente el mismo tiempo de residencia. Debido a la disposición ordenada de las piezas en el interior de la paila, adicionalmente se plantea la factibilidad de instalar un mecanismo de brazos de extracción que girarían parcialmente $\pi/2$ sobre su propio eje longitudinal hacia la dirección del tubo cuando vayan a ser extraídos y $\pi/2$ hacia fuera cuando bajen para colocarse nuevamente en posición.

En la Fig. 3 se muestra en detalle el sistema de guías que se propone.

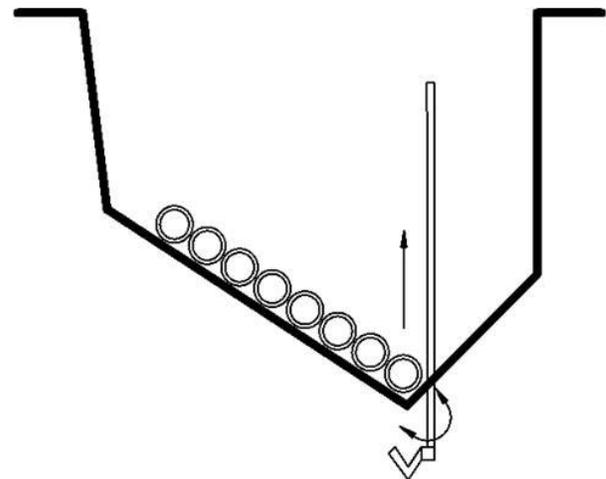


Fig. 2. Vista general del sistema de guías propuesto. Adicionalmente se plantea la posibilidad de incluir un brazo de extracción que opere de manera automática.

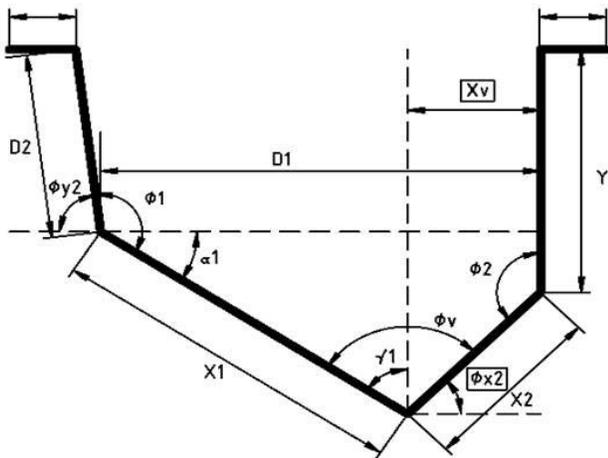


Fig. 3. Detalle del sistema de guías propuesto.

Para el dimensionamiento, con base en la Fig. 3, se tienen el siguiente conjunto de parámetros libres, a establecer por parte del dueño de proceso:

$$\begin{bmatrix} D_1 ; D_2 \\ \theta_1 ; \theta_{y_2} ; \theta_{x_2} \\ \alpha_1 ; \gamma_2 ; \gamma_1 ; x_y \end{bmatrix}$$

Con base en las dimensiones del crisol de galvanizado. Sobre los valores de estas variables, se establecen las siguientes ecuaciones:

$$x_1 = \frac{D_1 - x_y}{\cos \alpha_1}$$

$$x_2 = \frac{x_y}{\cos \theta_{x_2}}$$

$$y = D_2 \sin \theta_{y_2} + \frac{D_1 - x_y}{\tan(\pi/2 - \gamma_1)} - x_y \tan \theta_{x_2}$$

$$\theta_y = \pi/2 + \gamma_1 - \theta_{x_2}$$

$$\theta_2 = \theta_{x_2} + \pi/2$$

Que permiten dimensionar las guías en su totalidad. La estructura que se propone utilizar para realizar directamente la extracción del tubo del interior de la paila, consiste en un

brazo alargado con un vértice en la punta en donde colocaría el tubo para llevarlo hasta la superficie donde sería tomado por los rodillos magnéticos.

El brazo realiza un giro de $\pi/2$ sobre el eje (x,y) para realizar adecuadamente los movimientos de posicionamiento. Cuando el brazo sube lleva consigo un tubo, al momento de su inmersión gira $\pi/2$, cuando se encuentra completamente sumergido y en su posición original, giraría nuevamente en su posición 0, este sería su ciclo completo (véase Fig. 4).

En cuanto a la maquinaria necesaria para el movimiento del brazo, se considera la posibilidad de emplear algún sistema compuesto por dos pistones, uno con movimiento horizontal y otro con movimiento vertical, aunque en esto último puede haber otros sistemas también adecuados.

En cuanto a la adecuación de estas estructuras a las diferentes medidas de tubo, podría ser posible la necesidad de realizar un cambio de brazos de extracción en cada cambio de medida o manejar un brazo para un rango de medidas.

3. Información de la posición del tubo dentro del crisol de galvanizado

Una vez que el tubo es introducido a la paila por los gusanos de inmersión (mecanismo típico de inmersión) u otro mecanismo, se pierde contacto visual con el tubo y por un instante no se tiene información referente a este. La única información que se tiene es durante sus condiciones iniciales y finales, es decir cuando ingresa y cuando es extraído de la paila de galvanizado.

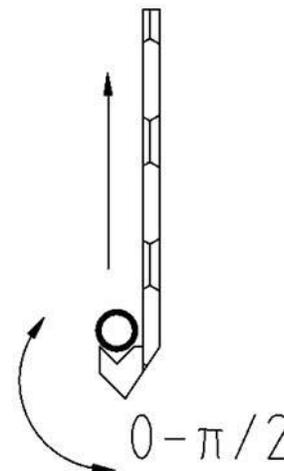


Fig. 4. Ilustración general del posible brazo de extracción propuesto.

Es conveniente desarrollar alguna expresión que pueda proveer de una cierta aproximación sobre la localización del tubo en un instante determinado en el interior del crisol de galvanizado.

Consideremos una pieza cilíndrica que parte del reposo; inmediatamente adquiere movimiento debido a la acción de la fuerza de la gravedad, con una velocidad definida desplazándose a través de una guía inclinada. Las fuerzas que actúan sobre este sistema se pueden representar mediante la Fig. 5.

Con base en lo anterior, se plantea el siguiente sistema de ecuaciones:

$$w_j - E_j - F_k - F_r = a$$

$$F_r R = I_c \frac{d\omega}{dt}$$

$$\frac{dv}{dt} = R \frac{d\omega}{dt}$$

El primer término de la primera ecuación representa la acción de la fuerza de gravedad a lo largo de la guía, el segundo representa la fuerza de flotación que ejerce el fluido en el tubo, el tercero la fuerza de oposición que ocasiona un momento angular al tubo, el cuarto representa la fuerza de oposición al movimiento del tubo a través del fluido debida a las fuerzas viscosas.

Agrupando y sustituyendo términos se obtiene:

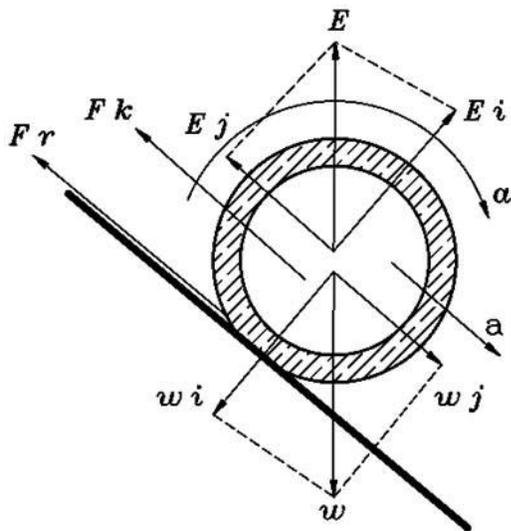


Fig. 5. Representación de las fuerzas que actúan en un tubo en el interior de la paila, descendiendo por el sistema de guías.

$$mg \operatorname{sen} \theta - V_c \rho_f g \operatorname{sen} \theta - 2rL (1/2\rho_c v^2) f$$

$$- \frac{km (R_1^2 + R_2^2)}{R_2^2} = m \frac{dv}{dt}$$

Si se despeja y se agrupa para así finalmente obtener la ecuación diferencial, se tiene entonces:

$$\frac{dv}{dt} = \left[\begin{array}{l} mg \operatorname{sen} \theta - \pi L (R_1^2 + R_2^2) \rho_f g \\ \operatorname{sen} \theta - 2rL (1/2\rho_c v^2) f \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} 1 \\ m + \frac{km (R_1^2 + R_2^2)}{R_2^2} \end{array} \right]$$

Para resolver y obtener:

$$zt = \frac{1}{2\sqrt{a-b} \sqrt{c}} \log \left| \frac{\sqrt{a-b} + \sqrt{cv}}{\sqrt{a-b} - \sqrt{cv}} \right|$$

donde se fueron aplicadas las agrupaciones siguientes a modo de simplificación:

$$a = mg \operatorname{sen} \theta$$

$$b = \pi L (R_1^2 + R_2^2) \rho_f g \operatorname{sen} \theta$$

$$c = 2R_2 L (1/2\rho_c f \sigma)$$

$$z = \frac{1}{m + \frac{km (R_1^2 + R_2^2)}{R_2^2}}$$

donde:

m : masa del tubo.

g : valor de la aceleración de la gravedad.

L : longitud del tubo.

R_1 : radio interior del tubo

R_2 : radio exterior del tubo.

r : radio exterior.

ρ_f : densidad del fluido en el que se desplaza el tubo.

ρ_c : densidad del material del tubo.

f : factor de fricción de Fanning (véase Apéndice D).

k : constante del momento de inercia (1/2 para cilindros, 2/5 para esferas).

σ : constante de proporcionalidad (ya que la gráfica del factor de fricción está diseñada para esferas, es necesario realizar alguna corrección para cilindros; es un número cercano a 1).

Re: número de Reynolds (véase [9]).

θ : ángulo de inclinación de guía (α_1 de acuerdo a Fig. 3).

Finalmente se procede a despejar para v y se obtiene la siguiente expresión:

$$v = \frac{(10^{2z\sqrt{a-b}\sqrt{ct}} - 1)\sqrt{a-b}}{(10^{2z\sqrt{a-b}\sqrt{ct}} + 1)\sqrt{c}} \quad (1)$$

Es posible representar la posición del tubo a lo largo de la guía en un momento determinado mediante el siguiente conjunto de ecuaciones paramétricas:

$$x = \frac{\sqrt{a-b} (10^{2z\sqrt{a-b}\sqrt{ct}} - 1)}{\sqrt{c} (10^{2z\sqrt{a-b}\sqrt{ct}} + 1)} t \cos\theta$$

$$y = \frac{\sqrt{a-b} (10^{2z\sqrt{a-b}\sqrt{ct}} - 1)}{\sqrt{c} (10^{2z\sqrt{a-b}\sqrt{ct}} + 1)} t \sin\theta \quad (2)$$

Una vez obtenidas las ecuaciones es necesario emplear el siguiente algoritmo de cálculo para obtener:

1. Suponer un valor de f .
2. Calcular la velocidad del cilindro con ese valor.
3. Calcular el número de Reynolds con el valor obtenido de la velocidad.
4. Determinar de la Fig. 8 (tabla del Apéndice D), el factor de fricción f correspondiente al Re calculado en el paso anterior.

Tabla 1. Datos de contexto de diseño.

VARIABLE	VALOR	UNIDADES
m	137.0709	kg
g	9.8000	m/s ²
ángulo α_1	0.5236	rad
R_1	0.0762	m
R_2	0.0817	m
L	6.4000	m
k	1/2	-
Densidad fluido*	1000.0000	kg/m ³
Densidad objeto*	7850.0000	kg/m ³
Viscosidad fluido*	1.00E-03	kg/m-s
V_{objeto}	1.75E-02	m ³
f^{**}	0.50	-

Nota 1: * Valores obtenidos de [9], ** valores obtenidos de Apéndice C.

5. Comparar ambos valores de f (propuesto vs calculado).
6. Si la diferencia calculada se considera sustancial, considerar el valor calculado del factor de f como valor propuesto y repetir el procedimiento desde el paso #2 hasta que la diferencia entre el valor calculado y el valor propuesto sea considerado adecuado.
7. Repetir los pasos anteriores para cada valor de dt .

Una aproximación más práctica puede ser tomar $dt/dv=0$ (cuando las fuerzas se encuentran en equilibrio), en este momento se alcanza la velocidad máxima, entonces se puede despejar y calcular el valor de la velocidad, calcular Re y f para emplear estos valores durante todo el desarrollo. Esta es la aproximación que se utilizó en los resultados provistos con este documento.

4. Simulación del movimiento de piezas

Se plantea un esquema teórico de aplicación del sistema de guías propuesto y del modelo matemático desarrollado en la sección anterior.

Sea un tubo de acero de 3" de diámetro que se encuentra moviéndose a través de un sistema de guías como el que ilustra la Fig. 2, suponer que el medio se trata de agua líquida. Determinar el perfil de velocidad desarrollado y su posición en este sistema de guías.

Con los datos de la Tabla 1, se aplica la ecuación (1), se obtienen los resultados mostrados en la Fig. 6.

Se procede a aplicar las ecuaciones en (2), y se obtienen los resultados mostrados en la Fig. 7 (los valores obtenidos de este resultado, se encuentran en el apéndice C.).

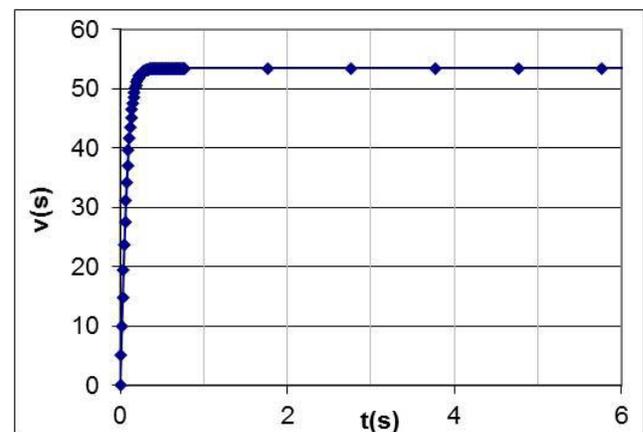


Fig. 6. Gráfica de desarrollo de velocidad de tubo vs tiempo.

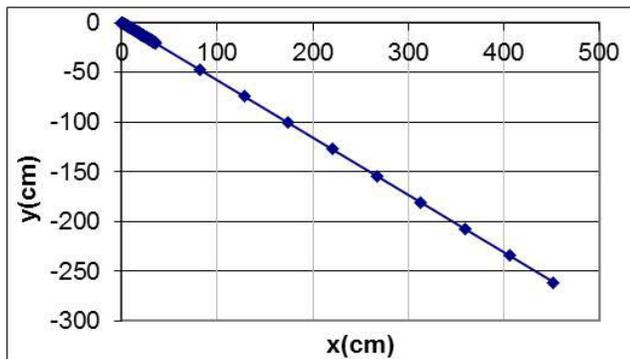


Fig. 7. Gráfica de posición x-y durante el tiempo transcurrido mostrado en la gráfica anterior.

5. Ventajas y desventajas planteadas

Se plantean una serie de ventajas y desventajas sobre la implementación del sistema de guías propuesto y sobre la automatización un brazo de extracción. La principal ventaja representa la posibilidad de contar con una disposición espacial definida y, por consiguiente, de obtener un control más preciso del tiempo de residencia de cada uno de los tubos. Entre los efectos principales de controlar el tiempo de residencia, se encuentran las siguientes:

- Evitar la aparición de tubos "quemados" (véase Apéndice A) o disminuir considerablemente este defecto ocasionado por tiempos de residencia muy prolongados. Al evitar los tubos quemados se generaría una menor cantidad de reproceso, el desperdicio de zinc y ácido clorhídrico (debido a reprocesos) sería menor.
- Disminuir la cantidad de tubo manchado (véase Apéndice A). Una de las causas de la aparición de tubo manchado es el tiempo de residencia muy corto, controlándolo nos aseguramos que todos los tubos permanezcan el tiempo necesario.
- Capas de zinc más bajas. De esta manera se podría operar con capas de zinc aproximadamente menores de 650 g/m^2 , mejorando de esta forma el aprovechamiento de zinc.
- Acumulación de tubo controlada. Con este mecanismo se podría tener más controlada y mantener constante la cantidad de tubos acumulados en el interior de la paila.
- Posibilidad de automatización del proceso. De ser llevada a cabo la extracción en forma automática, el operador no necesitaría estar tan cerca e interactuar tanto con la máquina. Se podría trabajar en un ambiente más seguro.

Sin embargo, de ser llevada a cabo la automatización del proceso de extracción de tubo, podrían presentarse los siguientes inconvenientes:

- El sistema de guías funcionaría solamente para diámetros de tubo $1\frac{1}{4}$ ", de lo contrario el peso de cada pieza podría no ser significativo para mantenerlo en las guías, por la turbulencia generada en el interior de la paila debido el movimiento del zinc fundido durante las actividades que conllevan a interactuar con este.
- Necesidad de realizar cambio de brazos de extracción en cada cambio de medida de diámetro de tubo.
- Dificultad de ajuste inicial. Sería muy pequeño el margen de error.
- Inversión inicial al requerir mecanismos móviles y necesidad de mantenimiento; aunque no representaría una fracción del costo de una paila de galvanizado de tubo integrada con sistemas completamente automatizados.

6. Conclusiones

El sistema de guías propuesto para las pailas de galvanizado de tubos con mecanismo manual de extracción de piezas, podría representar una optimización significativa en el proceso de galvanizado, ya que con estas guías sería posible adaptar un brazo controlado de manera automática para realizar esta actividad. La propuesta aquí expuesta puede representar una alternativa económica de modernización de una paila de galvanizado con extracción manual, orientada hacia la disminución de defectos en el tubo galvanizado, reproceso, mejor aprovechamiento de zinc y en general mejor aprovechamiento de recursos aumentando la rentabilidad de utilizar utilización de este tipo de pailas como opción para producción continua.

Para adquirir un panorama del estado del arte de lo propuesto, así como una comparativa con otros dispositivos automáticos muy utilizados actualmente, revise el Apéndice B.

Apéndice A. Glosario

Galvanizado (por inmersión o en caliente): Proceso en el cual una pieza de acero es recubierta con una capa de zinc, a través de una reacción química metalúrgica que tiene lugar entre este metal y el hierro a una temperatura de alrededor de 450°C [1].

Zinc o cinc: Elemento químico metálico de número atómico y masa atómica 65.41 u, perteneciente al grupo de los metales de transición, cuyo símbolo químico es Zn [2], [3]. Representa la materia prima para el proceso de galvanizado.

Ácido clorhídrico: Gas formado por una molécula de hidrógeno y una de cloro, de aspecto amarillento y corrosivo. Se utiliza disuelto en agua, en soluciones de alrededor de 15% en volumen como agente removedor de óxido de piezas previo a ser galvanizadas. Es el agente químico más comúnmente utilizado en procesos de galvanizado, aunque en menor

grado son empleados el ácido sulfúrico, fluorhídrico, entre otros ácidos fuertes.

Pieza galvanizada: Cuerpo formado de acero que ha sido recubierto por una capa de zinc, para prevenir su oxidación y corrosión debido a distintas condiciones ambientales. Los tubos galvanizados se utilizan en la industria de la construcción principalmente para la conducción de fluidos y algunos otros componentes como los son el cableado eléctrico. Para obtener mayor información sobre especificaciones para tubo galvanizado comercial, favor de revisar [5], [6], [7], [8].

Paila o crisol de galvanizado: Recipiente metálico construido de una aleación de acero de bajo silicio, se utiliza para contener el zinc fundido utilizado en el proceso de galvanizado de tubos. En este recipiente son sumergidas las piezas a ser galvanizadas; el sistema de guías se encuentra también en su interior, (véase Fig. 1 y Fig. 2).

Sistema de guías: En las pailas de galvanizado, representan estructuras metálicas tubulares fabricadas mediante una aleación de acero de bajo silicio. En estos elementos son colocadas las piezas que por inmersión ingresan a la paila; es don-

de se lleva a cabo la reacción química metalúrgica. Son colocadas en disposición de tres a cuatro unidades, axialmente en dirección a los tubos que son introducidos, para evitar que estos se precipiten hacia el fondo del crisol.

Defecto tubo quemado (o su equivalente): Condición indeseable en un tubo galvanizado que consiste en el desprendimiento de la capa de zinc ante alguna fuerza cortante aplicada en su superficie. Es ocasionado por el rompimiento del enlace químico entre el zinc y el acero, debido a prolongados periodos de tiempo de residencia de estas piezas en el interior de la paila. Su reproceso conlleva a la remoción de la capa de zinc existente mediante ácido clorhídrico.

Defecto tubo manchado (o su equivalente): Condición indeseable de un tubo galvanizado que consiste en la presencia de tramos en la superficie, en los que no se fue llevada a cabo la reacción química entre el zinc y el acero; por tanto, dichos tramos no presentan una capa de zinc, lo que ocasiona un aspecto contrastante discontinuamente en toda la superficie del tubo galvanizado. Su reproceso conlleva a la remoción de la capa de zinc existente mediante ácido clorhídrico.

Apéndice B. Comparación de características generales (sistemas mencionados contra otros dispositivos)

Tabla 2. Tabla comparativa de algunas de las características de los sistemas de extracción de los dispositivos de galvanizado mencionados en este documento, contra otros equipos automáticos [10], [11] ampliamente utilizados hoy en día (representando estos últimos el estado del arte). Los valores deseables de estas variables en general buscados por la mayoría de los galvanizadores, se han establecido con verde, mientras que aquellos menos deseables con rojo, y para un punto intermedio, en color naranja.

Característica	Sistema [10], [11]	Sistema (Fig. 2)	Sistema (Fig. 1)
Acumulación de piezas	Ordenado	Ordenado	Aleatorio
Entrada - salida de piezas	1eras entradas - 1eras salidas	1eras entradas - 1eras salidas	Aleatorio
Intervención necesaria de operador	Baja	Media	Alta (Interacción todo el tiempo)
Velocidad relativa de cambio de medidas de pieza	Media	Media	Alta
Posibilidad de surgimiento de defectos de Apéndice A	Baja	Baja	Alta (Depende de la habilidad del operador)
Capa de zinc obtenida	Baja	Baja	Media - Alta
Tasa de producción	Depende de volumen de crisol	Depende de volumen de crisol	Depende de volumen de crisol y de la habilidad del operador
Costo de inversión de adquisición/modificación	Alto	Medio (actualización de equipo manual)	N/A (suponiendo que ya se cuenta con un equipo manual)
Costo de mantenimiento	Medio	Bajo	Bajo
Costo de operación	Bajo - Medio	Bajo	Bajo

Apéndice C. Valores obtenidos de cálculo en simulación

v_{max} (m/s)	Re [9]				
0.5344	87319.8204				
a	b	c	z		
671.6489	85.5604	2052.3040	0.0038		
t (s)	v (cm/s)	d (cm)	x (cm)	y (cm)	
0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
0.01	5.0729	0.0507	0.0439	-0.0254	
0.02	10.0552	0.2011	0.1742	-0.1006	
0.03	14.8626	0.4459	0.3861	-0.2229	
0.04	19.4227	0.7769	0.6728	-0.3885	
0.05	23.6786	1.1839	1.0253	-0.5920	
0.06	27.5910	1.6555	1.4337	-0.8277	
0.07	31.1377	2.1796	1.8876	-1.0898	
0.08	34.3127	2.7450	2.3773	-1.3725	
0.09	37.1229	3.3411	2.8934	-1.6705	
0.10	39.5853	3.9585	3.4282	-1.9793	
0.11	41.7243	4.5897	3.9748	-2.2948	
0.12	43.5680	5.2282	4.5277	-2.6141	
0.13	45.1468	5.8691	5.0828	-2.9345	
0.14	46.4912	6.5088	5.6368	-3.2544	
0.15	47.6305	7.1446	6.1874	-3.5723	
0.16	48.5921	7.7747	6.7331	-3.8874	
0.17	49.4008	8.3981	7.2730	-4.1991	
0.18	50.0790	9.0142	7.8065	-4.5071	
0.19	50.6465	9.6228	8.3336	-4.8114	
0.20	51.1202	10.2240	8.8543	-5.1120	
0.21	51.5151	10.8182	9.3688	-5.4091	
0.22	51.8438	11.4056	9.8776	-5.7028	
0.23	52.1170	11.9869	10.3810	-5.9935	
0.24	52.3439	12.5625	10.8795	-6.2813	
0.25	52.5323	13.1331	11.3736	-6.5665	
0.26	52.6884	13.6990	11.8637	-6.8495	
0.27	52.8179	14.2608	12.3502	-7.1304	
0.28	52.9251	14.8190	12.8336	-7.4095	
0.29	53.0139	15.3740	13.3143	-7.6870	
0.30	53.0874	15.9262	13.7925	-7.9631	
0.31	53.1483	16.4760	14.2686	-8.2380	
0.32	53.1986	17.0236	14.7428	-8.5118	
0.33	53.2403	17.5693	15.2154	-8.7847	
0.34	53.2747	18.1134	15.6867	-9.0567	
0.35	53.3032	18.6561	16.1567	-9.3281	
0.36	53.3268	19.1976	16.6256	-9.5988	
0.37	53.3463	19.7381	17.0937	-9.8691	
0.38	53.3624	20.2777	17.5610	-10.1389	
0.39	53.3757	20.8165	18.0276	-10.4083	
0.40	53.3868	21.3547	18.4937	-10.6774	
0.41	53.3959	21.8923	18.9593	-10.9462	
0.42	53.4034	22.4294	19.4244	-11.2147	
0.43	53.4096	22.9661	19.8892	-11.4831	
0.44	53.4148	23.5025	20.3537	-11.7513	
0.45	53.4190	24.0386	20.8180	-12.0193	
0.46	53.4225	24.5744	21.2820	-12.2872	
0.47	53.4254	25.1100	21.7458	-12.5550	
0.48	53.4278	25.6454	22.2095	-12.8227	
0.49	53.4298	26.1806	22.6731	-13.0903	
0.50	53.4315	26.7157	23.1365	-13.3579	
0.51	53.4328	27.2507	23.5998	-13.6254	
0.52	53.4340	27.7857	24.0631	-13.8929	
0.53	53.4349	28.3205	24.5262	-14.1603	
0.54	53.4356	28.8552	24.9894	-14.4277	
0.55	53.4363	29.3900	25.4524	-14.6950	
0.56	53.4368	29.9246	25.9155	-14.9623	
0.57	53.4372	30.4592	26.3784	-15.2296	
0.58	53.4376	30.9938	26.8414	-15.4969	
0.59	53.4379	31.5284	27.3043	-15.7642	
0.60	53.4381	32.0629	27.7673	-16.0315	
0.61	53.4383	32.5974	28.2301	-16.2987	
0.62	53.4385	33.1319	28.6930	-16.5660	
0.63	53.4386	33.6663	29.1559	-16.8332	
0.64	53.4388	34.2008	29.6187	-17.1004	
0.65	53.4389	34.7353	30.0816	-17.3677	
0.66	53.4389	35.2697	30.5444	-17.6349	
0.67	53.4390	35.8041	31.0073	-17.9021	
0.68	53.4390	36.3386	31.4701	-18.1693	
0.69	53.4391	36.8730	31.9329	-18.4365	
0.70	53.4391	37.4074	32.3957	-18.7037	
0.71	53.4392	37.9418	32.8585	-18.9709	
0.72	53.4392	38.4762	33.3214	-19.2381	
0.73	53.4392	39.0106	33.7842	-19.5054	
0.77	53.4393	41.1482	35.6354	-20.5742	
1.77	53.4393	94.5876	81.9152	-47.2939	
2.77	53.4393	148.0269	128.1949	-74.0136	
3.77	53.4393	201.4662	174.4747	-100.7333	
4.77	53.4393	254.9055	220.7545	-127.4530	
5.77	53.4393	308.3448	267.0342	-154.1727	
6.77	53.4393	361.7841	313.3140	-180.8924	
7.77	53.4393	415.2234	359.5937	-207.6121	
8.77	53.4393	468.6627	405.8735	-234.3318	
9.77	53.4393	522.1020	452.1533	-261.0515	

Apéndice D. Tabla de factor de fricción de Fanning [12]

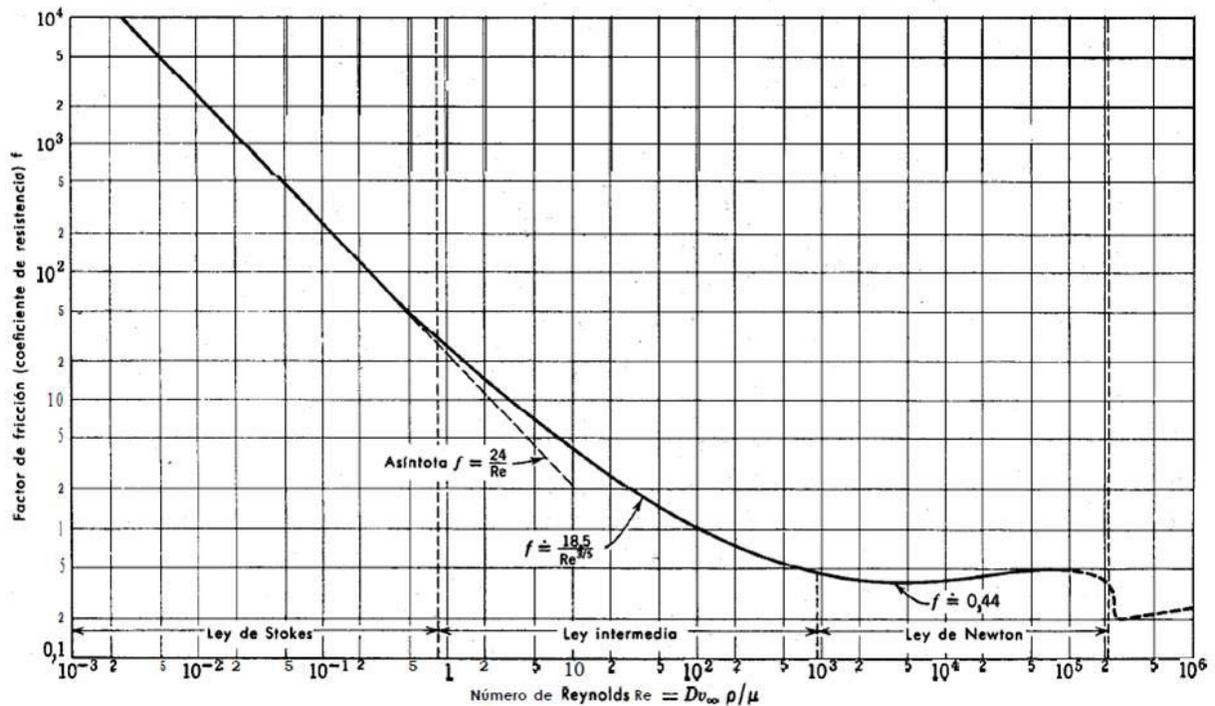


Fig. 8. Tabla de factor de fricción de Fanning, obtenida de [12].

Referencias

- [1] American Galvanizers Association, "Hot-Dip Galvanizing for Corrosion Protection, a specifiers guide," 2012. [en línea]. Disponible en: http://galvanizeit.org/uploads/publications/Galvanized_Steel_Specifiers_Guide.pdf. Consultado: 25 mayo, 2017.
- [2] American Society for Testing and Materials, "Standard Specification for Zinc," ASTM B6 - 13, 2013. Consultado: 5 febrero, 2015.
- [3] R. Chang, *Química*, 4a ed., Ciudad de México: McGraw-Hill, 1992.
- [4] A. Ramón Córdoba, "Control de Espesor en el Proceso del Galvanizado," Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, N. L., México, 1993. [en línea]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/6216/1/1020070659.PDF>. Consultado: 01 abril, 2017.
- [5] American Society for Testing and Materials, "Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless," ASTM A53A/A53M-12, 2012. Consultado: 16 julio, 2017.
- [6] American Society for Testing and Materials, "Standard Test Method Weight [Mass] of Coating on Iron and Steel Articles with Zinc or Zinc-Alloy Coatings," ASTM A90/A90M - 13, 2013. Consultado: 16 julio, 2017.
- [7] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, "Tubos de Acero Con o Sin Costura, Negros y Galvanizados en Caliente," 1990, NMX-B-177. Consultado: 17 julio, 2017.
- [8] American National Standards Institute, Inc., "American National Standard for Electrical Rigid Steel Conduit (ERSC)," ANSIC80.1, 2005. Consultado: 16 julio, 2017.
- [9] R. H. Perry, D. W. Green /& J. O. Maloney, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, Nueva York: McGraw-Hill, 1997.
- [10] C. Gillet, "Automatic Equipment for Galvanizing Tubes". U. S. Patent 3,410,200, filed June 14, 1965, and issued November 12, 1968. Consultado: 02 abril, 2017.
- [11] L. Gang, W. Yaping, G. Jianjun, "Machine for Automatically Picking Out Galvanizing Steel Pipes". C. N. Patent CN201704394U, 2011.
- [12] R. B. Bird, W. E. Stewart & E. N. Lightfoot, *Fenómenos de transporte*, 2a ed., Ciudad de México: Limusa, 2006.

Instituto Politécnico Nacional

Científica

La Revista Mexicana
de Ingeniería Electromecánica

Número de artículos descargados por región (2007-2012):

México
54 024

América Latina y el Caribe
40 194

Estados Unidos y Canadá
13 254

Europa
15 967

Asia, África y Oceanía
6 025

Fuente: Sistema de Información Científica Redalyc
www.redalyc.org

Determinantes sistémicos de viabilidad en las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en México

Marcos **Salinas-Reyes**

Isaías **Badillo-Piña**

Ricardo **Tejeida-Padilla**

Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (Zacatenco)
Av. Instituto Politécnico Nacional s/n,
Edificio 5, 3er piso, Cubículo 14.
Unidad Profesional Adolfo López Mateos,
Colonia Lindavista, Ciudad de México, CP 07738.
MÉXICO

Tel. +52 (55) 5513979641
correos electrónicos (email):
marsalmx@yahoo.com

ibadillop@gmail.com, ibadillop@ipn.mx
ricardotp75@hotmail.com, rtejeidap@ipn.mx

Recibido 10-10-2017, aceptado 19-01-2018.

Resumen

El propósito de esta investigación es la determinación, desde el punto de vista de la ciencia de sistemas, de los componentes mínimos necesarios de viabilidad de una organización que pueden ayudar a la Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES) a replantear su estructura orgánica y funcional para hacer frente a la complejidad del mercado, atenuando de esta manera los factores incidentes en el cierre temprano forzado ("mortandad"). Para el logro de tal fin se identificaron y clasificaron los factores más frecuentes que originan el cierre temprano de PYMES, dichos factores fueron analizados e integrados conceptualmente con base en el Modelo de Sistemas Viables introducido por Stafford Beer en los años ochenta, definiéndose un total de veinticinco elementos que, de forma empírica, proporcionan los parámetros de referencia para diagnosticar y rediseñar organo-funcionalmente la operatividad de una PYME para que sea viable, es decir, no solo mantenga su existencia sino que trascienda en la variedad de sus mercados.

Palabras clave: viabilidad, PYMES, modelo de sistemas viables, variedad.

Abstract

(Viability Systemic Determinants in SMEs in Mexico)

The purpose of this research is to determine, from the point of view of science systems, the minimum components necessary for viability of an organization that can help Small and Medium Enterprises (SMEs) to raise its organizational and functional structure to face market complexity, thereby attenuating the factors which affect the operation to early close enterprise. To achieve this end were identified and ranked the most frequent factors that cause early closure of SMEs, these data were analyzed conceptually based on the Model of Viable Systems, defining a total of twenty five elements that, empirically, provide the benchmarks for diagnosing and redesigning the organizational and functional operation of an SME in order to viable organization, that is, not only to maintain its existence but to transcend the variety of market.

Index terms: viability, SMEs, viable system model, variety.

1. Introducción

Las Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES) tienen una relevancia económica considerable para los países. Contribuyen en México con un porcentaje significativo del PIB (37.5%) y con un índice alto de empleos (6 de cada 10). Sin embargo, este grupo de empresas es uno de los más vulnerables debido a que, en su mayoría, carecen de una estructura organizacional robusta y de una falta de claridad funcional que les permita hacer frente a la variedad de retos impuestos por el mercado y las implicaciones que éste conlleva, trayendo consigo el cierre temprano de las mismas pasando a formar parte de las estadísticas de "mortandad" empresarial.

Existe consenso respecto a que la "mortandad" de este conglomerado de empresas es debida a una falta de robustez en su estructura órgano-funcional, a las deficiencias en la toma de decisiones en sus procesos internos y a la falta de capacidad para contrarrestar las exigencias de su entorno.

En México, pese a las acciones tomadas por sectores públicos y privados, muchos empresarios no han logrado mantener la organización en el mercado, lo cual es un claro indicador que en el enfoque de estudio para dar viabilidad al emprendimiento, las acciones deben generarse desde el inte-

rior de la empresa, considerando desde luego que el escenario exterior técnicamente, en general, es similar para todos los emprendedores o administradores de una PYME en el sector comercial en el que se desempeñan.

Se han propuesto diversos diagnósticos para PYMES que coadyuvan a recopilar datos u otros que con base en datos existentes, se analizan con diversos métodos para entender, identificar o pronosticar su decadencia temprana [1], sin embargo, estos diagnósticos son elaborados y complejos para el entendimiento e implementación de la mayoría de los dirigentes de estas empresas.

Por lo anterior, la situación amerita la conveniencia de conocer de forma accesible cuáles son los componentes que permita a las PYMES identificar las debilidades de la empresa y la complejidad en su entorno para, que de forma oportuna, se prevean acciones con el fin de evitar su decadencia temprana.

Para tal fin, se ha adoptado una herramienta existente en el acervo teórico de la Ciencia de Sistemas denominado Modelo de Sistemas Viables (MSV) desarrollado por Beer [2], [3], [4] y retomado por pensadores sistémicos reconocidos como Espejo [5], Leonard [6], Perez-Ríos [7], entre otros. El MSV propone las condiciones mínimas necesarias para que una organización funcionalmente sea viable y cuya conformación puede consultarse en los textos del mismo autor y recientemente a través de Regaliza [8], la cual ha sido probada como herramienta útil de diagnóstico [8], [9], motivo por el que el MSV se tomará de base para estructurar una guía que permita diagnosticar y con ello identificar las debilidades de la organización e implementar acciones correctivas en un principio, preventivas en una segunda etapa y proactivas en una fase de mejora continua.

A continuación se presenta una breve descripción de los conceptos cibernéticos que fundamentan este artículo:

Viable. Capaz de mantener una existencia separada organizacional y rentablemente.

Homeostasis. Estabilidad del ambiente interno de un sistema ante ambientes externos impredecibles.

Variación. Número de posibles estados de un sistema.

Ley de variedad requisita (Ley de Ashby) [10]. Solo la variedad puede absorber variedad.

Atenuador. Dispositivo para reducir la variedad.

Amplificador. Dispositivo para aumentar la variedad.

Recursión. Nivel de organización que anida todos los niveles embebidos dentro del mismo.

1.1. Reflexión sistémica de la situación de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en México

Con base en el censo económico 2012 en México, en el año 2014 se contabilizaron 5,664,515 unidades económicas de las cuales 95.4% (5,402,412) eran microempresas, 3.6% (206,482) pequeñas empresas, 0.8% (45,291) medianas empresas y el 0.2% restante son grandes empresas, con un crecimiento del 6.2% en la creación de empresas, sin embargo a pesar de que existe un aumento de creación de empresas respecto a censos económicos anteriores, son muy pocas las que se mantienen en el mercado y las que sobreviven tienen una esperanza de vida media de 7.7 años de acuerdo con el análisis de la demografía de los establecimientos que realizó el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el año 2012. Lo anterior, debido a una combinación de factores en la que predomina la falta de capacidad en general de la administración de la empresa [11] y a la ausencia de una organización funcional viable.

Se estima que el 75% de nuevas empresas cierran antes de cumplir los dos años de operaciones y solo el 10% maduran al llegar a los 10 años. En opinión de los afectados, este fracaso se atribuye a factores externos (burocracias, falta de financiamiento, trabas en los mercados, entre otros), en contraste para los analistas el fracaso se atribuye a causas internas de la organización, las que se pueden encuadrar en dos grandes rubros: "patologías" órgano-funcionales y la falta de capacidades de los administradores [11].

La falta de capacidad del administrador como parámetro sería muy complejo medirlo, pero puede simplificarse si lo vemos como resultado de la integración de una serie de factores internos como respuesta de la demanda de factores externos. De lo anterior, y del estudio del contexto de la organización (ambiente) se ha establecido una serie de factores que se considera que su ausencia va construyendo las condiciones para el fracaso de muchas PYMES. Con base en lo antes expuesto, el cierre temprano se atribuye a diversos factores y causas que se resumen en la Tabla 1.

Los factores y causas de fracaso antes mencionados son reflejo de la falta de capacidad de la organización para contrarrestar la variedad de la variedad proveniente de su entorno (factores externos).

Es decir, conforme la empresa toma acciones para contrarrestar la complejidad proveniente del ambiente, ésta va generando funciones y actividades al interior de la misma, que muchas veces no son administradas correctamente provocando

Tabla 1. Factores y causas más comunes en el fracaso de las PYMES en México, en orden de importancia descendente.

Factor	Núm.	Causa
Tecnología	1	Incapacidad para abordar la razón del cambio tecnológico a sus procesos y productos.
Innovación	2	Estancamiento en productos y procesos
Administración	3	Falta de una definición órgano-funcional.
Organización	4	Falta de una identidad empresarial
Financiamiento	5	Crédito limitado por considerarse de alto riesgo financiero debido al alto índice de cierres temprano.

caos y descontrol que repercuten o generan reacciones en cadena tanto al interior como al exterior, incrementando las afectaciones por ambos ambientes. Conforme a los principios de la cibernética y ciencias de sistemas, esta situación se vuelve cíclica provocando el desbordamiento de los subsistemas más débiles hasta colapsar a la organización.

La complejidad del ambiente siempre está presente para las empresas en actividad, y se encuentra latente en el caso de las ideas de negocio, cuya acción comienza una vez que la idea de negocio se materializa, en cuyo caso e inmediatamente la complejidad comienza a fluir en demanda de respuesta por parte de la organización recién creada.

En la medida que la organización vaya limitando y absorbiendo la complejidad proveniente de su entorno, ésta logrará el equilibrio y en la medida que mantenga la homeostasis iniciará a crecer en sus capacidades para pasar de un estado "A" a un estado "B", como resultado de un estado "A" mejorado por las acciones de ingeniería de la variedad (véase Fig. 1).

Para estudiar a una organización, en primer lugar se requiere conocer sus componentes principales para identificar los elementos en los cuales se fundamenta la organización, para tal fin se ha disgregado e integrado conceptualmente la pequeña organización, notando que lo mismo aplica a la pequeña y mediana empresa (véase Fig. 2a y 2b).



Fig. 1. Transición de la organización para alcanzar la viabilidad. Fuente: Basado en Mobus & Kalton [12].

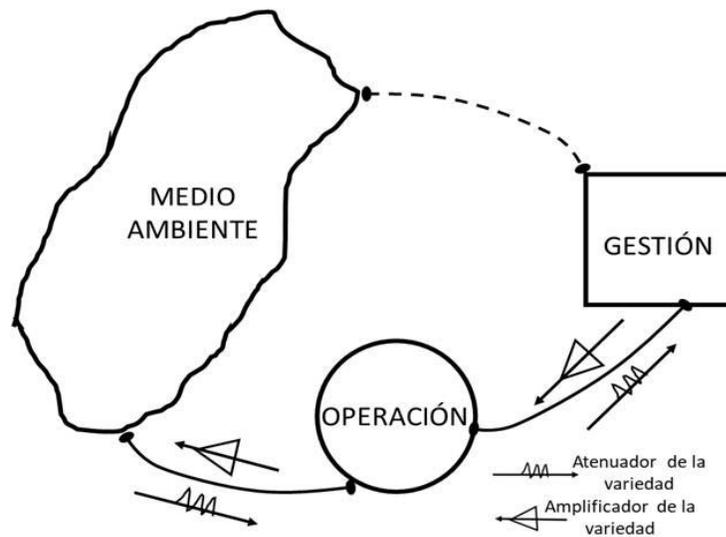


Fig. 2a. Componentes básicos del Sistema 1 MSV. Fuente: Basado en Beer [4].

Los tres componentes básicos interactúan como se muestra en la figura 2a, de tal manera que se cumpla con la ley de Ashby: solo la variedad puede absorber a la variedad.

De la figura 2b, observamos que la complejidad de la PYMES está en función de los atributos (variedad, cantidad, calidad y precio, por señalar algunos) de los bienes/servicios que oferta, que a su vez implica un cierto personal e infraestructura para producirlos y suministrarlos a satisfacción de los clientes, estos en su conjunto conforman la organización viable

con una administración y una operación para llevarla a cumplir sus objetivos.

2. Desarrollo

Para la determinación de los parámetros que deben cumplir las PYMES para gestionar su viabilidad organo-funcional, se seleccionó el Modelo de Sistemas Viable (MSV). La decisión de la elección de uso del MSV es debido a que es una herramienta probada del pensamiento de la Ciencia de Sistemas

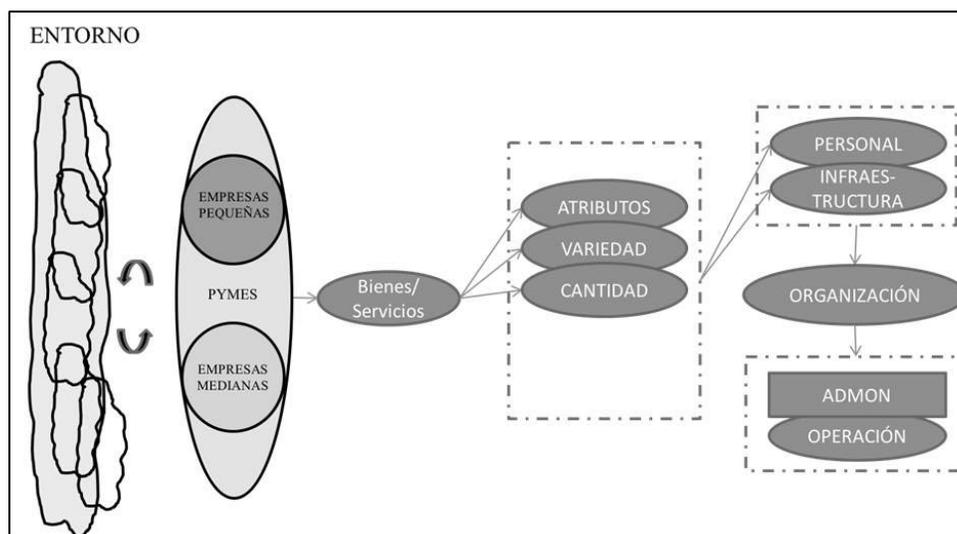


Fig. 2b. Desglose de la funcionalidad de la organización.

que establece de forma general la funcionalidad sistémica que las organizaciones deberían estructurar para mantenerse en el mercado. Esta herramienta permitirá identificar los componentes particulares mínimos necesarios para que una PYME sobreviva más allá de la media de vida (7.7. años) de operaciones. La determinación se llevará a cabo encuadrando los principales factores de fracaso en el MSV e identificando la correlación de la función que debe atenuarlo y a partir de ésta correlación determinar los componentes necesarios con los que debe cumplir la organización para subsistir.

De la disgregación e integración conceptual de las PYMES (figura 2b), identificamos que se correlaciona con la funcionalidad del MSV (figura 3), notando que si bien ambos rubros de empresas pequeñas y medianas tienen su problemática muy particulares, se identifican características comunes, hecho que facilita determinar los componentes para ambos grupos de organizaciones y así incorporar el MSV para determinarlos componentes de diagnóstico de ambos tamaños de empresas.

En este sentido, y considerando que los factores de fracaso tienen interacción en ambos entornos interno y externo, se

Tabla 2. Clasificación de los factores frecuentes de fracaso según el entorno en el que se presentan.

Núm.	ENTORNO EXTERNO	ENTORNO INTERNO
1	Mercado	Organizacional
2	Sociopolítico	Administración
3		Innovación
4		Tecnología
5		Financiero

clasificaron dichos factores en función del entorno en el que tienen mayor ponderación o representación, considerando por el momento despreciable el entorno en el que tienen menos interacción con el fin de establecer las correlaciones pertinentes (véase Tabla 2).

El factor organizacional óptimo se resuelve acotando la variedad proveniente del entorno externo (lo que se requiere atender del entorno) y contrarrestándola con la activación o implementación de elementos funcionales en la organización

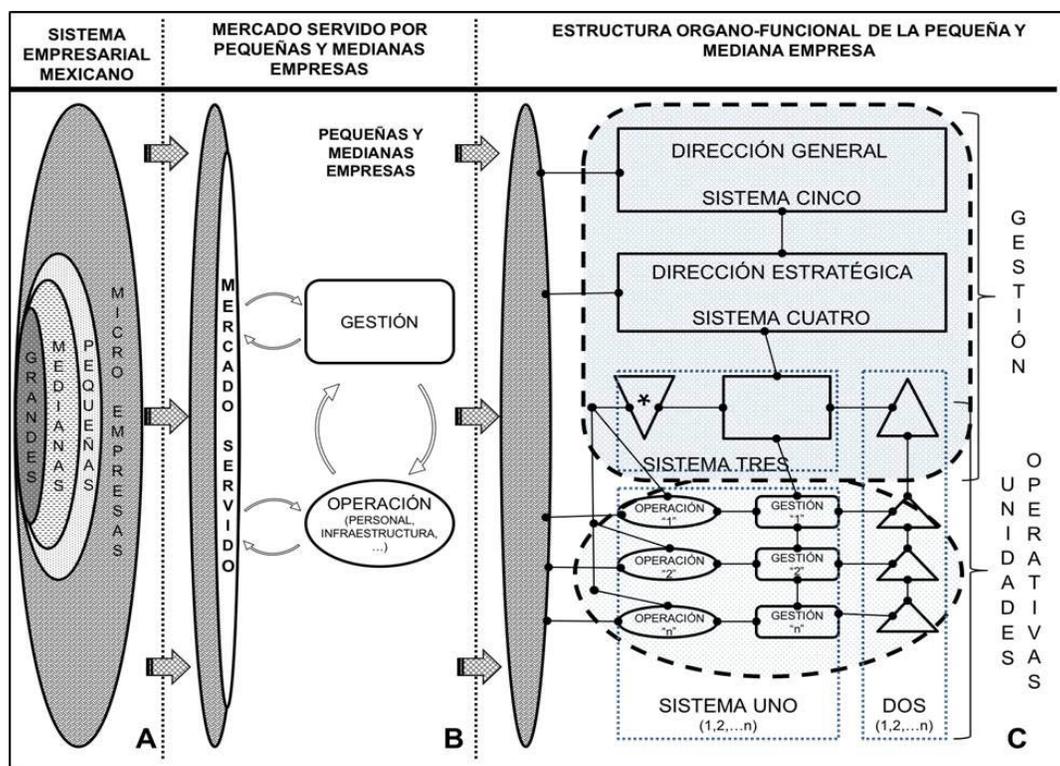


Fig. 3. Evolución conceptual del Modelo de Sistemas Viables: caso PYMES. Fuente: Adaptado de Beer [4].

Tabla 3. Niveles recursivos para estructurar la organización verticalmente.

Núm.	ENTORNO	NIVELES VERTICALES		
1	Mercado	Nacional	clientes	Producto
2	Innovación	Producto	nuevos	mejorados
...

(desglose vertical), debe observarse la existencia de componentes del entorno externo que solo requerirán de atención especial en un momento dado, como es el caso del cumplimiento de requisitos normativos, atendiendo al equilibrio funcional con el fin de no crear un departamento ocioso permanente para su solventación (véase Tabla 3).

De este desdoblamiento de las organizaciones, se observa que una vez que las empresas deciden hacer frente a uno a varios elementos provenientes de la variedad del ambiente, se incrementan las funciones y actividades de la organización, que normalmente y en muchos casos, erróneamente, las empresas resuelven con el incremento de personal con su correspondiente estructura orgánica.

Para evitar una estructuración deficiente en la organización, necesariamente se debe identificar las causas de fracaso con su respectivo entorno y contrastar el resultante con una función al interior de la empresa que permita contrarrestar la complejidad de la demanda (véase Tabla 4).

Al encuadrar la actividad genérica en el MSV, se observa que en la acotación de absorción de variedad, muchos subsistemas provenientes del entorno pueden considerarse constantes

temporal y espacialmente, debido a que si bien son aspectos regulatorios y de forma que le demandan atención a la empresa, estos subsistemas se tornan en aspectos a cumplir y solo varían en un espacio determinado y por un momento en el tiempo para volver a la estabilidad temporal y espacial. Tales subsistemas corresponden a los aspectos que tiene que ver con la constitución legal de la empresa y sus obligaciones ante el marco regulatorio (fiscal, legal, ambiental, social, etc.). Un segundo aspecto de absorción de dinamismo intermedio corresponde al interior de la organización, y que se va constituyendo en la administración propia de la organización.

Una actividad fundamental, que le demanda mayor atención a la organización, se refiere al mayor dinamismo que requiere de atenciones especiales en la absorción de la complejidad, es el entorno que corresponde al mercado y sus implicaciones del mismo respecto a la empresa.

La atención al entorno del mercado servido es el que genera una mayor variedad para la empresa, ya que a fin de cumplir con el mayor éxito posible, le demandará a la organización componentes financieros, de innovación y tecnológicos; y demás factores que hasta el momento hemos visto que son causa de fracaso por no poder cumplir de forma satisfactoria. Una vez determinado los componentes con mayor relevancia y en la que se considera que la toma de acciones sobre el entorno del mercado servidos puede tener mayor incidencia en la viabilidad y competitividad de la organización, desglosaremos el mismo para detectar el o los elementos relevantes en los que se debe actuar de forma inmediata para tener una mayor absorción de la variedad del entorno.

De este desdoblamiento, se observa que la variedad proveniente del mercado que puede ser atenuado por la empresa,

Tabla 4. Correlación de las causas de fracaso con su correspondiente encuadramiento en los cinco subsistemas del Modelo de Sistemas Viabiles.

Núm.	ENTORNO	FACTOR	SUBSISTEMA RESPONSABLE				
			1	2	3	4	5
1	Financiero	Financiero				□	●
2	Normativo	Administración			□		●
3	Mercado	Innovación	●		□	●	
4	Social, Sustentabilidad	Administración		□			●
5	Político	Administración					●
6	Tecnológico	Tecnológico	□			●	

● responsabilidad | □ corresponsabilidad

está en función de los atributos del producto/servicio ofertado. Entre mayores sean los grados de bondad de los atributos de un producto/servicio específico, mayor será la demanda del mismo, los cuales generarán requerimientos de infraestructura para captar el correspondiente aumento de participación en el mercado.

La infraestructura requerida para absorber la variedad del mercado es la que va a marcar la complejidad de la organización. Es por eso que este requerimiento de infraestructura debe controlarse prioritariamente.

Para organizaciones productivas, corresponde principalmente un análisis costo beneficio y optimización de recursos para determinar las acciones a implementar ya que de no realizarse la organización puede crecer en complejidad nula/ociosa (complicación) que no absorba variedad del mercado pero que consume los recursos innecesariamente de la organización.

En los casos de requerimientos de las unidades operativas debe considerarse en el análisis integrativo la opción de absorber los requerimientos de la variedad con tecnología para la sistematización en los casos que aplique, evitando la subjetividad y el error humano directamente en las operaciones.

3. Resultados

3.1. Determinación de los componentes de la viabilidad organizacional en PYMES

Del análisis integrativo de las PYMES encuadradas en el MSV (véase Tablas 5a y 5b), resultaron cuestionamientos por subsistemas que sirvieron en la determinación de los componentes para cumplir el mínimo necesario para mantener la funcionalidad del subsistema.

Tabla 5a. Operacionalización de sistemas funcionales relevantes.

SISTEMA RELEVANTE	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN
(1) OPERACIÓN	Operación	Actividad que aporta valor agregado ...	Responsable de producir y entregar los bienes/servicios ...	Producto, Maquinaria y/o equipo, Producción...
(2) COORDINACIÓN	Coordinación	Sistema de apoyo a la gestión para mantener el equilibrio...	Su finalidad es transmitir información obtenida ...	Sistemas de información, Políticas...
(3) DIRECCIÓN	Planeación y Control	Función que se ocupa de la gestión ...	Tiene como finalidad alcanzar el funcionamiento ...	Objetivos/Metas, Gestión (tipo ERP)...
(3*) MONITOR/AUDITOR	Soporte	Función de apoyo ...	Su finalidad es obtener información ...	Auditorías, Estándares...
(4) ESTRATÉGICO	Prospección	Órgano de adaptación futura ...	Responsable de identificar en tiempo y forma los cambios ...	Económico, Político-social, Tecnológicos...
(5) ALTA DIRECCIÓN	Autoridad	Constituye la máxima función de autoridad ...	Es la función responsable de establecer ...	Identidad, Dirección, Normativa...

Tabla 5b. Operacionalización de sistemas funcionales relevantes (continuación).

SISTEMA RELEVANTE	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	REACTIVO ¹
(1) OPERACIÓN	Operación	Producto	Radical/disruptivo, ...	1.3
		Maquinaria y/o equipo	Alta tecnología, ...	1.2
		Producción...	Serie, ...	1.1
(2) COORDINACIÓN	Coordinación	Sistemas de información	Producción, ...	2.1
		Políticas...	Contables, ...	2.2
(3) DIRECCIÓN	Planeación y Control	Objetivos/Metas,	Producción, ...	3.1, 3.5
		Gestión (tipo ERP)...	Optimización, ...	3.2, 3.4
(3*) MONITOR/AUDITOR	Soporte	Auditorías	Calidad, ...	3.3
		Estándares...	Producto, ...	2.4
(4) ESTRATÉGICO	Prospección	Económico	Competidores, ...	4.1, 4.2
		Políticosocial	Reglamentación, ...	4.3
		Tecnológicos...	Prospectiva, ...	4.4, 4.5
(5) ALTA DIRECCIÓN	Autoridad	Identidad	Misión	5.1
		Dirección	Visión	5.2
		Normativa...	Metas	5.3

¹Correlacionado con el numeral de identificación en la Tabla 6.

Los determinantes resultantes constan de cinco elementos encuadrados en secciones que corresponden a cada uno de los sistemas del MSV (véase Tabla 6), correlacionados entre sí, y con ello estar en posibilidades de establecer las acciones pertinentes para en un tiempo urgente atender a los elementos más apremiantes y gradualmente atender de forma descendente el resto de los elementos. Cabe mencionar, que la atención a uno de los elementos va impactar al resto de los sistemas debido a las interacciones cibernéticas que conlleva la estructura del MSV.

3.2. Empleo de los determinantes de la viabilidad en PYMES

Para validar y ejemplificar el uso de los determinantes resultantes de este estudio, se aplicó un instrumento de diagnóstico (con 25 reactivos) elaborado con base a dichos determinantes a una empresa con características de mediana empre-

sa, con el afán de conservar el anonimato le llamaremos la organización X con 21 años de existencia en el mercado, dedicada a la fabricación y comercialización de pintura en aerosol, obteniéndose el estado actual de la empresa (véase Fig. 4).

Del resultado del diagnóstico prototipo observamos que la Empresa X (se denomina así por respeto a la privacidad) tiene viabilidad organizacional por un determinado tiempo (7.6 años permanencia media nacional), debido a que con base al sondeo de la existencia de los determinantes identificados, carece de visitas técnicas a sus clientes, sin embargo la atención pertinente de este aspecto a lo largo de su trayectoria, le traerá mejoras al producto o servicio que ofrece e inclusive innovaciones radicales que le harán posicionarse y ampliar su cartera de clientes.

Es muy probable que este tiempo de viabilidad se prolongue mayor tiempo por arriba de la media nacional, ya que en entrevis-

Tabla 6. Componentes determinantes de viabilidad.

COMPONENTES DETERMINANTES (FUNCIONES)		
SISTEMA UNO (1): OPERACIÓN	SISTEMA DOS (2): COORDINACIÓN	SISTEMA TRES (3): DIRECCIÓN OPERATIVA
1.1 Programa de producción	2.1. Solución de conflictos	3.1. Objetivos de producción
1.2 Ruta crítica de producción	2.2. Materiales	3.2. Asignación de recursos
1.3 Manual de fabricación	2.3. Relaciones Humanas	3.3. Normas de calidad y sustentabilidad
1.4 Instrumentos calibre	2.4. Coordinación de uso de recursos	3.4. Sistema de administración de la producción
1.5 Visitas técnicas al cliente	2.5. Estadísticas de conflictos	3.5. Programas de comunicación
SISTEMA CUATRO (4): ESTRATÉGICO	SISTEMA CINCO (5): ALTA DIRECCIÓN DIRECCIÓN GENERAL	
4.1. Competidores	5.1. Misión con revisiones periódicas	
4.2. Mercados emergentes	5.2. Visión con revisiones periódicas	
4.3. Modificaciones del sector	5.3. Metas y políticas de administración	
4.4. Actualización especializada del sector	5.4 Canales efectivos de comunicación con el entorno total	
4.5 Conocimiento de nuevas tecnologías	5.5. Sistema Financiero y Plan de negocio	

ta con el director de la empresa se ha detectado que dicha función es realizada indirectamente por este, sin embargo se prevé que en determinado momento del crecimiento de la empresa, la ausencia del determinante puede ser significativa al grado de impactar de

forma negativa en el resto de los determinantes que se cumplen y reducir esta viabilidad que la empresa ha adquirido al haber decidido activar la función del sistema 4 del MSV (subsistema tecnológico), responsable del futuro de la empresa.

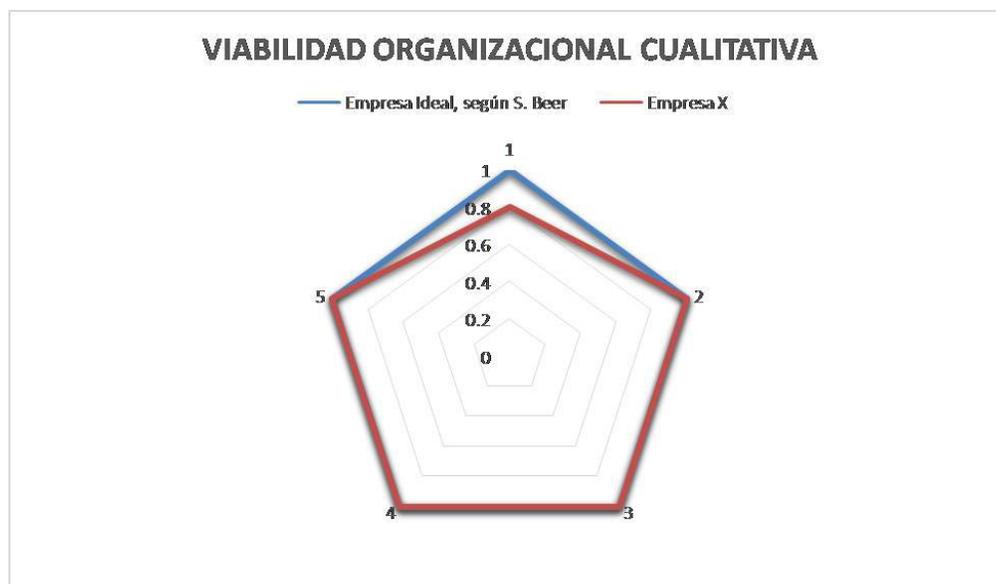


Fig. 4. Resultado del diagnóstico de viabilidad organizacional en base a los determinantes integrados.

4. Discusión

Con base en el análisis integrado de las principales causas que originan el fracaso de las PYMES bajo el estudio de MSV, se obtuvieron cinco determinantes representativos por cada uno de los subsistemas de dicho modelo, elementos necesarios para atenuar cada uno de los aspectos incidentes en el cierre temprano de pequeñas y medianas empresas en México, y que de forma empírica, proporcionan los parámetros de referencia para que una organización de tamaño pequeña o mediana sea viables organizacionalmente.

Los parámetros obtenidos guardan correlación respecto a los factores de fracaso supuestos con la atenuación de los mismos con base a la funcionalidad que establece el MSV, sin embargo, se considera que estos parámetros empíricos deben ser validados respecto al sector e inclusive al subsector económico de interés con el fin de definir su utilidad como información base en la conformación de reactivos y así estar en posibilidades de recabar información respecto al estado actual de las empresas del sector y nivel de empresa y, que una vez procesada dicha información, nos permita correlacionar dichos parámetros para la integración de un instrumento de diagnóstico de viabilidad organizacional que pueda ser usado como herramienta-guía por las PYMES para identificar disfunciones, y con ello cuenten con elementos de juicio para la toma de decisiones respecto a las acciones que permitan corregir la funcionalidad y mejoren el desempeño de la organización en el afán de lograr un estado de equilibrio que les permitan generar los atributos para ser viables y aseguren su permanencia en el holón al que pertenecen. Lo anterior está considerado como la continuación de la presente investigación y que será el tema del próximo trabajo en la publicación de los resultados.

5. Conclusiones

Los determinantes obtenidos a partir del análisis integrado de MSV y los factores incidentes en el cierre temprano son representativos y útiles en la elaboración del instrumento de diagnóstico de la viabilidad organizacional cualitativa. Así mismo, dicho instrumento resulta ser una herramienta cualitativa rápida y efectiva de autodiagnóstico organizacional para las PYMES, que les permitirá tomar las acciones correctivas, preventivas e inclusive proactivas enfocadas en las disfunciones detectadas, sin embargo, se considera que estos parámetros empíricos deben ser validados respecto al sector e inclusive al

subsector económico de interés con el fin de identificar la correlación para establecer la desviación de los datos obtenidos. En la medida de la difusión y aplicación de los determinantes en el autodiagnóstico de las PYMES en México, existen probabilidades de contribuir a disminuir la tasa de cierres tempranos de las empresas y aumentar la permanencia media de las organizaciones en el mercado.

Referencias

- [1] K. Kosmidis, & A. Stavropoulos, "Corporate failure diagnosis in SMEs," *International Journal of Accounting & Information Management*, vol. 22, núm.1, pp. 49-67, 2014. Disponible en <http://doi.org/10.1108/IJAIM-01-2013-0001>
- [2] S. Beer, *The Heart of Enterprise*. UK: Wiley, 1979.
- [3] S. Beer, *The Brain of the Firm*. UK: Wiley, 1981.
- [4] S. Beer, *Diagnosing the System for Organizations*, UK: Wiley, 1985.
- [5] R. Espejo, & A. Reyes, *Organizational Systems. Managing Complexity with the Viable System Model*. Berlin: Springer, 2011.
- [6] A. Leonard, "A Viable System Model: Consideration of Knowledge Management," *Journal of Knowledge Management Project*, pp. 1-19, 1999.
- [7] J. Pérez-Ríos, *Diseño y diagnóstico de organizaciones viables*. España: Rústica, 2008.
- [8] J. C. P. Regaliza, "Quantitative analysis of viable systems model on software projects in the ict sector in Castilla y León," *Kybernetes*, vol. 44, núm. 5, pp. 806-822, 2015. Disponible en <http://doi.org/10.1108/K-06-2014-0112>. 2015.
- [9] S. Hildbrand, & S. Bodhanya, "Guidance on applying the viable system model," *Kybernetes*, vol. 44, núm. 2, pp. 186-201, 2015. Disponible en <http://doi.org/10.1108/K-01-2014-0017>
- [10] W.R. Ashby, "Requisite Variety and its Implication from the Control of Complex Systems," *Cybernetica* vol. 1, núm 2, pp. 83-99, 1958.
- [11] E. E. Filho, A. F. Albuquerque, M. S. Nagano, L. A. P. Junior, & J. de Oliveira, "Identifying SME mortality factors in the life cycle stages: an empirical approach of relevant factors for small business owner-managers in Brazil," *Journal of Global Entrepreneurship Research*, vol. 7, núm. 1, p. 5. Disponible en <http://doi.org/10.1186/s40497-017-0064-4>. 2017.
- [12] G. E. Mobus, & M. C. Kalton, *Principles of Systems Sciences*, New York: Springer, 2015.

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

La revista *Científica* es una publicación semestral editada por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México, 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 revistacientifipn@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 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, el teléfono (con la clave internacional de su 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], con las siguientes especificaciones (*IEEE Editorial Style Manual*, 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. Udmani, "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 revistacientifipn@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 revistacientifipn@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 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

Guillermo Urriolagoitia Calderón
Instituto Politécnico Nacional
MÉXICO

Alexander Balankin
Instituto Politécnico Nacional
MÉXICO

Jesús del Castillo
Instituto Venezolano de Investigación Científica
VENEZUELA

María Teresa Alonso Rasgado
University of Manchester
REINO UNIDO

Manuel Elices Calafat
Universidad Politécnica de Madrid
ESPAÑA

Marco Ceccarelli
University of Cassino
ITALIA

Héctor Pérez Meana
Instituto Politécnico Nacional
MÉXICO

Jinhui Shao
University of Shuo
JAPÓN

Indizada en:

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

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

Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón

Prototype for the Automated Monitoring of Water Quality Parameters in a Shrimp Farm
Mauricio **Olivo-Gutiérrez**, Jesús **Verduzco-Ramírez**,
Noel **García-Díaz**, Joel **Villalobos-Gómez**,
Andrea **Olivo-Gutiérrez** | MÉXICO 87-95

Simulación con Flexsim, una nueva alternativa para la ingeniería hacia la toma de decisiones en la operación de un sistema de múltiples estaciones de prueba

Simulation with Flexsim, a New Alternative for the Engineering towards the Decision Making in the Operation of a System of Multiple Test Stations
Marco Antonio **Díaz-Martínez**, Ricardo **Zárate-Cruz**,
Reina Verónica **Román-Salinas** | MÉXICO 97-104

Logística del comercio electrónico: cross docking, merge in transit, drop shipping y click and collect

E-commerce logistics: cross-docking, merge in transit, drop shipping and click and collect
Vladimir **Meléndrez-Acosta** | MÉXICO 105-112

Caracterización del poder calorífico de la biomasa residual de cacao CCN51 mediante procesos de gasificación anaeróbico y termoquímico

Characterization of the Calorific Power of the Residual Biomass of Cacao CCN51 through Anaerobic and Thermochemical Gasification Processes
Carlos Augusto **Carvajal-Jara**, Paúl Michael **Tafur-Escanta**,
Ángelo Homero **Villavicencio-Poveda**,
Eduardo Roberto **Gutiérrez-Gualotuña** | ECUADOR 113-123

Procesamiento de señal de video analógica con optimización de ancho de banda para ser transmitido por internet

Video Analog Signal Processing with Bandwidth Optimization to Broadcast by Internet
Carlos R. **Soria-Cano**,
Salvador **Álvarez-Ballesteros** | MÉXICO 125-130

SAR de teléfonos inteligentes con metamateriales influenciados por contaminación magnética: segunda parte

SAR of Smart Phones with Metamaterials Influenced by Magnetic Pollution: Second Part
Héctor **Torres-Silva** | CHILE 131-136

Configuración alterna de sistema de guías de pailas de galvanizado de tubos con extracción manual

Alternate Configuration for Manual Extraction Drives System of Pipes Galvanizing Melting Pots
José Alfredo **Sánchez de León** | MÉXICO 137-145

Determinantes sistémicos de viabilidad en las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en México

Viability Systemic Determinants in SMEs in Mexico
Marcos **Salinas-Reyes**, Isaías **Badillo-Piña**,
Ricardo **Tejeda-Padilla** | MÉXICO 147-156

EQUIPO EDITORIAL

Guillermo Urriolagoitia Calderón, **Director** • Alma Vicenta Miranda Godínez, **Coordinadora Editorial**
Cuahtémoc Jiménez Pérez, **Editor Técnico** • Martín Luis Octavio Vázquez Cajiga, **Página Web**