

ISSN: 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464

Nº 7 Julio - Diciembre 2014

Revista Tecnocientífica URU



Universidad Rafael Urdaneta

40
años
de futuro
1973-2013

Revista Tecnocientífica URU

ISSN: 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464

2014© Fondo Editorial Biblioteca Universidad Rafael Urdaneta
Facultad de Ingeniería
Maracaibo, Venezuela

Portada: Lcda. Luz Elena Hernández
Diseño y maquetación: Lcda. Liseth Villasmil Faría

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta revista en cualquier forma, sin la autorización de los editores.



Revista Tecnocientífica URU

ISSN: 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464

Comité Editorial

Dra. Laugeny Díaz
Ing. Alfredo Villalobos
Dr. Edixon Gutiérrez

Ing. Carlos Belinskif
Ing. Lenín Herrera
Ing. Nerio Villalobos

Ing. Augusto Galo

Dra. Susana Salinas
Editora-Jefe

Br. Andrea Barrios
Asistente Editorial

Comité de Asesores

MSc. Oscar Urdaneta (Venezuela)
Dr. Shyam Kalla (India)
Dr. César García (Venezuela)
Dr. José Sarabia (Venezuela)
Dr. José Rincón (Venezuela)
MSc. Zulay Mármol (Venezuela)
Dra. Cateryna Aiello (Venezuela)
Dra. Elba Michelena (Panamá)
Dr. Rafael Aracil (España)
MSc. Salvador Conde (Venezuela)
Dr. Ever Morales (Ecuador)
Dra. Nola Fernández (Venezuela)
Dr. Helí Lugo (Venezuela)
Dr. Ras Patnaik (Estados Unidos)
Dr. Gerardo Aldana (Venezuela)

Dra. Anali Machado (Canadá)
MSc. Ramón Cadenas (Venezuela)
Dr. Maulio Rodríguez (Venezuela)
Dr. Katsuyuki Nishimoto (Japón)
Dr. Jorge Sánchez (Venezuela)
Dra. Yaxcelys Caldera (Venezuela)
Dra. Oladis de Rincón (Venezuela)
Dr. Nelson Márquez (Venezuela)
Dr. Ramón Cova (Canadá)
Dr. Mourad E.H. Ismail (Estados Unidos)
Dra. Marinela Colina (Venezuela)
Dr. Freddy Isambert (Venezuela)
Dr. Miguel Sánchez (Venezuela)
Dr. Jorge Barrientos (Venezuela)
Dr. Ernesto Cornieles (Venezuela)

Revista Tecnocientífica URU es un instrumento de divulgación científica adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela. Es una revista arbitrada con periodicidad semestral, contentiva de artículos científicos originales no publicados en las áreas de Ingeniería y Arquitectura y otras disciplinas directamente relacionadas con éstas, de autoría individual o colectiva, que cumplan con las normas de publicación.

La correspondencia debe ser enviada a: Editor Jefe, ***Revista Tecnocientífica URU***

Dirección: Universidad Rafael Urdaneta, Av. 2 c/Calle 86, entrada Sur del Parque Vereda del Lago, Maracaibo, Venezuela.
Teléf. (58) (261) - 2000887, Fax (58)(261) 2000868. Correo electrónico: revistatecnocientificauru@gmail.com

La ***Revista Tecnocientífica URU*** está indizada en el *Índice y Biblioteca Electrónica de Revistas Venezolanas de Ciencia y Tecnología REVENCYT* (Código RVR-070).

Universidad Rafael Urdaneta

Dr. Jesús Esparza Bracho, Rector
Ing. Maulio Rodríguez, Vicerrector Académico
Ing. Salvador Conde, Secretario

Ing. Oscar Urdaneta
Decano de la Facultad de Ingeniería

Ing. Rómulo Rincón
Decano (E) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ing. Jubert Pérez Zabala
Director de la Escuela de Ingeniería en Computación

Ing. Nancy Urdaneta
Directora de la Escuela de Ingeniería Civil

Ing. Arnaldo Largo
Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica

Ing. Nelson Molero
Director de la Escuela de Ingeniería Química

Ing. Ana Irene Rivas
Directora de la Escuela de Ingeniería Industrial

Ing. Carlos Belinskif
Director de la Escuela de Ingeniería en Telecomunicaciones

Arq. Carlos Aguilar
Director de la Escuela de Arquitectura

Contenido

Presentación Presentation	9
Fermentación en estado solido: una alternativa biotecnológica para el aprovechamiento de desechos agroindustriales Solid state fermentation: A biotechnological alternative for exploitation of agroindustrial wastes <i>José R. Ferrer G., José L. Machado y Jhanna Brieva</i>	11
Propuesta de un sistema de seguridad residencial inalámbrica basada en instrumentación virtual Proposal for a Wireless Home Security System based on Virtual Instrumentation <i>Gereli de los Ángeles Gutiérrez Finol</i>	23
Sistema de facturación vehicular en peajes basado en tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID) Vehicular toll collection system based on radio frequency identification technology (RFID) <i>Ángel D, Larreal M. y Georma P. Marachli M.</i>	37
Determinación del grado de conversión global del jugo de piña en etanol por medio de la fermentación alcohólica Determination of the conversion degree of pineapple juice through alcoholic fermentation <i>Briceida C. Fernández A, Maite V. Gómez S. José R. Ferrer G. y Marisela Rincón</i>	49
Modelo matemático para la evaluación de parámetros hidráulicos de un reactor anaeróbico de flujo ascendente a escala piloto (RAFAep) Mathematical model for evaluating parameters of a hydraulic upflow anaerobic reactor pilot scale (RAFAep) <i>Gabriel Arguello, Gerardo Aldana y Jhonny Pérez</i>	59
Dispersión gelatinosa de huesos bovinos para la clarificación de aguas con baja turbidez Bovine bone gelatinous dispersion for clarification of water with turbidity low <i>Lorena Fuentes, Yolimar Aguilar, Yaxcelys Caldera e Iván Mendoza</i>	71

Nanocompuestos basados en arcilla y mezclas heterogéneas de termoplásticos. Una revisión Nanocomposites based on clay and heterogenous blends of thermoplastics. A review <i>Haydee M. Oliva y Helen Inciarte</i>	83
Índice acumulado	95
Normas para la presentación de artículos	101
Guides for submitting articles	105

Presentación

La Universidad Rafael Urdaneta: 40 Años

La Universidad Rafael Urdaneta celebra durante el presente año 2014, 40 años en la historia de Maracaibo y del Estado Zulia, con el testimonio de mas de 14 mil egresados con alta valoración profesional, de los cuales muchos se destacan con su liderazgo en el ámbito nacional sino también internacional, con una matricula de 10 mil estudiantes entre pregrado y postgrado. La Universidad Rafael Urdaneta cuenta con tres Facultades- Ingeniería, Ciencias Agropecuarias y Ciencias Políticas, Administrativas y Sociales que agrupan 13 Escuelas de Pregrado y 13 Programas de Postgrado. La Universidad Rafael Urdaneta esta ubicada en la ciudad de Maracaibo, con amplia influencia en todo el occidente del país. Hasta el año 2002 mantuvo su primera sede en el campus La Retirada en la zona noreste de Maracaibo. A partir del año 2002, se traslada a un hermoso paraje limitado por el norte en el Parque Vereda del Lago, por el sureste con el Lago de Maracaibo y por el oeste con la avenida El Milagro, en la zona céntrica de la ciudad; se trata de la nueva sede Vereda del Lago.

Considera el Rector Dr. Jesús Esparza que La Universidad Rafael Urdaneta ha logrado durante este periodo de tiempo consolidar un modelo de gestión del conocimiento universitario que hace posible la graduación de profesionales en el tiempo justo, con la debida pertenencia de la formación y en un ambiente de extrema seguridad y sitiado por la magia del Lago de Maracaibo. Entre las características y resultados de este modelo de gestión académico- administrativa, se destacan:

1. Un régimen de estudio de tres semestres, equivalente a 210 días hábiles de formación, en comparación a los 200 días hábiles exigidos para el subsistema de educación básica por la Ley Orgánica de Educación. Este régimen de estudios ha permitido que más del 40% de los estudiantes culminen en 4 años y el 60% culminen en menos de 5 años.
2. El campus universitario se integra en espacios coordinados que le permite al estudiante recibir sus clases teóricas y prácticas, realizar sus actividades artísticas y deportivas, consumir alimentos y bebidas, estudiar y revisar la agenda de exámenes y retornar a sus casas para solo asumir la agenda familiar.
3. Un sistema de biblioteca que satisface a plenitud los requerimientos OPSU sobre mas de 5.000 m² de espacio, con sistemas digitales de búsqueda al banco de textos y revistas especializadas, facilidades para el estudio individual y en equipo. El sistema de biblioteca conjuntamente con los espacios de estudios y de enlaces con bibliotecas digitales de otras instituciones exhibe una capacidad de atención por encima del 30% de la matricula estudiantil de la Universidad.
4. Las políticas de docencia, investigación, extensión y producción de La Universidad Rafael Urdaneta están articuladas a la formación de profesionales y ciudadanos, como individuos de actitud crítica frente al conocimiento universal, realidad social y a su propio destino.

En resumen, afirma el Rector Dr. Jesús Esparza, que el aprovechamiento del tiempo en la formación de los jóvenes, la gestión académica de alto rendimiento en todo el proceso de

enseñanza- aprendizaje y la libertad Institucional como inspiración para fomentar los valores de la democracia, justicia social y solidaridad humana, han sido las características que definen La Universidad Rafael Urdaneta, en estos 40 años de historia.

Dr. César García
Coordinador de Desarrollo Académico
Miembro del Comité de Asesores

Fermentación en estado sólido: Una alternativa biotecnológica para el aprovechamiento de desechos agroindustriales

José R. Ferrer G^{1,2}, José L. Machado³ y Jhanna Brieva²

¹Escuela de Ingeniería Química. Departamento de Ingeniería Bioquímica. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Apartado 526, Maracaibo 4001-A. Estado Zulia. Venezuela

²Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta.

³Departamento de Ciencias Básicas. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta

e-mail: *josferrer1@gmail.com*, *joslumach@yahoo.com*, y *jhanna1980@hotmail.com*

Recibido: 17-05-2013 Aceptado: 02-05-2014

Resumen

En esta actualización del estado del arte se presenta una revisión sobre las alternativas biotecnológicas establecidas por los diferentes investigadores a nivel mundial, utilizando la fermentación en estado sólido (FES), para el aprovechamiento de desechos agroindustriales. Se discuten los aspectos biotecnológicos, mediante la descripción de los diferentes sustratos usados, las características de los microorganismos inoculados, los aspectos de diseño de ingeniería bioquímica de los biorreactores y los principales productos de la bioconversión desarrollados hasta el presente. Las tendencias de las investigaciones futuras serán hacia la consolidación de la fisiología microbiana de cultivos puros y mixtos de hongos en sustratos tratados y su incidencia en el diseño de biorreactores eficientes, en los cuales se resuelvan las limitaciones de la dinámica de flujo de calor, masa y cantidad de movimiento de los compuestos químicos involucrados en el bioproceso.

Palabras claves: Fermentación, estado sólido, biotecnología, desechos agroindustriales, ingeniería bioquímica.

Solid state fermentation: A biotechnological alternative for exploitation of agroindustrial wastes

Abstract

In this review the authors present a revision on the biotechnological alternatives developed using solid state fermentation for the exploitation of agro industrial waste materials. Moreover, the biotechnological aspects involved are discussed, by describing the different substrates used in SSF, the characteristics of the microorganisms inoculated, the design of bioreactors as well as the main bioconversion products developed to this day. Future research should focus on the physiology of pure cultures and mixtures of fungi used in substrates and its effect on the design of efficient bioreactors. This would result in the solving of problems concerning movement of the chemicals involved in the bioprocess and heat and mass transfer.

Key words: Fermentation, solid state, biotechnology, agro industrial waste materials and biochemical engineering.

Introducción

El desarrollo de la biotecnología, en sus diferentes períodos se basa en los bioprocesos, dentro de los que destaca la fermentación en estado sólido (FES) como la técnica para promover el crecimiento microbiano y producción de metabolitos de interés en la industria láctea, en la industria de cosecha de champiñones, en bioprocesos de compostaje para producción de abono orgánico y de ensilaje para conservar cereales y utilizarlos en épocas de sequía [1, 2, 3, 4].

Los bioprocesos implementados se han llevado a cabo bajo dos modalidades de uso del oxígeno, de manera aeróbica y anaeróbica, dependiendo de las vías metabólicas y fermentativas utilizadas por los microorganismos para su crecimiento y para la formación, mediante reacciones bioquímicas, de los compuestos químicos de interés en dicho bioproceso.

De las cuatro grandes áreas científicas acopladas para llevar a cabo un proceso biotecnológico (Microbiología, Bioquímica, Genética e Ingeniería Química), la Ingeniería Química juega un rol fundamental al escalar los resultados de experiencias a nivel de laboratorio al diseño a nivel industrial, mediante la implementación de los fenómenos de transferencia de masa, calor y cantidad de movimiento, en las operaciones unitarias utilizadas para los pre y post-tratamientos necesarios para la realización de los bioprocesos en los biorreactores y la posterior purificación para la obtención de los productos deseados [5].

Sobre las tecnologías en estado sólido existen diferentes concepciones entre los investigadores: cuando se realiza utilizando un sustrato natural o un sustrato inerte como soporte sólido se refiere a fermentación en estado sólido. Ahora bien, si el sustrato utilizado sirve como fuente de carbono y otros nutrientes a los microorganismos utilizados, se le conoce como fermentación de sustrato sólido (FSS) y cuando la fermentación ocurre en una capa de líquido pequeña, la cual se encuentra por encima de la superficie del sustrato, se designa como fermentación superficial (FS) [6].

En lo que sí se tiene una distinción fundamental al referirse a las características operacionales, es entre la fermentación sumergida y la fermentación en estado sólido, en cualquiera de sus modalidades. La fermentación sumergida se encuentra altamente desarrollada en los aspectos de diseño de biorreactores, control del proceso y cinética microbiana, teniendo su fortaleza en los bioprocesos con bacterias y levaduras (modificadas o no genéticamente) en medios definidos o complejos.

Sin embargo, se presentan serias limitaciones en cuanto a los grandes volúmenes de agua utilizados y los bajos rendimientos cuando se usan hongos en las aplicaciones industriales en fermentación sumergida. Por otro lado, la FES, aunque tiene debilidades en lo relativo al diseño de biorreactores, dinámica de flujo, transferencia de calor, transferencia de masa del oxígeno y de gases producidos durante la fermentación, disponibilidad de agua y oxígeno, control del proceso y medida de variables operacionales; tiene grandes fortalezas en relación a la utilización de medios sólidos complejos, manejo de volúmenes menores de agua, desarrollo microbiano en su ambiente natural y alta productividad [7,8,9].

Presentar una revisión sobre aspectos fundamentales de la FES, como herramienta biotecnológica para el aprovechamiento de desechos agroindustriales, es el objetivo de este trabajo.

Sustratos

Los desechos agroindustriales tienen características fisicoquímicas adecuadas para utilizarse como sustratos en los bioprocesos de FES. Su composición química caracterizada por la presencia de polisacáridos como celulosa y hemicelulosa, es de importancia fundamental como fuente de carbono para los microorganismos. Sin embargo, la presencia de la lignina representa un factor perturbador en la disponibilidad de esos polisacáridos para el desarrollo microbiano, ya que es un sustrato recalcitrante formada por polifenoles [10,11,12]. Debido a esto, se ha incrementado el área superficial para el desarrollo microbiano, modificando el tamaño de partícula mediante pretratamiento mecánico y la accesibilidad a la fuente de nutrientes mediante pretratamientos químicos y enzimáticos [1,11,13].

Como sustrato ideal para la FES se considera aquél que provea a los microorganismos de todos los nutrientes necesarios para el metabolismo celular y fermentativo. Por otro lado, si alguno de los nutrientes no se encuentran en niveles adecuados, es necesario utilizar un suplemento como fuente externa del mismo) [1].

La selección de un desecho agroindustrial para usarlo como sustrato depende de los siguientes factores: costo, disponibilidad en cantidades adecuadas para justificar una aplicación industrial y posibilidad de almacenamiento sin causar deterioro morfológico y microbiológico [7,23].

Entre los sustratos más utilizados en FES se encuentran: bagazos de yuca [7], caña de azúcar [14], naranja, manzana, uva [1,4,11,15,16], aceituna y tomate [6]; cascarilla y pulpa de café [2,3,17]; salvado de trigo, paja de arroz, paja de trigo, harina de trigo, harina de maíz, escobajo de uva [18,19,20]; torta del prensado en la producción de aceite [6]; desecho generado en la producción de vinagre [21]; okara (residuo generado en la preparación de queso de soya) [22].

En Venezuela, el bagazo de caña de azúcar, la pulpa de café y el escobajo de uva son los desechos agroindustriales más utilizados en FES, para la producción de abono orgánico, ensilaje, alimento para animales y solución nutritiva para cultivos hidropónicos [1,2,3,4,12,17,19,24]. Puesto que, el bajo contenido de cenizas y la alta capacidad de retención de agua les da ventajas comparativas a los bagazos de yuca y de caña de azúcar respecto a otros sustratos como paja de arroz y trigo. Sin embargo, el bagazo de yuca tiene ventajas en relación al de la caña de azúcar, debido a que no necesita ningún tipo de pretratamiento para su uso como sustrato en FES [7].

Aspectos Biotecnológicos

Los aspectos biotecnológicos más importantes a considerar para el diseño de los biorreactores utilizados en FES son: los microorganismos involucrados, la humedad y actividad de agua, la temperatura y la transferencia de calor, biomasa y cinética de crecimiento, transferencia de masa y el modelamiento matemático.

Microorganismos

En la FES, los microorganismos utilizados principalmente son cepas puras de hongos filamentosos, cultivos mixtos de hongos con cepas modificadas genéticamente (para trabajar en simbiosis) y cultivos mixto de cepas autóctonas aisladas de los sustratos utilizados.

Entre las cepas de hongos utilizados en FES los géneros más comunes son: *Aspergillus* [9,15,23,25], *Rhizopus* [10], *Trichoderma* [26], *Penicillium* [18,27], *Gliocladium* [28], *Saccobolus* [29], *Pleurotus* [30], *Phanerochaete* [28] y *Coriolus* [7].

Pandey [20] utilizando un cultivo mixto de *Aspergillus ellipticus* y *Aspergillus fumigatus*, logró mejorar la actividad hidrolítica y la producción de β -glucosidasa al comparar el desempeño de cada cepa.

Por otro lado, Pandey et. al.[28] utilizaron cepas de un mutante de *Trichoderma reesei* con una cepa de *Pleurotus sajor-caju*, obteniéndose un incremento en la concentración enzimática de celulasa. También se ha utilizado un cultivo mixto de *Trichoderma reesei* y *Aspergillus phoenicus* para aumentar la producción de la enzima xilanasa, respecto a la que se obtiene cuando se usan por separado [7].

Actividad de agua

La actividad de agua (a_w) del sustrato tiene una participación muy importante en la actividad microbiana, al ser el factor clave para permitir el tipo de microorganismo a desarrollarse en dicho sustrato. El motivo de dicha relevancia se ha atribuido a que la actividad de agua es un parámetro fundamental para la transferencia de masa del agua y los solutos a través de la pared celular. Por consiguiente, el control de este parámetro se puede usar para modificar la producción metabólica de los microorganismos [31].

El papel del agua en los procesos de FES es muy variado, al ser el componente principal de la biomasa, sirviendo como fase para difusión de las enzimas y los nutrientes, al mismo tiempo que permite el intercambio gaseoso. Una humedad elevada en el sustrato (>60%), causa una disminución de la capacidad de acción de los poros del sustrato, dificultando la difusión del oxígeno. Por el contrario, una baja humedad (<30%) no permite un crecimiento adecuado del microorganismo ni una disponibilidad importante del sustrato [28].

Temperatura y transferencia de calor

Los hongos filamentosos que se utilizan en los procesos FES son, por lo general, mesófilos y crecen a temperaturas óptimas entre 29 y 35 °C. Sin embargo, la producción de calor metabólico durante el proceso causa un aumento significativo de la temperatura y si este calor no se elimina rápidamente del medio de cultivo, puede limitar seriamente el crecimiento microbiano. Las estrategias para controlar la temperatura y la humedad se centran en la optimización de la aireación y la evaporación del agua [32].

El crecimiento de hongos y la producción secundaria de metabolitos en FES, son influenciados por la temperatura y los procesos de transferencia de calor en el lecho del sustrato. Durante FES se genera una gran cantidad de calor, la cual es proporcional a las actividades metabólicas de los microorganismos. Sin embargo, los hongos pueden crecer a una temperatura óptima diferente a la temperatura requerida para la formación de productos metabólicos [20].

Los sustratos utilizados en FES tienen conductividades térmicas bajas, lo que disminuye la eliminación del calor e incrementa su acumulación. Por consiguiente, la mayoría de la investigaciones se orientan hacia la optimización del aumento del flujo de calor desde el interior del sustrato hacia los alrededores [7].

Biomasa y cinética de crecimiento microbiano

La determinación de la biomasa y el seguimiento de la cinética de crecimiento de los hongos filamentosos, son los aspectos biotecnológicos que de manera fundamental diferencian la fermentación sumergida de la fermentación en estado sólido. Para la fermentación sumergida, en la cual se utilizan principalmente bacterias y levaduras, la determinación de la biomasa y la caracterización de la cinética de crecimiento, se realizan por métodos colorimétricos y de separación mecánica de la biomasa por filtración y centrifugación, debido a que ésta no penetra el sustrato, como en el caso de la FES, en la cual se forma una estructura inseparable entre el sustrato y los microorganismos [1].

Entre los métodos utilizados para determinación de biomasa en FES se encuentran: filtración por membrana, determinación de la velocidad de respiración del microorganismo, espectroscopía infrarroja de reflectancia, cambios en glucosamina, ergosterol o azúcares totales en la composición química del hongo y determinación de la concentración del CO₂ producido o de la concentración del O₂ consumido por los microorganismos [7, 11, 20].

Transferencia de masa

En la FES la transferencia de masa se evidencia en dos niveles: microescala, la cual engloba la difusión de O₂ y CO₂, producción de enzimas, absorción de nutrientes y formación de metabolitos; y macroescala, la cual incluye flujo de aire a través del sustrato, tipos de sustrato, mezcla del sustrato, diseño del biorreactor, espacio entre partículas y variación en el tamaño de las partículas [6].

En FES las hifas de los hongos forman una masa en la superficie del sustrato y penetra el mismo mediante la secreción de metabolitos secundarios y enzimas [7].

Los gradientes de concentración entre partículas, debido al consumo de nutrientes en combinación con limitaciones en la transferencia de masa, tiene un efecto marcado en la eficiencia y velocidad del proceso [20].

En el caso del FES aeróbico, el desarrollo del proceso es afectado por la limitaciones en la disponibilidad de oxígeno. Debido a que el crecimiento del micelio se lleva a cabo en la superficie sólida y en el área vacía dentro del sustrato, el consumo de oxígeno se realiza en la interfase entre las partículas del sustrato y las hifas del micelio del hongo. El modelamiento del transporte de oxígeno entre el agua y las hifas del hongo se lleva a cabo considerando las hifas del hongo como una biopelícula de organismos unicelulares [19].

La transferencia de oxígeno depende del área superficial interfacial gas-líquido y del espesor de la capa húmeda de las hifas del hongo. Estos dos factores juegan un rol importante para la difusión convectiva del oxígeno en el proceso FES. Similarmente a la transferencia de oxígeno, la difusión de CO₂ se lleva a cabo desde las hifas del hongo a través del área vacía del sustrato sólido [14].

Las enzimas secretadas por las hifas del hongo actúan sobre el sustrato orgánico complejo convirtiéndolo en fuente de carbono simple, el cual es usado por el hongo para su crecimiento y desarrollo [1].

Modelos matemáticos

El diseño óptimo y la operación de biorreactores en fermentación en estado sólido dependen fundamentalmente del uso de las herramientas conocidas como modelamiento matemático. Estos modelos involucran dos aspectos, principalmente: la influencia de los parámetros del proceso en la cinética de crecimiento microbiano y los fenómenos de transporte de masa y calor llevados a cabo dentro del biorreactor [8].

Los modelos cinéticos dependen del tamaño de partícula, la densidad de empaque, la velocidad

de respiración, tamaño del poro de la partícula de sustrato, profundidad de penetración del micelio del hongo dentro del sustrato y el contenido de agua del lecho de sustrato. Los modelos de transporte dependen de la velocidad de crecimiento del hongo, velocidad de flujo de aire a través del lecho de sustrato, altura del lecho y la velocidad del proceso de remoción de calor [32].

Diseño de biorreactores

En los procesos de fermentación en estado sólido, los biorreactores representan los ambientes físicos en los cuales se desarrollan los microorganismos responsables de transformar el sustrato. Los aspectos biotecnológicos mencionados anteriormente, representan los factores a considerar para el diseño de estos equipos de ingeniería de manera eficiente.

Los biorreactores se clasifican en: biorreactores a pequeña escala o de laboratorio y biorreactores a gran escala o escala industrial.

En la Tabla N° 1 se presentan los diferentes biorreactores que se han diseñado y puesto en funcionamiento a escala de laboratorio para realizar investigaciones en FES. Estos se han desarrollado principalmente considerando la dinámica de flujo en los lechos empacados, mediante convección forzada a través del lecho del aire necesario para el metabolismo celular e incrementando las dimensiones de la geometría cilíndrica (Columna, Zymotis, Growtek). Por otro lado, existen biorreactores en los cuales la dinámica de flujo se establece mediante el uso de la rotación de tambores perforados, con o sin baffles, para incrementar la transferencia de calor hacia el exterior del biorreactor y adicionalmente el mezclado (Tambor rotatorio perforado) [6,20,28,33,34].

Tabla N°1. Biorreactores a escala de laboratorio usados en FES

Tipo de biorreactor	Aspectos relevantes	Referencia
Columna	Columnas de vidrio con diferentes diámetros y diferentes alturas del material sólido. Las columnas de vidrio de 22mm de diámetro y 210 mm de alto, rellenas con 20 g de material sólido pre-inoculado, colocadas en un baño termorregulado de agua y con un flujo de aire saturado con agua de 5 L/h a través del material sólido, se utilizan para la producción de glucoamilasa a partir de una cepa pura de <i>Aspergillus niger</i> , con bagazo de caña de azúcar y desecho de yuca como sustrato.	[6,28]
Tambor perforado rotatorio	Para el mezclado del sustrato sólido en envases horizontales por rotación (con o sin baffles). En este caso el calor producido es minimizado.	[33]

Zymotis	Son modificaciones de los biorreactores de lecho empacado con platos internos, por los cuales circula agua a la temperatura óptima.	[34]
Growtek	Este tipo de biorreactor tiene un envase cilíndrico de 11,3 cm de diámetro y 16 cm de altura. Dentro del biorreactor existe un flotador, con un área de 72 cm ² , con una base perforada. La fermentación del sustrato sólido inoculado se lleva a cabo encima del flotador. Mientras se mantiene una solución líquida de sales debajo del flotador. Los productos formados durante el proceso de fermentación drenan al medio líquido.	[20]

La Tabla N°2, presenta una recopilación de biorreactores a gran escala que se han diseñado y puesto en funcionamiento a nivel comercial.

Tabla N°2. Biorreactores a escala industrial usados en FES

Biorreactor	Aspectos relevantes	Referencia
Koji	Son biorreactores de bandejas (madera, plástico, metal). Las bandejas se arreglan verticalmente introduciéndolas en una cámara con control de temperatura y circulación de aire. La ventaja de este diseño es que se facilita el escalamiento aumentando el número de bandejas, pero la desventaja se establece en las dificultades de esterilización y el uso de grandes espacios.	[7]
PlaFractor™	Biorreactor diseñado en Biocon, India, en el cual se reemplazan las bandejas, el cuarto de incubación y los mecanismos de extracción en los procesos de cultivos con bandejas semi-automáticas, por un equipo compacto.	[22]

Lecho empacado	Son modificaciones de los biorreactores de columnas a escala de laboratorio. En este caso, una malla en el fondo del cilindro vertical se usa para sostener el sustrato, permitiendo el paso de aire por convección forzada a través del lecho estático. El calor producido en la columna se minimiza aumentando la humedad del aire que entra al reactor. La caída de presión en el lecho es un factor a tomar en cuenta por la presencia de canales en el lecho.	[35]
Tambor rotatorio	Son biorreactores en donde el sustrato es mezclado con el microorganismo por rotación, la cual puede ser continua o intermitente dependiendo de la altura del lecho y de la velocidad de rotación. Algunos factores críticos que afectan el funcionamiento de estos biorreactores son: tipo del sustrato, altura del lecho, fisiología del hongo y el tamaño de las partículas del sustrato. La incorporación de baffles mejora el funcionamiento de estos equipos.	[37,42]
Lecho fluidizado	En este caso el sustrato es fluidizado por el flujo de aire por la parte de abajo. La columna del equipo es suficientemente grande para permitir la expansión del lecho. En el tope la columna se ensancha para separar el sólido de la corriente de aire. El mantenimiento de las condiciones uniformes a través del sustrato y el incremento en el área de contacto es la ventaja principal de este tipo de biorreactor.	[37]

Aplicaciones

Las principales aplicaciones de la fermentación en estado sólido se han enfocado en la producción de las siguientes biomoléculas (Tabla 3):

Tabla 3. Biomoléculas de interés en FES

		Referencias
Enzimas	Celulasa, hemicelulasas, endogluconasas, ligninasa, xilanasa, pectinasa, amilasa, lipasa, L-glutaminasa y β -galactosidasa	[9,13,15,22,23,25,27,30,41-45]

Ácidos orgánicos	Ácido cítrico, ácido láctico y ácido gálico	[6,7]
Antibióticos	Penicilina, cefamicina, neomicina, iturina, ciclosporina A y cefalosporina	[6,21]

En lo concerniente al manejo integrado de desechos agrícolas, las aplicaciones principales se han centrado en la producción de: compostaje, ensilaje, biofertilizantes, biopromotores y biopesticidas, biocombustibles, biopulpeo, bioblanqueo, alimentos para animales y soluciones nutritivas para cultivos hidropónicos [1-4, 6, 11, 12, 16, 17, 38, 39, 40, 46].

Perspectivas futuras

Actualmente existe una valiosa información relacionada con la fermentación en estado sólido y su potencialidad para la producción biotecnológica de biomoléculas (enzimas, ácidos orgánicos, antibióticos, pesticidas, fertilizantes, combustibles), alimentos para animales, abonos orgánicos y soluciones para cultivos hidropónicos.

Las futuras investigaciones deberán orientarse hacia la consolidación de los siguientes aspectos:

1.- Estudio de la fisiología microbiana para cultivos puros y mezclas, bajo las condiciones ambientales impuestas por la fermentación en estado sólido, como lo son: cinética de crecimiento, producción de metabolitos, trayectorias fermentativas y metabolismo respiratorio.

2.- Estudio sobre el tratamiento previo al sustrato sólido para permitir un bioproceso eficiente, sin limitaciones derivadas de la estructura fisicoquímica del mismo.

3.- Diseño de biorreactores que permitan resolver las dificultades provocadas por la combinación del metabolismo celular y fermentativo de los microorganismos y la dinámica de transferencia de calor, masa y cantidad de movimiento de los compuestos involucrados en el bioproceso (agua, oxígeno, dióxido de carbono, ácidos, álcalis, macro y micronutrientes).

4.- Estudio sobre modelamiento matemático que combine la cinética del crecimiento microbiano con los fenómenos de transporte y la estructura fisicoquímica del sustrato sólido.

5.- Construcción de un prototipo de biorreactor, para probar experimentalmente los resultados obtenidos del modelamiento matemático y lograr las herramientas necesarias para el escalamiento a etapas sucesivas de planta piloto y nivel industrial, para la comercialización de los productos generados del bioproceso estudiado.

Referencias Bibliográficas

1. Ferrer, J., Páez, G., Mármol, Z., Ramones, E., Chandler, C, Marín, M y Ferrer, A.: "Agronomic use of biotechnologically processed grape wastes", *Bioresource. Technol.* Vol. 76 (2001) 39-44.
2. Ferrer, J., Páez, G., Chirinos, M. y Mármol, Z.: "Ensilaje de la pulpa de café", *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, Vol. 12 (1995) 417-428.

3. Ferrer, J., Páez, G. y Chirinos, M.: “ Bioproceso aeróbico de la pulpa de café”, *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia.*, Vol. 17, No. 2 (1994) 67-74.
4. Ferrer, J., Mujica, D. y Páez, G.: “Producción de un compostaje a partir de desechos de uva”, *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, Vol. 16, No.3 (1993) 191-198.
5. Ratledge, C. and Kristiansen, B.: “Basic Biotechnology”. Cambridge University Press. London. 2006.
6. Tengerdy, R. and Szakacs, G.: “Bioconversion of lignocellulose in solid substrate fermentation”, *Biochem. Eng. J.*, Vol. 13 (2003) 169-179.
7. Bhargav, S., Panda, B., Ali, M. and Javed, S.: “Solid-state fermentation: An overview”, *Chem. Biochem. Eng. Q.*, Vol. 22, No. 1 (2008) 49-70.
8. Mitchell, D., von Meien, O., Krieger, N. and Dalsenter, F.: “A review of recent developments in modeling of microbial growth kinetics and intraparticle phenomena in solid-state fermentation”, *Biochem. Eng. J.*, Vol. 17 (2004) 15-26.
9. Rahardjo, Y., Sie, S. and Weber, F.: ”Effect of low oxygen concentrations on growth and α -amylase production of *Aspergillus oryzae* in model solid-state fermentation systems”, *Biomol. Eng.*, Vol. 21 (2005) 163-172.
10. Blandino, A., Dravillas, K., Cantero, D., Pandiella, S. and Webb, C.: “Utilisation of whole wheat flour for the production of extracellular pectinases by some fungal strains”, *Process Biochem.* Vol. 37 (2001) 497-503.
11. Vaccarino, C., Lo Curto, R., Tripodo, M., Patané, R. and Ragno, A.: “Grape marc as a source of feedstuff after Chemicals treatments and fermentation with fungi”, *Bioresource Technol.* Vol. 40 (1992) 35-41.
12. Santiago, B., Ferrer, J., De Comenares, N. y Páez, G.: “Los desechos de uva y su posible uso industrial”, *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, Vol. 16, No. 3 (1993) 199-208.
13. Suprabha, G., Sindhu, R., and Shankar, S.: “Fungal xylanase production under solid state and submerged fermentation conditions”, *Afr. J. Microbiol. Res.* , Vol. 2, No. 1 (2008) 82-86.
14. Chandler, C., Ferrer, J., Mármol, Z., Páez, G., Ramones, E. y Perozo, R.: “Efecto de la aireación en el compostaje del bagacillo de la caña de azúcar”, *Multiciencias*, Vol. 8, No. 1 (2008) 19-27.
15. Botella, C., De Ory, I., Webb, C., Cantero, D and Blandino, A.: “Hydrolytic enzyme production by *Aspergillus awamory* on grape pomace”, *Biochem. Eng. J.*, Vol. 26 (2005) 100-106.
16. Hamidi-Esfahani, Z., Hejazi, P., Shojaosadati, S., Hoogschagen, M., Vasheghani-Farahani, E. and Rinzema, A.: “A two-phase model for fungal growth in solid-state cultivation”, *Biochem. Eng. J.*, Vol. 36 (2007) 100-107.
17. Ferrer, J., Páez, G. y Chirinos, M.: “Deshidratación y digestibilidad in Vitro de la pulpa de café ensilada”, *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, Vol. 17, No. 3 (1994) 189-195.
18. Roussos, S. y Perreud-Gaime, I.:”Fisiología de microorganismos utilizados em procesos de fermentación em médio sólido”, E. Galindo (Ed.) *Fronteras en Biotecnología y Bioingeniería*, Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería. (1996) 341-348.
19. Berradre, M., Mejías, M., Ferrer, J., Chandler C., Páez, G., Mármol, Z. Ramones, E. y Fernandez, V. “Fermentación en estado sólido del desecho generado en la industria vinícola”. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. Vol. 26, No. 1. (2009) 398-422.
20. Pandey, A.: “Solid-state fermentation”, *Biochem. Eng. J.*, Vol. 13 (2003) 81-84.
21. Liu, J. and Yang, J.: “Process Calorimetry on solid-state fermentation of vinegar wastes in bioreactor with air pressure pulsation”, *Chem. Biochem. Eng. Q.*, Vol. 20, No. 4 (2006) 449-455.
22. Suryanarayan, S.: “Current industrial practice in solid state fermentation for secondary metabolite production: the Biocon India experience”, *Biochem. Eng. J.*, Vol. 13 (2003) 189-195.
23. Nizamuddin, S., Sridevi, A. and Narasimha, G.: “Production of β -galactosidase by *Aspergillus oryzae* in solid-state fermentation”, *Afr. J. Biotechnol.*, Vol 7, No. 8 (2008) 1096-1100.
24. Ferrer, J. y Sánchez, E.: “Obtención de una solución nutritiva para cultivos hidropónicos a partir

- de desechos de uva (*Vitis vinífera* L.)” *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, Vol. 17, No. 3 (1994) 197-206.
25. Botella C., Diaz, A., De Ory, I., Webb, C. and Blandino, A.: “Xylanase and pectinase production by *Aspergillus awamori* on grape pomace in solid state fermentation”, *Process Biochem.*, Vol. 42, No. 1 (2007) 98-101.
 26. Melek, S., González, A. y Mas Diego, S.: “Influencia de algunos parámetros en la fermentación en estado sólido del hongo *Trichoderma viride*”, *Tecnol. Quim.*, Vol. XXI, No. 1 (2001) 82-87.
 27. Paz-Lago, D y Hernández, M.: “Purificación y caracterización parcial de la enzima xilanasa a partir del preparado comercial Novoban 240”, *Cult. Trop.* Vol. 21, No. 2 (2000) 27-31.
 28. Pandey, A., Selvakumar, P., Soccol, C. and Nigam, P.: “Solid state fermentation for the production of industrial enzymes”, *Current Sci.*, Vol. 77 (1999) 149-152.
 29. Diorio, L., Forchiassin, F., Papinutti, V. y Sueldo, D.: “Actividad enzimática y degradación de diferentes tipos de residuos orgánicos por *Saccobolus saccoboloides* (Fungi, Ascomucotina)”, *Rev. Iberoam. Micol.*, Vol. 20 (2003) 11-15.
 30. Bermúdez, R., Morris, H., Donoso, C., Martínez, C. y Ramos, E.: “Influencia de La luz en la calidad proteica de *Pleurotus ostreatus* var. *florida*”, *Ver. Cubana Invest. Biomed.*, Vol. 22, No. 4 (2003) 226-231.
 31. Gervais, P. and Molin, P.: “The role of water in solid-state fermentation”, *Biochem. Eng. J.*, Vol. 13. No. 2, (2003) 85-101.
 32. Mitchell, D., von Meien, O. and Krieger, N.: “Recent developments in modeling of solid-state fermentation: heat and mass transfer in bioreactors”, *Biochem. Eng. J.*, Vol. 13 (2003) 137-147.
 33. Marsh, A., Stuart, D., Mitchell, D. and Howes, T.: “Characterizing mixing in a rotating drum bioreactor for solid-state fermentation”, *Biotechnol. Lett.* Vol. 22 (2000) 473-477.
 34. Mitchell, D. and von Meien.:”Mathematical modeling as a tool to investigate the design and operation of the Zymotis packed-bed bioreactor for solid-state fermentation” *Biotechnol. Bioeng.* Vol 68 (2000) 127-135.
 35. Hasan, S., Costa, J. and Sanzo, A.: “Heat transfer simulation of solid-state fermentation in a packed-bed bioreactor”, *Biotechnol. Tech.*, Vol. 12 (1998) 787-791.
 36. Hardin, M., Mitchell, D. and Howes, T.: “Residence time distributions of gas flowing through rotating drum bioreactors”, *Biotechnol. Bioeng.*, Vol. 74 (2001) 145-153.
 37. Menner, M. and Bahr, D.: “Solid-state fermentation of starter cultures in fluidized bed. Part. 2. Mathematical modeling”, *Bioforum.* Vol. 18 (1995) 366-372.
 38. Wright, D., Wyman, C. and Grohman, K.: “Evaluation of bioethanol production from lignocellulose”, *Appl. Biochem. Biotechnol.* , Vol. 57, (1998) 741-761.
 39. Tengerdy, R. and Szakacs.: “Perspectives in agrobiotechnology”, *J. Biotechnol.*, Vol. 66 (1998) 91-99.
 40. Julián, M. y Ramos, L.:”Fermentación en estado sólido (I). Producción de alimento animal”, *Tecnol. Quim.*, Vol. XXVII, No. 3 (2007) 17-22.
 41. Sinh, G., Sing, H., Kaur, S., Bansal, S. , Kaur, S. “Value-addition of agricultural wastes for augmented cellulose and xylanase production through solid-state tray fermentation employing mixed-culture of fungi” *Industrial Crops and Products.*, Vol. 34 (1) (2011) 1160-1167.
 42. Wang, E., Li, S., Tao, L., Geng, X., Li, T. “Modeling of rotating drum bioreactor for anaerobic solid-state fermentation” *Applied Energy.* Vol. 87 (9) (2010) 2839-2845.
 43. Chen, H., Chen, X., Chen, T., Xu, X., Jin, Z. “Extraction and optimization of inulinase obtained by solid-state fermentation of *Aspergillus ficuum* JNSP5-06” *Carbohydrate Polymer.* Vol. 85 (2) (2011) 446-451.
 44. Dhillon, G., Kaur, S., Kaur, S., Metahni, S., M’hamdi, N. “Lactoserum as a moistening medium and crude inducer for fungal cellulose and hemicellulose induction through solid-state fermentation of apple pomace”. *Biomass and Bioenergy.* Vol. 41 (2012) 165-174.
 45. Farinas, C., Vitcosque, G., Fonseca, R., Bertucci, V., Couri, S. “Modeling the effects of solid

- state fermentation operating conditions on endoglucanase production using an instrumented bioreactor". *Industrial Crops and Products*. Vol. 34 (1) (2011) 1186-1192.
46. Li, S., Li, G., Zhang, L. Zhou, Z, Han, B., Hou, W, Wang, J. Li, T. "A demonstration study of ethanol production from sweet sorghum stems with advanced solid state fermentation technology". *Applied Energy*. Vol. 102 (2013) 260-265.

Propuesta de un sistema de seguridad residencial inalámbrico basado en instrumentación virtual

Gereli de los Ángeles Gutiérrez Finol

Ing. Electricista Premio Cum Laude (Universidad Rafael Urdaneta).
Cursos en la Maestría de Computación Aplicada (Universidad del Zulia).
Componente Docente en Investigación. Ingeniero de Soporte (Fundación Petrociencia).
Área de Investigación: Instrumentación Virtual. *gereligf@gmail.com*

Recibido: 13-09-2013 Aceptado: 02-05-2014

Resumen

El objetivo general consistió en diseñar un sistema de seguridad residencial inalámbrico basado en instrumentación virtual. El trabajo se encuentra sustentado en la teoría de operación de los módulos de radiofrecuencia Xbee actuando en una red inalámbrica de topología tipo árbol, cuya simulación se basó en el algoritmo de Dijkstra. En el diseño se aprovecharon las funciones de modelado, control y simulación de Matlab y Prolog, el lenguaje de programación C y el simulador ISIS Proteus. Fue comprobada la integración del sistema mediante pruebas experimentales de reconocimiento de la red, pruebas de enrutamiento de las señales e interactividad con el usuario a través de internet, obteniéndose apropiado desempeño según la lógica operacional previamente diseñada, permitiendo concluir que el sistema propuesto es aplicable en ambientes asociados a viviendas unifamiliares.

Palabras Claves: Sistema de seguridad residencial, instrumentación virtual, red inalámbrica, dijkstra.

Proposal for a wireless home security system based on virtual instrumentation

Abstract

The main objective was to design a wireless home security system based on virtual instrumentation. The design is based on the Xbee RF modules's theory in a wireless network type topology tree, which was simulated using a variation of Dijkstra's algorithm. The design took advantage of modeling capabilities, control and simulation programming tools: Matlab and Prolog, the programming language C and ISIS Proteus simulator. Integration was verified by experimental test system for recognition of the network routing test signals and user's interactivity through the internet, was obtained appropriate operational performance according to the logic previously designed, allowing concluding the proposed system is applicable environments associated with houses.

Key words: Home security system, virtual instrumentation, wireless network, dijkstra.

Introducción

Actualmente la instalación de sistemas de seguridad en viviendas ha traído como consecuencia que los fabricantes de estos productos vean en el mercado de seguridad residencial un potencial cada vez mayor, por esta razón es necesario reducir los costos de inversión en su desarrollo, lo cual puede darse mediante la instrumentación virtual.

La instrumentación virtual es un sistema de medición, análisis y control de señales físicas utilizando un computador personal por medio de instrumentos virtuales^[1]. En el mercado se encuentran varios tipos de sistemas de seguridad cuyas funciones principales son las de controlar los accesos a la vivienda y monitorizar los dispositivos de detección de personas no autorizadas. En este sentido, se pretende combinar estas funciones y proponer como alternativa el diseño de un sistema de seguridad residencial mediante la identificación de los elementos que lo componen, la precisión de los criterios de diseño y la lógica operacional del mismo, el diseño de sus componentes y, por último, la propuesta de su integración.

Fundamentos teóricos

Para el diseño de este sistema se ha elegido el tipo de arquitectura de configuración centralizada, donde un controlador gestiona todas las funciones y acciones del sistema. A su vez, la comunicación inalámbrica establecida entre los elementos se encuentra bajo la especificación Zigbee^[2]. Existen tres tipos de dispositivos, también denominados nodos o módulos de radiofrecuencia, que construyen la red inalámbrica: coordinador, enrutador y nodo final. La organización de estos dispositivos se denomina topología. Zigbee permite tres topologías de red: estrella, árbol y malla. En el mercado existe una variedad de módulos de radiofrecuencia, los módulos Xbee son los primeros productos que se basan en una plataforma compatible con Zigbee^[3], por lo tanto, la prueba de integración del sistema de seguridad se apoyará en algunas de sus características de funcionamiento. En los sistemas de redes inalámbricas reales, los módulos de radiofrecuencia se encuentran conectados a los dispositivos de seguridad de manera que el control y la monitorización son admitidos gracias a las señales que se envían a los nodos, y éstos las envían a los dispositivos. En este caso se trabajará con dos tipos de dispositivos utilizados comúnmente en sistemas de seguridad: sensores y actuadores. Además, fue necesario contar con un algoritmo de enrutamiento que permitiera transmitir la información hasta su destino con el mínimo número de saltos, para lo cual se trabajó con una variación del algoritmo de Dijkstra^[4].

Las herramientas de programación utilizadas fueron: ISIS Proteus^[5], Matlab^[6], SWI Prolog^[7], HTML^[8] (lenguaje de marcado de hipertexto) y X-CTU^[9], este último se utilizó como interfaz de configuración y prueba para los módulos Xbee.

Parte Experimental

La investigación abarcó dos fases: en la primera se llevó a cabo el montaje virtual, donde se procedió a diseñar el Emulador de red inalámbrica en el software ISIS Proteus mediante la programación en C del PIC16F877, el Controlador y el Panel de Control local se elaboraron utilizando Matlab en conjunto con el recurso Guide, para el Panel de Control Remoto (Página Web) se utilizaron los lenguajes HTML y JavaScript y para el diseño del Servidor web se utilizó SWI Prolog. En la última fase se realizaron pruebas que permitieron reconocer la red inalámbrica emulada, conectar los módulos del sistema, activar/desactivar dispositivos y comprobar la interactividad con el usuario.

Resultados y discusión

Elementos del sistema de seguridad residencial inalámbrico

Los elementos que conforman el sistema son: el emulador de red inalámbrica, el cual imita una red real bajo el estándar Zigbee, el controlador que actúa sobre el sistema enviando órdenes a la red mediante un paquete de simulación de conexión serial virtual: VSPE (Virtual Serial Port Emulator) y el servidor web que genera una página web para el uso del sistema de seguridad desde cualquier equipo con acceso a internet.

Criterios de diseño del sistema de seguridad residencial inalámbrico

Para el diseño del emulador de la red, se ubicó en ISIS Proteus el circuito electrónico del PIC16F877 como elemento principal^[10]. La activación/desactivación de los actuadores y sensores se visualizó mediante el encendido y apagado de luces LED y la activación de los sensores se simuló utilizando un teclado numérico de 12 teclas. Posteriormente se procedió a diseñar el Controlador del sistema de manera que permitiera al usuario configurar la red mediante el uso del Panel de Control Local. Siguiendo el criterio de operatividad de manera remota, se diseñó el Servidor web para que el sistema pudiera ser controlado y monitorizado vía web.

Lógica operacional del sistema de seguridad residencial inalámbrico

El Emulador de la red inalámbrica está constituido por una aplicación en lenguaje C y compilado en código hexadecimal, el cual es llamado por ISIS Proteus durante la operación del PIC 16F877.

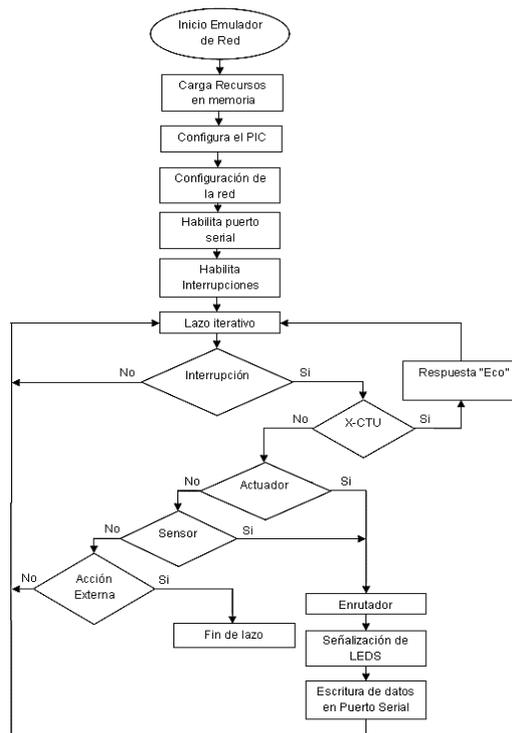


Figura 1. Diagrama de flujo del Emulador de red inalámbrica

Atendiendo la figura 1, se inicia el Emulador de red, se cargan las bibliotecas correspondientes al PIC y las funciones estándar de entrada y salida de datos, la configuración del PIC se basa en las siguien-

tes características: las bibliotecas para el manejo de cadenas de caracteres, la pantalla LCD, un teclado telefónico de tipo numérico y la conexión vía puerto serial con el Controlador utilizando el estándar RS-232. Además, posee internamente la configuración de la red, la cual fue compilada en un archivo hexadecimal idéntica a la guardada en el archivo *dist.txt*, en donde están distribuidos los nodos según su ubicación y la interrelación entre ellos. Al habilitarse el puerto serial, se permiten las interrupciones y el PIC recibe comandos del Controlador en forma de tramas. La estructura de datos del archivo *dist.txt* se muestra en la figura 2: comienza en la primera línea con el número de conexiones registradas entre los nodos (n), seguido de una matriz entera de $3 \times n$.

Nodo Enrutador	Nodo final	Distancia entre nodo enrutador y final (metros)
----------------	------------	---

Figura 2. Archivo de distribución (*dist.txt*)

El archivo de *configuracion.txt* de la figura 3, es grabado por el usuario utilizando el Panel Local del Controlador y presenta en cada línea del texto el identificador de la variable Prolog seguida de un conjunto de argumentos.

Red (número de nodo, 0, tipo de nodo, 'código', 'lugar').

Figura 3. Archivo de configuración (*configuración.txt*)

Luego de la configuración de la red virtual dentro del PIC se habilitan las interrupciones globales y locales que manejan el diálogo entre el microcontrolador y los dispositivos periféricos. En este momento comienza el lazo iterativo: si una interrupción proviene del programa X-CTU, el PIC devuelve un "eco" al puerto serial indicándole al programa X-CTU que la red existe. Una función de enrutamiento determina el camino más corto cuando se requiere una comunicación entre el nodo coordinador y el nodo destino. El estado de activación de un sensor o actuador es enviado al puerto serial para que sea leído por el Controlador, repitiéndose el lazo iterativo. Similarmente, si la interrupción es interna o proviene del teclado del ISIS Proteus se ejecuta la misma operación anterior. Se repite el lazo iterativo de forma indefinida hasta que una acción externa finalice el lazo inmediatamente.

Por otra parte, cuando el Controlador es activado desde el Panel Remoto, ver figura 4, Matlab carga los recursos del sistema consistentes en las bibliotecas de enlace dinámico. Se abre la interfaz del administrador y escribe "ok" en el buffer de comandos, indicando que el Controlador y su interfaz gráfica están en operación. Se lee el *buffer* de estados (archivo *estado.txt*), y escribe un "0" (desactivado) o un "1" (activado).

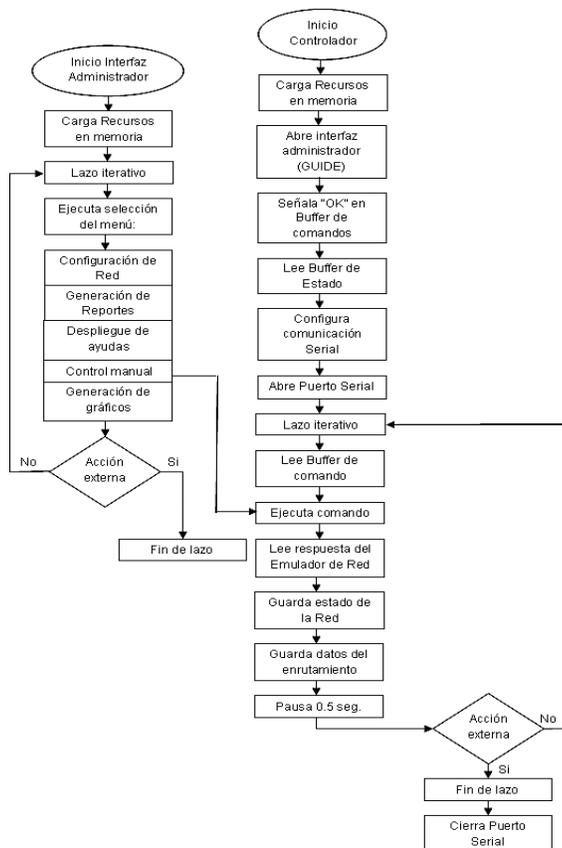


Figura 4. Diagrama de flujo del controlador

El Controlador es capaz de leer el archivo de comandos *buffer.txt*, esta información puede provenir del Panel Remoto o Local. Se ejecuta el comando enviando la información por el puerto serial hacia el Emulador de red a través del VSPE. Guarda el estado de la red y los datos de enrutamiento. Existe una pausa de 0.5 segundos que controla el tiempo en el que se ejecuta el lazo. La interfaz gráfica del Controlador, aparece en el momento en que se ejecuta el Controlador mediante el archivo *panel2.m*.

Ahora bien, atendiendo la figura 5, una vez que el usuario activa el Servidor web en la máquina local, el Servidor procede a cargar en la memoria RAM del computador los recursos del programa consistentes en la biblioteca de comandos gráficos para Windows 7, manejo y construcción de páginas HTML, reconocimiento de códigos de hipertexto y protocolos de internet, importación de recursos gráficos necesarios para la construcción del monitor del Panel Remoto. Posteriormente se habilita el puerto 8080, luego el Servidor realiza una limpieza de registros temporales y lee el archivo *estado.txt*. Para construir la respuesta de la interfaz del Panel Remoto, el Servidor lee la hora y fecha del sistema operativo, señala en el monitor de respuesta el estado de los nodos mediante: luz amarilla para la activación de los nodos actuadores, luz roja para los sensores y luz verde para los enrutadores (puede ser sensor o actuador).

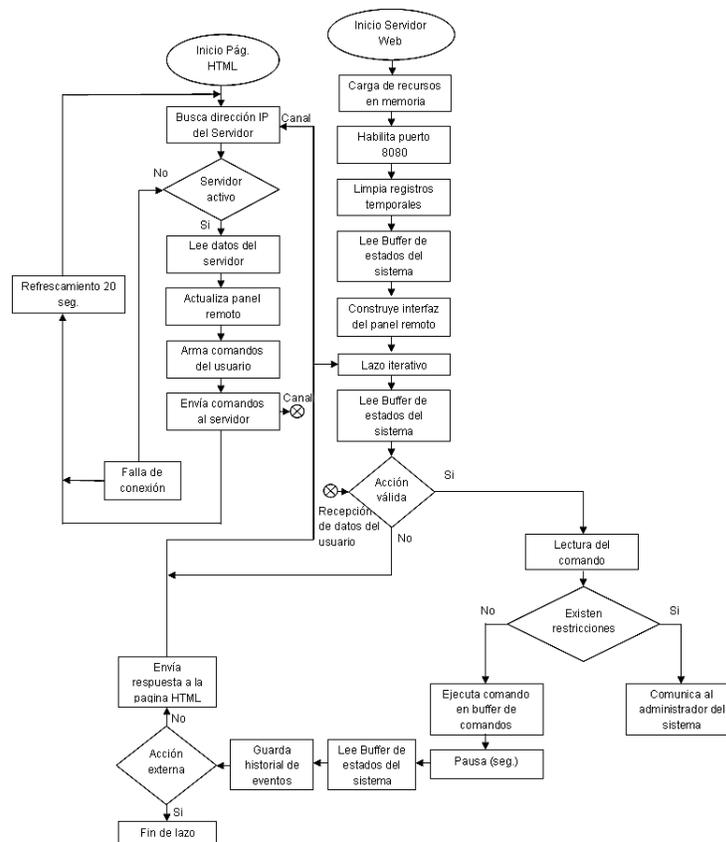


Figura 5. Diagrama de flujo del servidor web

Comienza un lazo iterativo en el cual se vuelve a leer el *buffer* de estados del sistema, se recibe el comando del Panel Remoto y se compara con las restricciones de la lógica de operación como lo son: la existencia del nodo, un cambio de estado de los nodos, otra operación en el proceso, o espera por la respuesta del Controlador. Si las restricciones están presentes se le comunica al usuario. En caso contrario, una vez que el comando es aceptado se escribe en el *buffer* de comandos, el cual es leído por el Controlador, se procede a una pausa de 5 segundos en espera de la respuesta ubicada en el *buffer* de estados del sistema. En caso de no existir acciones externas, la respuesta del Controlador se envía al Panel Remoto y se continúa con el lazo iterativo de forma indefinida hasta recibir interrupciones del usuario o de la máquina local.

Diseño del emulador de la red inalámbrica

En la figura 6 se muestra el emulador y sus componentes: el PIC16F877, el monitor de eventos del puerto serial, una pantalla LCD LM016L de 2x16 para la visualización de los comandos que provienen del puerto serial y la ruta calculada por algoritmo de enrutamiento del PIC, 16 luces LEDs, un conector DB9 y el teclado.

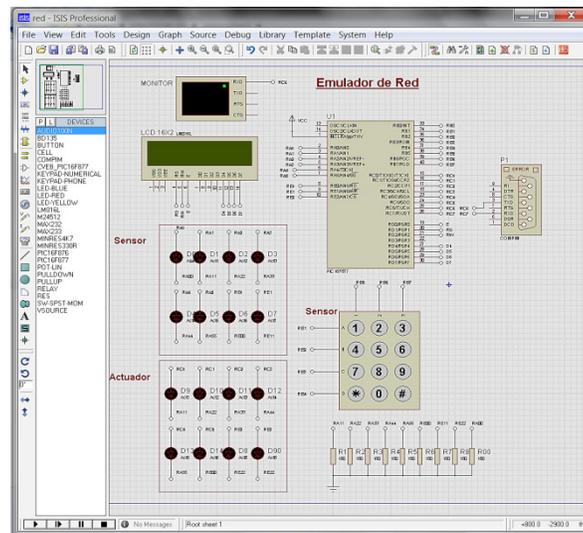


Figura 6. Emulador de la red inalámbrica (Panel ISIS Proteus)

Diseño del panel de control local

La interfaz gráfica es capaz de recibir las instrucciones a través de botones y modificar archivos de texto, ver figura 7. Luego de ingresar la clave de acceso, mediante los botones Activar, Desactivar y Enviar, junto con el teclado numérico, se construyen las órdenes que el usuario envía a los dispositivos de actuación. El teclado posee una ventana que muestra la tecla pulsada, mientras que los estados de los nodos de la red son observados en el monitor ubicado a la derecha del Panel mediante indicadores de forma circular. Se pueden verificar los archivos de estado, configuración de la red e historial de eventos, mediante botones ubicados en la parte inferior del Panel. Además, se puede realizar una prueba de enrutamiento que corrobora el estado de los nodos de la red mostrados en el monitor. Además, existe un botón para la consulta de la dirección IP de la máquina donde se encuentra el Controlador.



Figura 7. Panel de control local

Diseño del servidor web

La página web de la figura 8, comienza a operar cuando el usuario coloca la dirección IP del Servidor, y se actualiza cada 20 segundos. Permite la inclusión de la clave de acceso, el manejo de un menú

desplegable y herramientas adicionales, además posee un campo para la entrada de comandos en forma de cadena de caracteres.

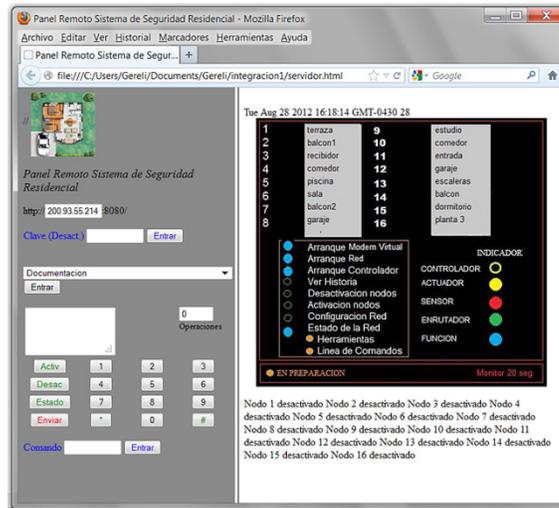


Figura 8. Panel de control remoto: página web

Integración del sistema de seguridad residencial inalámbrico

Comunicación emulador de la red inalámbrica - panel de control local: en la figura 9 se muestra cómo la comunicación entre el Emulador de red y el Controlador que se realiza a través de puerto serial, puede ser verificada utilizando el VSPE. Las tramas de datos observadas pueden ser: activación y desactivación de los actuadores y activación de los sensores; ambas consistentes en 13 caracteres: el primer carácter representa el comando (a = activación, d = desactivación y s = sensor); el segundo, un espacio en blanco; el tercero el número del nodo final (un valor máximo de 8 para los sensores y 8 para los actuadores), los diez caracteres restantes, permiten la posibilidad de incluir la identificación de hasta diez nodos en la ruta de activación del nodo final.

Comunicación controlador - servidor web: se utilizó un archivo de texto como *buffer* entre el Controlador y el Servidor web, ver figura 9, en donde se guardan de manera asíncrona la trama en modo de texto los comandos provenientes del usuario y aquellas tramas generadas por la lógica del Controlador. Desde el Servidor, la estructura de la trama es igual a la que se describió anteriormente.

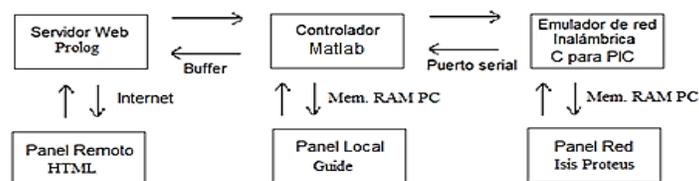


Figura 9. Sistema de Seguridad Residencial Inalámbrico

Una palabra clave es referida para detener el Controlador (*fin*), y otra, para indicar que el Servidor se encuentra listo para recibir respuesta del Controlador (*oks*).

Reconocimiento de la red inalámbrica: se realizó la conexión virtual entre el programa X-CTU y el Emulador de red utilizando los puertos de comunicación 2 y 6 configurados por el VSPE. El X-CTU envía una trama de prueba, la cual debe ser recibida en forma de “eco” desde la red ya configurada indi-

cando la existencia de una red aunque no se encuentre físicamente conectada al computador, ver figura 10.

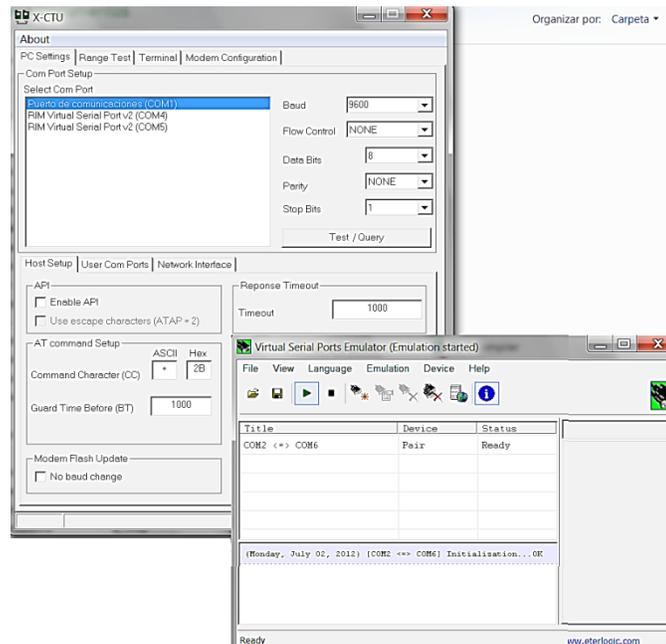


Figura 10. Reconocimiento de la red por parte del X-CTU

Ejecución de pruebas de enrutamiento: la prueba de configuración de la red virtual, utilizando la interfaz del Controlador, se basó en un plano de planta de una vivienda de tres pisos, en la cual se indicó la ubicación de los sensores, los actuadores, el coordinador de la red y las distancias entre cada uno de los nodos. Utilizando geometría básica, la red se aproximó a una red plana, ver figura 11, partiendo de lo siguiente: deben existir los tres tipos de nodos, la topología es tipo árbol, cada nodo de la red puede contar con solo un nodo ascendiente, cada nodo enrutador puede tener varios nodos descendientes y el número total de nodos es de 16. Del caso propuesto se plantearon tres configuraciones de red, ver figura 12, se trabajó con *dist.txt*, ver figura 13. En la tabla 1 se muestra la comprobación de ruta de los 16 nodos de las tres redes: en la primera columna se muestra el número del nodo activado, en la segunda, la tercera y la cuarta columna se presentan las rutas adoptadas, y en las últimas tres columnas, las distancias resultantes al activarse cada nodo. Según la tabla 1, la configuración Red 1 permite que la información que llega al nodo coordinador transite más rápido que en las otras dos. Se verificó el desempeño del algoritmo de Dijkstra de la red seleccionada con respecto al algoritmo de enrutamiento propuesto, en la tabla 2 se comprobó que no existían diferencias entre ambos.

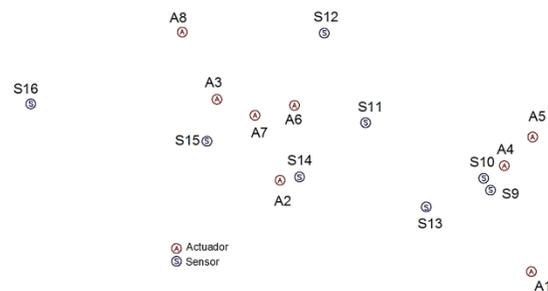


Figura 11. Distribución de nodos sensores y actuadores

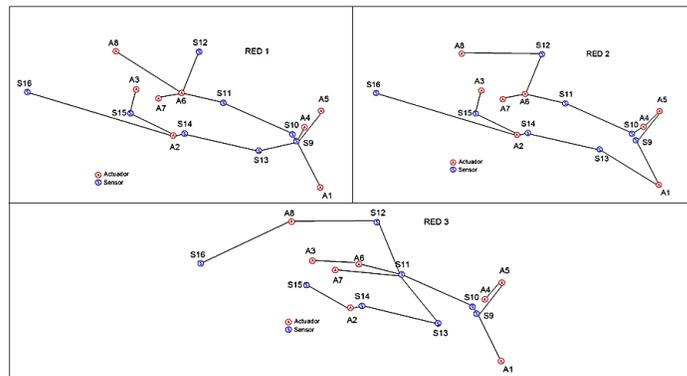


Figura 12. Red 1, Red 2 y Red 3

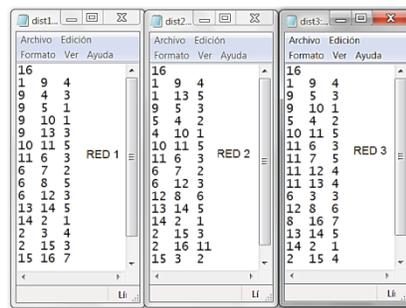


Figura 13. Archivos dist.txt: Red 1, Red 2 y Red 3

Tabla 1. Rutas de nodos de tres configuraciones de redes diferentes

Nodo	Ruta			Distancia (m)		
	Red 1	Red 2	Red 3	Red 1	Red 2	Red 3
1	1	1	1	0	0	0
2	1 9 13 14 2	1 13 14 2	1 9 10 11 13 14 2	13	11	20
3	1 9 13 14 2 3	1 13 14 2 15 3	1 9 10 11 6 3	17	16	16
4	1 9 4	1 9 5 4	1 9 5 4	7	9	9
5	1 9 5	1 9 5	1 9 5	5	7	7
6	1 9 10 11 6	1 9 5 4 10 11 6	1 9 10 11 6	13	18	13
7	1 9 10 11 6 7	1 9 5 4 10 11 6 7	1 9 10 11 7	15	20	15
8	1 9 10 11 6 8	1 9 5 4 10 11 6 12 8	1 9 10 11 12 8	18	27	20
9	1 9	1 9	1 9	4	4	4
10	1 9 10	1 9 5 4 10	1 9 10	5	10	5
11	1 9 10 11	1 9 5 4 10 11	1 9 10 11	10	15	10
12	1 9 10 11 6 12	1 9 5 4 10 11 6 12	1 9 10 11 12	16	21	14
13	1 9 13	1 13	1 9 10 11 13	7	5	14
14	1 9 13 14	1 13 14	1 9 10 11 13 14	12	10	19
15	1 9 13 14 2 15	1 13 14 2 15	1 9 10 11 13 14 2 15	16	14	24
16	1 9 13 14 2 15 16	1 13 14 2 16	1 9 10 11 12 8 16	23	22	27
Total				181	209	217
Promedio				11,31	13,06	13,56

Tabla 2. Comparación algoritmo de Dijkstra vs Algoritmo propuesto

Nodo	Ruta del algoritmo		Diferencias
	Dijkstra	Propuesto	
1	1	1	0
2	1 9 13 14 2	1 9 13 14 2	0
3	1 9 13 14 2 3	1 9 13 14 2 3	0
4	1 9 4	1 9 4	0
5	1 9 5	1 9 5	0
6	1 9 10 11 6	1 9 10 11 6	0
7	1 9 10 11 6 7	1 9 10 11 6 7	0
8	1 9 10 11 6 8	1 9 10 11 6 8	0
9	1 9	1 9	0
10	1 9 10	1 9 10	0
11	1 9 10 11	1 9 10 11	0
12	1 9 10 11 6 12	1 9 10 11 6 12	0
13	1 9 13	1 9 13	0
14	1 9 13 14	1 9 13 14	0
15	1 9 13 14 2 15	1 9 13 14 2 15	0
16	1 9 13 14 2 15 16	1 9 13 14 2 15 16	0

Pruebas de funcionamiento

Configuración de la red

Seleccionada la red, se procede a configurarla dependiendo de la ubicación de los sensores y actuadores en la vivienda. El usuario identifica los ambientes en los cuales se encuentra cada nodo y los escribe en el archivo *configuracion.txt*, ver figura 15, se introduce la Red 1 en el PIC y se compila el programa.

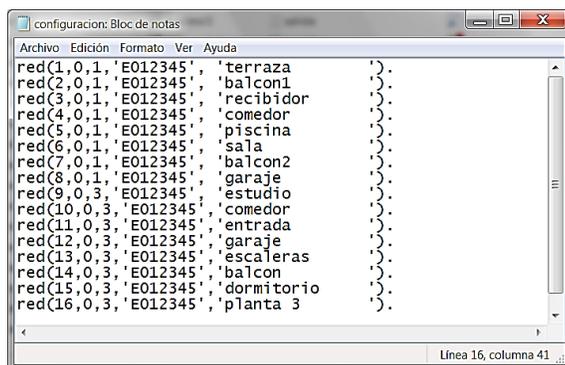


Figura 15. Archivo configuracion.txt Red 1

Secuencia de arranque del sistema

La secuencia de arranque puede ser de forma local o remota, en ambos casos se debe seguir la siguiente secuencia: 1° Arranque VSPE, 2° Arranque del Emulador, 3° Inicio de la simulación del Emulador, 4° Verificación del último estado de la red y 5° Envío y recepción de comandos del usuario.

Caso 1: Activación de sensor: activado el nodo sensor S11, ubicado en la entrada de la residencia, la ruta se comprueba mediante la tabla 2. El estado del sistema se muestra en las figuras 16 y 17.

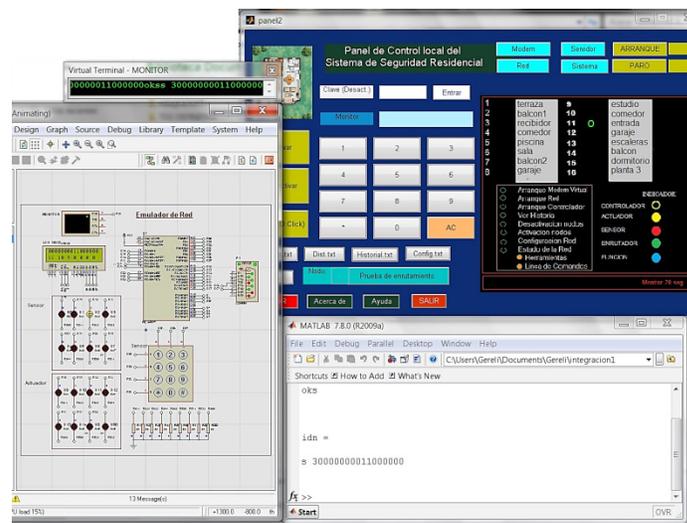


Figura 16. Respuesta local del Sistema ante activación de S11

Caso 2: Activación de actuador: se comprueba el flujo de información desde internet hasta la red, activándose el nodo A3 vía web, el resultado se muestra en la figura 17.

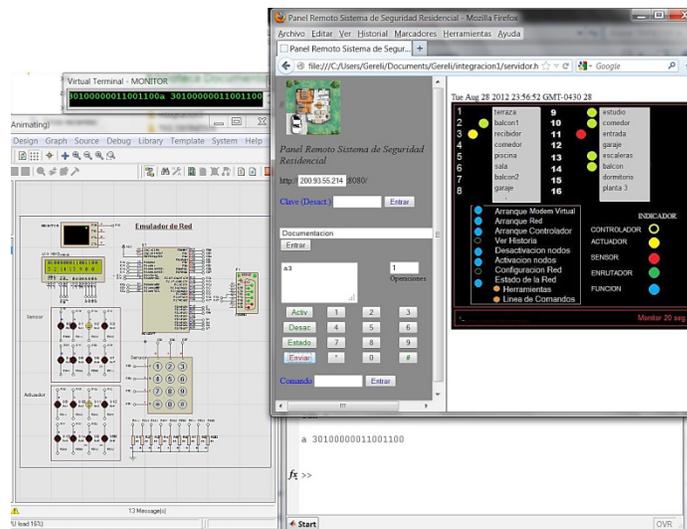


Figura 17. Activación remota del actuador A3 y respuesta del Sistema

En este caso se comprobó que los comandos que envía el usuario vía remota, son recibidos y asimilados por la red emulada en cualquier instante de tiempo, verificando de esta manera el carácter bidireccional y asíncrono que posee el control del sistema de seguridad residencial inalámbrico propuesto.

Conclusiones

Los módulos del sistema de seguridad residencial inalámbrico propuesto se interrelacionan entre sí y poseen características propias de la aplicación utilizada para su simulación. Los criterios de diseño y la lógica operacional permitieron especificar los dispositivos utilizados en la residencia, así como su ubicación y cantidad, dependiendo de las exigencias del usuario al momento de instalarlos y atendiendo a

las limitaciones del PIC16F877. El Emulador de red fue capaz de imitar una red real y trabajar con varias configuraciones de igual topología bajo el algoritmo propuesto, el cual permitió utilizar una mayor parte de la memoria RAM del PIC que no hubiese sido posible empleando el algoritmo de Dijkstra. El Panel de Control Local permitió visualizar las acciones emitidas localmente o señales externas provenientes de la red. El Controlador presentó la habilidad de interpretar las instrucciones recibidas del Emulador de red y enviarlas al Panel de Control Local y Remoto, así como también fue capaz de distribuir las órdenes provenientes del usuario y enviarlas como señales de control al Emulador de la red. El Servidor web estuvo calificado para reconocer las acciones de control provenientes del Panel de Control Remoto, de manera que fuese posible la ejecución de órdenes de activación y desactivación de los elementos del sistema vía web. La ejecución de pruebas de reconocimiento de la red, experimentos de enrutamiento y pruebas de funcionamiento global del sistema demostraron la apropiada integración del mismo, pues los resultados obtenidos evidenciaron su correcta operatividad cumpliendo tanto los criterios como la lógica operacional previamente establecida.

Referencias Bibliográficas

1. Antoni M. Instrumentación Virtual: adquisición, procesado y análisis de señales. Universidad Politécnica de Cataluña. Vol. 102, (2001) 15-30.
2. Farahani S. Zigbee Wireless Networks and Transceivers. USA (2008).
3. MaxStream. Xbee™/Xbee - Pro™ OEM RF Modules. Product Manual v1.xAx -802.15.4 Protocol (2007).
4. Joyanes L. Algoritmos y Estructura de Datos. Ed. McGrawHill. Madrid (2004).
5. García E. Compilador C CCS Y Simulador Proteus para Microcontroladores PIC. Ed. Alfaomega (2008).
6. Barragan D. Manual de interfaz gráfica de usuario en Matlab. (2008).
7. Wielemaker J. SWI-Prolog 5.6 Reference Manual. University of Amsterdam, Amsterdam (2008).
8. Duckett J. Beginning HTML, XHTML, CSS and JavaScript. USA (2010).
9. Oyarce A. Xbee Series 1. Guía del Usuario. (2001).
10. Microchip. PIC16F87X Data Sheet. (2001).

Sistema de facturación vehicular en peajes basado en tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID)

Angel D. Larreal M. y Georma P. Marachli M.

Escuela de Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Urdaneta,
Maracaibo-Venezuela. *larreal.angel@gmail.com; g.p.m.007@hotmail.com*

Recibido: 22-02-2013 Aceptado: 09-05-2014

Resumen

En el presente trabajo se expone el diseño de un sistema de facturación vehicular en peajes. El diseño desarrollado es una aplicación conocida de la tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID) junto con un sistema de procesamiento de imágenes; para el cobro electrónico de impuestos en los peajes del Estado Zulia, los cuales sufren de ineficiencia y lentitud en sus procesos. El objetivo final del trabajo es solucionar una problemática que aqueja a quienes tienen que hacer el uso del peaje diariamente en el camino a sus destinos.

Palabras claves: Sistema de facturación, Vehicular, Identificación por radio frecuencia (RFID).

Vehicular toll collection system based on radio frequency identification technology (RFID)

Abstract

The present research describes the design of a vehicle toll collection system for tolls. The developed design is a known technology for radio frequency identification (RFID) with an image processing system, for collecting taxes in an electronic way on Zulia state tolls, which suffer from inefficiency and delays in its processes. The ultimate goal of the work is to solve a problem that afflicts those who have to make use of the toll on daily basis in their way to their destinations.

Keywords: Toll Collection System, Vehicular, Radio Frequency Identification (RFID).

Introducción

La tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID) existe desde comienzos de los años 1920. Fue desarrollada por el *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) y usada extensivamente por los británicos en la Segunda Guerra Mundial.

A partir de los años 1960 se ha desarrollado la tecnología RFID gracias al abaratamiento de los costos y desde entonces fueron surgiendo nuevas aplicaciones para la misma.

La primera vez que se usa a la tecnología RFID para el cobro de peajes es en el 1986, en la ciudad de Bergen, Noruega.

Actualmente, los peajes de la República Bolivariana de Venezuela se ven afectados por una gran ineficiencia y demora en sus procesos de cobro, generando grandes embotellamientos.

En el presente estudio se escogió la tecnología de identificación por radio frecuencia, la cual ha venido evolucionando constantemente desde los años 1960, como base para el desarrollo del diseño de un sistema facturación vehicular para dar término al problema.

Sistema de identificación por radio frecuencia

El sistema de identificación por radio frecuencia está conformado por tres elementos:

Etiqueta RFID: compuesta por una antena, un transductor radio y un chip. El propósito de la antena es permitirle al chip, el cual contiene la información, transmitir la información de identificación de la etiqueta. Existen varios tipos de etiquetas [1]. El chip posee una memoria interna con una capacidad que depende del modelo y varía de una decena a millares de bytes. Existen varios tipos de memoria [2]:

- **Solo lectura (pasiva):** Las etiquetas pasivas no requieren ninguna fuente de alimentación interna y son dispositivos puramente pasivos (se activan por inducción eléctrica al entrar en el rango del lector). Sus tamaños son menores al de la palma de la mano. El código de identificación que contiene es único y es personalizado durante la fabricación de la etiqueta (ver Figura N° 1).



Figura N° 1. Etiqueta RFID pasiva encapsulada tipo llavero

- **De lectura y escritura (activa):** A diferencia de los etiquetas pasivas, las activas poseen su propia fuente autónoma de energía, que utilizan para dar corriente a sus circuitos integrados y propagar su señal al lector. Son de mayor tamaño que las pasivas. La información de identificación puede ser modificada por el lector [3] (ver Figura N° 2).



Figura N° 2. Etiqueta RFID activa para seguimiento de equipos

- **Anticolisión.** Se trata de etiquetas activas especiales que permiten que un lector identifique varias al mismo tiempo (ver Figura N° 3).



Figura N° 3. Etiqueta RFID con algoritmo de anticolisión

Lector de RFID: compuesto por una antena, un transceptor y un decodificador. El lector propaga periódicamente señales para identificar alguna etiqueta en sus inmediaciones. Cuando capta la señal de una etiqueta, extrae su información, la que luego es enviada a un subsistema de procesamiento de datos [4] (ver Figura N° 4).

Subsistema de procesamiento de datos: proporciona los medios de proceso y almacenamiento de datos.



Figura N° 4. Lector RFID manual para administración de inventario

La Figura N° 4 muestra un dispositivo portátil que integra el lector RFID junto con el subsistema de procesamiento de datos.

Diseño del sistema de facturación vehicular en peajes consideraciones preliminares

Como pasos preliminares al diseño del sistema se tomaron las siguientes consideraciones:

El Peaje: Los peajes se estructuran por canales para el tránsito de diferentes clases de vehículos. El ancho de canal es de 3,10 m.

La Tabla N° 1 muestra la clasificación de los vehículos según su tipo.

Tabla N° 1. Clasificación de vehículos según su tipo

Clases	Tipo de Vehículos
1	Particular (5 puestos).
2	Autobús y Microbús.
3	Camiones 350 (Carga Liviana).
4	Camiones 750 (Carga Pesada).
5	Camiones 3 Ejes.
6	Camiones 4 Ejes.
7	Camiones 5 Ejes o más.
20	Exonerados.

El Lector RFID

La **antena**: La frecuencia operativa de la antena define su rango y velocidad de lectura. El sistema propuesto no requiere una alta velocidad de lectura pero sí un rango de lectura tan ancho como el canal de tránsito de vehículos. La antena que cubre todas las características necesarias es la siguiente:

Antena UHF de polarización Lineal, marca: GAO RFID, Modelo N° 316002. Es compatible con cualquier transceptor de 902 ~ 928 MHz, y con el estándar de EPC G2, o ISO18000 6B, se conecta directamente a la unidad de radio frecuencia y es capaz de manejar frecuencias en la banda UHF lo que le permite una alta velocidad de lectura [5] (ver Figura N° 5).

**Figura N° 5. Antena UHF Modelo N° 316002**

El **transceptor**: El transceptor deberá ser capaz de manejar varias antenas y una banda de frecuencias entre 902 ~ 928 MHz y tener una interfaz apropiada con un computador para la transmisión de la información. Además, se necesitan funciones de decodificación integradas para entregar los datos a un servidor listos para ser utilizados.

Transceptor UHF, marca: Bluecard, Modelo: BU-900F. Este posee funciones de inducción eléctrica para operar con etiquetas RFID pasivas de solo lectura y funciones de decodificación integradas. Su área de lectura puede ser configurada para cubrir hasta 10 metros, y la velocidad máxima de lectura es 60 etiquetas por segundo. Las interfaces con las que cuenta son las siguientes: RS232, Wiegand 26, Ethernet, RS485. Controla un máximo de 4 antenas, así, una sola unidad es capaz de controlar 4 canales a la vez [6] (ver Figura N° 6).



Figura N° 6. Transceptor UHF marca: Bluecard

El sistema necesita un servidor para procesar la información captada por el transceptor.

El Servidor

El servidor debe tener unas características especiales para llevar a cabo todos los procesos necesarios e interfaces apropiadas y comunicarse con el transceptor.

El servidor seleccionado fue:

Computador marca: HP Compaq dx2450, Modelo: KR612UT#ABA. Sus especificaciones se muestran en la Tabla N° 2.

La etiqueta RFID

Se seleccionaron etiquetas RFID pasivas para ser usadas en el sistema por su gran versatilidad y su reducido tamaño.

Una impresora especial graba las etiquetas RFID y códigos de barras en ellas.

Se seleccionó la impresora siguiente:

Impresora de etiquetas RFID Pasivas, marca: Zebra, modelo: R110Xi. Es un codificador que graba las etiquetas. Todos los circuitos que conforman la etiqueta, junto con la información que se almacenará en él, son impresos sobre un papel adhesivo de fácil instalación [7] (ver Figura N° 7).



Figura N° 7. Impresora Zebra, modelo: R110Xi

Tabla N°2. Especificaciones del host

PCI Slots (Total):	1
PCI Express X1 Slots (Total):	2
PCI Express X16 Slots (Total):	1
PCI Express X16 Slots (Total):	1
PS/2 Mouse Connectors:	1
USB Ports:	6
LAN Ports:	1
Audio Out Jacks:	2
Line In Jacks:	1
Microphone Jacks:	2
VGA Ports:	1
Processor Brand:	AMD
Processor Class:	Athlon X2
Processor Number:	Athlon X2
Processor Number:	5000B
Processor Speed:	2.60GHz
Processor Interface:	AM2
Memory Type:	DDR2
Memory Size:	1 x 1024MB
Total Memory:	1.0GB
Memory Speed:	DDR2 800 (PC2-6400)
Memory Slots (Total):	4
Memory Slots (Available):	3
Maximum Memory Supported:	4.0GB

Identificación Matricular

Como medida de seguridad, el sistema de identificación por radio frecuencia se ve complementado por un sistema de identificación matricular basado en el procesamiento de imágenes.

Las cámaras

Cámaras de alta definición serán una medida de seguridad para evitar la evasión de pagos.

El modelo de cámara escogido se muestra a continuación.

Cámara de video de alta definición, marca: TYSSA, modelo: FXCAM IBW_2000. Las cámaras de video digitales de alta velocidad son una medida de seguridad para evitar la evasión de pagos y garanti-

zar la correcta identificación de los vehículos. Estas capturan la imagen del vehículo y por medio de un software de procesamiento de imágenes identifica la placa del vehículo y transforma esta información a código ASCII [8] (ver Figura N° 8).



Figura N° 8. Cámara FXCAM IBW_2000

El alcance efectivo del equipo puede variar de 4 a 13 metros según las condiciones ambientales (luz de sol, niebla, lluvia) y de las características de las matrículas.

Las cámaras proporcionan una señal analógica y necesitan una interfaz (tarjeta capturadora de video) para la comunicación con el servidor.

Tarjeta para captura de video, marca: TYSSA, modelo: FXVD4. Es una tarjeta de alta calidad de 4 canales para captura de video, desarrollada especialmente para el sistema “Carmen ANPR” (reconocimiento automático del número de placa). Se basa en el chip de captura de video BT878 para proporcionar imágenes de alta calidad. Los servicios de este chip son soportados por módulos de hardware adicionales situados en la tarjeta, dándole gran alcance. Posee una interfaz PCI 2.1 [9] (ver Figura N° 9).

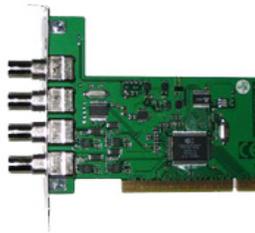


Figura N° 9. Tarjeta FXVD4 para captura de video formato PCI

Su función primaria es convertir la señal a video digital. La tarjeta ha sido desarrollada para manejar señales analógicas de video tanto en PAL como en NTSC, recibidas a través de los cuatro conectores BNC de entrada. Los tiempos de conmutación entre los canales de entrada de la tarjeta son de 30 milisegundos aproximadamente, lo cual permite construir sistemas secuenciales de alta velocidad que manejan las señales de cuatro canales video casi simultáneamente.

Interconexión entre los peajes

Servidores locales en cada peaje deberán estar conectados a una red junto con un servidor principal donde se encontrará almacenada toda la información de los usuarios. Los servidores locales registrarán todas las transacciones directamente en el servidor principal accediendo a él para tomar y actualizar la información tras sus operaciones.

La interconexión entre los servidores se hará a través de redes privadas ofrecidas por compañías de telecomunicaciones

Mediante enlaces de microondas los peajes Santa Rita, San Rafael, El Venado y la oficina principal (servidor principal) se conectarán con las celdas ETS Santa Rita, ETS Santa Cruz de Mara, ETS Corocito, ETS La Limpia, respectivamente, pertenecientes a la compañía Movistar.

Estudios de factibilidad fueron necesarios para la selección de las celdas con las cuales cada servidor estará conectado. Los resultados de los estudios de factibilidad realizados se muestran la Tabla N° 3.

Tabla N° 3. Coordenadas de peajes con sus respectivas celdas

	Coordenadas Peaje			Coordenadas Celda			Distancia Peaje- Celda
	Lat.	Long.	Elev.	Lat.	Long.	Elev.	
San Rafael	10,798472°	-71,711770°	34 m	10,960000°	-71,736667°	4 m	17,8 km
Santa Rita	10,578498°	-71,483683°	37 m	10,535556°	-71,512778°	8 m	5,9 km
El Venado	10,070335°	-70,964026°	65 m	10,116333°	-71,050104°	58 m	10,65 km
Oficina Principal	10.667106°	-71.634752°	41 m	10,682222°	-71,666111°	48 m	3,8 km

Adicionalmente, la ausencia de estructuras elevadas en las cercanías a los peajes brinda una línea visual despejada entre ellos y sus respectivas celdas.

El servidor local en cada peaje es conectado a un router y este a una unidad RF provista por la compañía de telecomunicaciones, este es el encargado de modular y demodular los datos en ondas de radio frecuencia para el transporte de la información, ésta interconexión se puede apreciar con mejor detalle en la Figura N° 10.

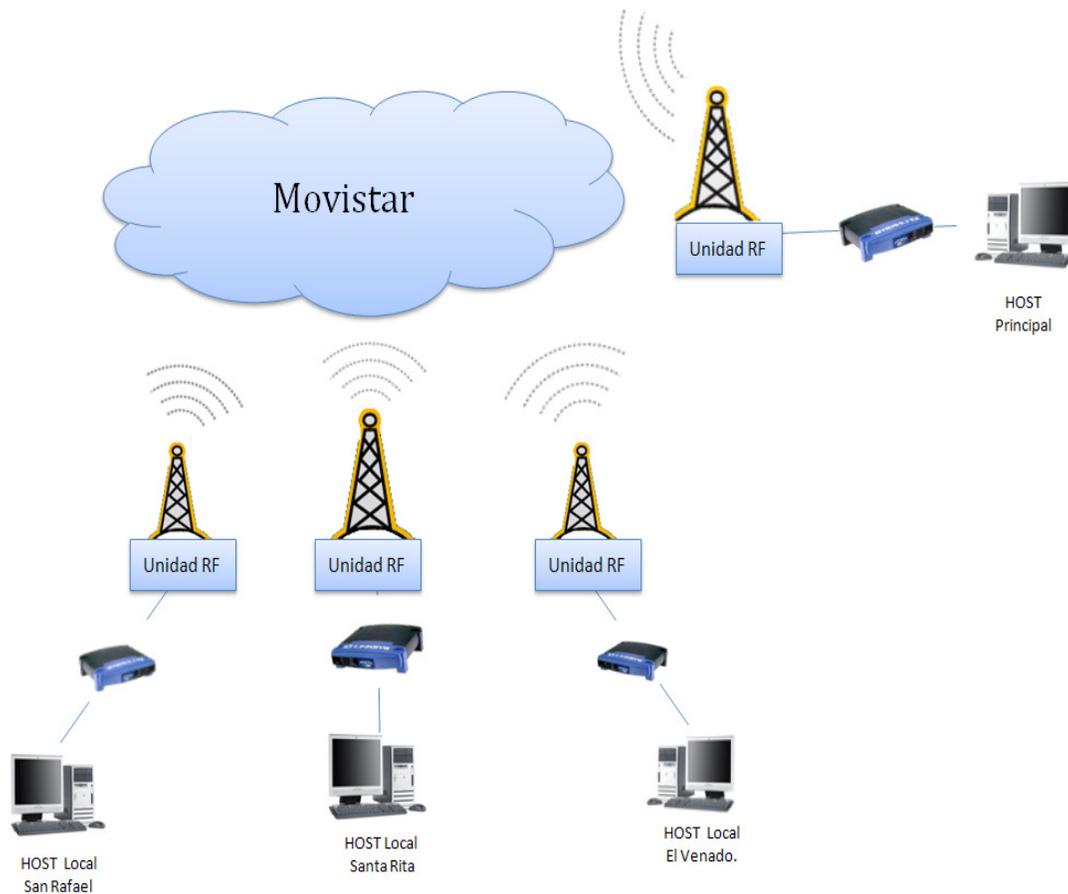


Figura N° 10. Interconexión entre servidor principal y servidores locales

El acceso en la red es unidireccional y limitado. Cada servidor local tendrá acceso al servidor principal, el cual contendrá toda la información de los usuarios del sistema junto con el crédito registrado en sus cuentas. (ver Figura N° 11).

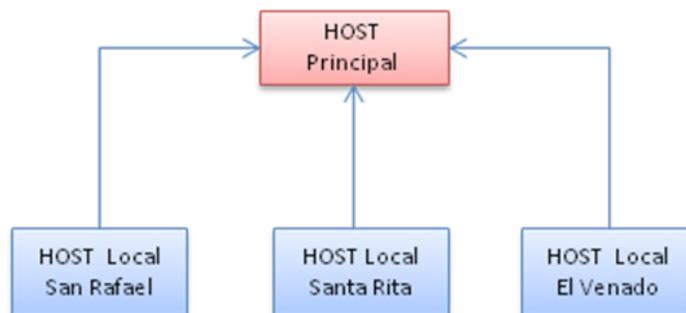


Figura N° 11. Acceso entre el Servidor y los servidores locales

Descripción General del Funcionamiento del Sistema

La etiqueta RFID es una unidad operada sin baterías, energizada inductivamente por una antena, este dispositivo es adherido a la parte interna del parabrisas detrás del retrovisor del automóvil, tienen un tamaño aproximado al de una tarjeta de crédito. Guardada en este dispositivo se encuentran 216 bytes de información básica acerca del usuario, como nombre del usuario, placa del vehículo, clase del vehículo, entre otras características.

Las etiquetas RFID se encuentran bajo el estándar EPC (Electronic Product Code) Generation-2 UHF de clase 1, descrito para etiquetas RFID simples, pasivas, de sólo lectura con una memoria no volátil programable una sola vez; con un protocolo de acceso simple (leídas de uno en uno), los datos en éstas proporcionan sólo una identificación del vehículo.

Una antena es posicionada en la parte superior de cada canal. Estas antenas emiten ondas de radio frecuencia dentro de la banda UHF para comunicarse con la etiqueta RFID, activarlo y así captar la información contenida en él. La zona de lectura de la antena tiene aproximadamente un rango entre 5 y 10 metros.

El transceptor envía periódicamente señales para captar alguna etiqueta RFID en su zona de cobertura, interpreta la información captada por la antena en datos digitales para ser enviados a un subsistema de procesamiento de datos (Servidor local) a través de su interfaz Ethernet. El transceptor tiene la capacidad de trabajar con 4 antenas simultáneamente.

Las cámaras de video de alta velocidad son una medida de seguridad para evitar la evasión de pagos y garantizar la correcta identificación del vehículo. Estas capturan la imagen del vehículo y por medio de un software de procesamiento de imágenes logra identificar la placa del vehículo de la imagen captada y transformar esta información a un formato ASCII.

El software de control de cada peaje tendrá la capacidad de:

- Comunicaciones con los puntos de cobro (sistemas en vía)
- Administración de las transacciones
- Reconocimiento automático de placas
- Procesamiento manual de imágenes para interpretación de las placas
- Relación placa – etiqueta
- Validación de situaciones dudosas
- Tarificación o valoración de las transacciones
- Administración de las tarifas
- Gestión de alarmas y telecomandos con los puntos de cobro

Conclusiones

La tecnología de identificación por radio frecuencias resulta una alternativa válida para aminorar las deficiencias que existen en la facturación en el peaje. Esta tecnología permite un proceso más rápido y eficiente al tiempo que permite registrar una mayor información sobre el vehículo y su propietario. Por otro lado, se tiene un mayor control de la facturación y se mejora la administración del cobro del peaje y se mejoran los niveles de servicio al cliente, toda vez que el vehículo no tiene que detener su marcha para realizar el pago.

La arquitectura del sistema propuesto consta de pocos elementos, lo que hace que sea un sistema rentable, de fácil instalación, operación y mantenimiento. Los equipos seleccionados son accesibles en el mercado y de fácil disponibilidad comercial.

Finalmente, un aspecto muy importante de esta investigación consiste en la posibilidad de interconectar el sistema de facturación del peaje con otros peajes y con un centro de control, de manera que la información registrada en cada peaje se pueda compartir con demás peajes y con el centro de control con lo cual se reducen los tiempos requeridos para acceder a la información, y se tiene un mayor control de la información y de los procesos que se llevan a cabo en cada peaje.

Bibliografía

1. <http://es.wikipedia.org/wiki/RFID>
2. Phillips, T.; Karygiannis, T.; Kuhn, R.; *Security standards for the RFID market*, Security & Privacy Magazine, IEEE, Volume 3, Issue 6, Nov.- Dec. 2005 Paginas: 85 – 89.
3. RFID Essentials, Himanshu Bhatt, Bill Glover, O'Reilly, January 2006.
4. V. Daniel Hunt, Albert Puglia, Mike Puglia, *RFID A guide to radio frequency identification*. Ed. Wiley 2007.
5. http://www.gaorfid.com/index.php?main_page=product_info&products_id=663
6. <http://www.made-in-china.com/showroom/bluecardsoft/product-detailiqnmcyKYHApO/China-UHF-Long-Range-RFID-Reader-BU-900F-.html>
7. <http://www.zebra.com/id/zebra/na/en/index/products/printers/rfid/r110xi.html>
8. <http://www.ocrtech.com/other.htm>
9. <http://www.sistemasdesaje.com/capturadoras-de-video-anpr.html>

Determinación del grado de conversión global del jugo de piña en etanol por medio de la fermentación alcohólica

Briceida C. Fernández A.¹, Maite V. Gómez S.¹, José R. Ferrer G.^{1,2}, y Marisela Rincón²

¹Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta. Estado Zulia. Venezuela.

²Escuela de Ingeniería Química. Departamento de Ingeniería Bioquímica. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Apartado 526, Maracaibo 4001-A. Estado Zulia.

e-mail: *heybri_89@hotmail.com*, *etiam_1989@hotmail.com*, *joseferrer1@gmail.com*, *mariselarincon@gmail.com*

Recibido: 18-01-2013 Aceptado 20-06-2014

Resumen

El presente estudio tuvo como propósito la determinación del grado de conversión global del jugo de piña en etanol por medio de la fermentación alcohólica, utilizando la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. En la caracterización físico química realizada al jugo de piña se determinó: pH, el contenido de azúcares totales por el método de Dubois, azúcares reductores utilizando el método DNS y °Brix por medio de la utilización de un refractómetro. Este proceso se realizó por triplicado en envases plásticos de 20 litros cada uno, con un volumen de trabajo de 6 litros a una temperatura de 29°C, para un crecimiento óptimo de esta levadura. Los resultados obtenidos fueron: pH promedio de 4,03; °Brix promedio de 11,6; un valor de 46,75% p/p para el contenido de azúcares totales y de 28,52% p/p para los azúcares reductores y $1,81 \times 10^8$ UFC/mL para el conteo de células. Luego de culminado la fermentación se obtuvo una concentración de etanol de 43.724,20 mg/L, un promedio de etanol obtenido por destilación simple de 28,67 ml por cada 500 ml de mezcla y una conversión promedio de 5,73%.

Palabras clave: Fermentación alcohólica, etanol, piña, conversión, levadura

Determination of the conversion degree of pineapple juice through alcoholic fermentation

Abstract

The purpose of this study is to determine the global conversion degree of pineapple juice into ethanol through alcoholic fermentation using yeast from the *Saccharomyces cerevisiae* genus. A physicochemical characterization made to the pineapple juice was used to determine its: pH, using a pH-meter; total sugar content by the Dubois method; reducing sugar using DNS method and Brix degrees through the use of a refractometer. This process was carried out in triplicate on 20-liter plastic containers, each with a 6-liter of work volume at 29°C of temperature, for an optimum growth of this yeast. The results gotten from the experiments were: average pH 4,03; average Brix degrees 11,6; a value of 46,74% w/w for the total sugar content and 28,52% w/w for reducing sugars and $1,81 \times 10^8$ cell/mL for cell counting. Once the fermentation process was finished, an ethanol concentration of 43.724,20 mg/L was obtained. The average of ethanol obtained by simple distillation was of 28,67 ml per each 500 mL of the mixture with an average conversion of 5.73%.

Key words: Alcoholic fermentation, ethanol, pineapple, conversion, yeast.

Introducción

Con el paso de los años se ha observado un crecimiento bastante acelerado de la población a nivel mundial, lo que trajo consigo, un aumento en las exigencias de la misma en cuanto a tecnología se refiere.

Este aumento de la población en los últimos años y la incesante búsqueda por parte del ser humano de un estilo de vida, lleno de tecnología y comodidades ha conllevado a la explotación indiscriminada de los recursos naturales no renovables como lo es el petróleo [1,2].

Es por ello que a nivel mundial surge la idea de trabajar en fuentes de energía alternas, las cuales permitan no solo satisfacer las necesidades del ser humano complementando los recursos ya existentes, sino que también permitan tener una garantía por si llegara a agotarse el petróleo [3,4,5].

Por este motivo el etanol ha adquirido un gran valor a nivel mundial, debido a su uso como combustible, bien sea solo o mezclado con la gasolina, además el etanol representa un combustible de mejor calidad y mucho más limpio.

Por otro lado, el etanol es una fuente de energía renovable ya que se puede obtener no solo por hidratación del etileno sino también a partir de frutas o productos que contengan un alto contenido de azúcares [6].

Las técnicas actuales de producción de etanol a partir de cereales y caña de azúcar presentan el problema de la seguridad alimentaria. De igual forma, la producción de etanol carburante por medio de estas materias primas no ha llenado las expectativas con respecto a la disminución de gases invernaderos y de aumento en la producción de energía con respecto a la gastada. Es por ello que se está trabajando a nivel mundial en la búsqueda de nuevas frutas o productos que permitan obtener dicho combustible sin la necesidad de representar una amenaza para la alimentación del ser humano [7,8,9,10].

Venezuela se ha interesado bastante en este tema y en los últimos años ha empezado una búsqueda de nuevas alternativas en la producción de etanol, para liberar de algún modo los otros rubros que ya están siendo explotados.

La piña podría ser una de estas alternativas puesto a que es una fruta que aunque es consumida por muchos, debido al agradable sabor y vitaminas que posee, es de menos importancia en la alimentación del ser humano como lo es el maíz. Es por ello que surge la necesidad de realizar esta investigación, con la finalidad de determinar que conversión se obtiene de jugo de piña en etanol utilizando la fermentación alcohólica como proceso de producción [11,12,13,14,15].

Para la realización de este experimento resulta necesario la realización de una serie de análisis o caracterizaciones previas al proceso de fermentación como lo son °Brix, pH y contenido de azúcares totales y reductores, los cuales nos indicaran si la fruta cuenta con los requerimientos mínimos necesarios para la obtención del biocombustible [16].

Luego de conocer si la fruta cuenta con los niveles de azúcares necesarios se procede a realizar el proceso de fermentación alcohólica, el cual nos permitirá determinar que tan eficiente resulta la producción de etanol utilizando la piña como materia prima.

Parte Experimental

La primera fase correspondió a la determinación de las propiedades físico químicas que conforman la materia prima utilizada en el proceso de fermentación alcohólica.

Se adquirieron las piñas en el Mercado de Mayoristas Mercamara (MercaSur) ubicado en el Municipio San Francisco del Estado Zulia. Se seleccionaron 17 piñas de 3 Kg cada una, aproximadamente. Una vez seleccionadas las piñas se procedió a lavarlas con agua destilada para, de esta forma, disminuir cualquier posibilidad de contaminación a la hora de preparar el jugo. Luego de lavadas todas las piñas se realizó la remoción de la concha de cada una de ellas, para luego cortar en pequeños trozos esta pulpa y así poder extraer el jugo. Para separar el jugo del material fibroso se utilizó un colador plástico de malla, para garantizar así, una fermentación mucho más efectiva.

Ya extraído el jugo se obtuvo una cantidad de 18 litros, los cuales se conservaron en cantidades iguales en tres envases de plástico, con una capacidad de 20 litros cada uno de ellos. Estos envases se encontraban previamente lavados con agua caliente y meta bisulfito de sodio, con la finalidad de prevenir el crecimiento de bacterias, levaduras u hongos extraños a los usados en el experimento. Los envases fueron cerrados con papel de aluminio de modo que no existiera ningún tipo de contacto con el ambiente

Para determinar los °Brix, se vertieron cuatro (4) gotas de la muestra en el lente del refractómetro portátil, Model RHB-32, y se observó en la escala que muestra el equipo los grados °Brix. Para determinar el pH, se utilizó un pHmetro de marca OAKTLON PH 510, el cual, estando previamente calibrado, muestra en la pantalla el pH de la solución.

Para la determinación de los azúcares totales presentes en el jugo de piña es necesario construir una curva, la cual se realizó utilizando el método de Dubois. Este método consiste en una reacción fenol-acido. Para la realización de la curva de calibración se toman soluciones con concentraciones conocidas de sacarosa. Una vez elaborada es posible, con la Absorbancia, determinar la concentración de la muestra, esto se cumple cuando las concentraciones se hallan en el rango de la curva de calibración. [1]

Para la determinación de azúcares reductores, se utilizó el método Sumer. En este método se trabaja con el ácido dinitrosalicílico (DNS) y es necesario, al igual que para la determinación de azúcares totales, la construcción de una curva de calibración; la cual se determinó con concentraciones conocidas de glucosa, a diferencia de la curva de azúcares totales para la que se empleó sacarosa. [2]

Una vez construida la curva de calibración de azúcares reductores se procedió a tomar los valores para el jugo de piña.

Para realizar la fermentación alcohólica del jugo de piña se utilizó la levadura *Saccharomyces cerevisiae* instantánea o levadura de panadero, agregándose 0.8 gramos por cada litro de jugo.

Para que la levadura trabajara en forma óptima fue necesario mantener la temperatura en un rango comprendido entre 27° C y 30°C. [3]

Se utilizó una cámara de conteo para el conteo de células. El tipo de cámara empleado es el hematocitometro o hematimetro.

A la muestra del jugo de piña con la levadura se le agregó solución de ácido cítrico 0.1 M conteniendo 0.1% (p/v) de violeta de cristal y finalmente se contaron las células utilizando un microscopio con un ocular de 10 y objetivo de 10.

Para la caracterización del licor se utilizó un Cromatógrafo Agilent Technologies 6890N de gases, en el cual se pasó la muestra por triplicado. Previo a este experimento el mosto a utilizar fue purificado por centrifugación. Se tomó una muestra de 500 mililitros y se separó utilizando un rotavapor,

Por último se determinó la eficiencia del proceso, determinando cuanto etanol se produjo en la fermentación alcohólica del jugo de piña. Para esto, se procedió de la siguiente manera:

$$X_i = \left(\frac{V_{bi}}{V_{ai}} \right) * 100$$

Donde:

X_i : Porcentaje de Conversión para la muestra .

V_{ai} : Volumen del jugo usado para el ensayo. Se expresa en mililitros.

V_{bi} : Volumen de etanol obtenido al final del proceso. Se expresa en mililitros.

Resultados y Discusión

Para la caracterización fisicoquímica del jugo de piña se realizaron análisis correspondientes a pH, °Brix, conteo de células, azúcares totales y azúcares reductores. Para estos experimentos se tomó una muestra representativa por triplicado del jugo de piña, con la finalidad de comprobar los resultados.

Los resultados obtenidos en estos experimentos se muestran a continuación:

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica del jugo de piña

Muestra	pH	° Brix
1	4,02	11,1
2	4,05	11,4
3	4,01	12,3
Promedio	4,03	11,6

En esta tabla se puede observar que los valores arrojados por la caracterización físico química del jugo de piña en cuanto a pH y °Brix son adecuados para que se pueda realizar el proceso de fermentación alcohólica, ya que el pH más favorable para el crecimiento de la *Saccharomyces cerevisiae* se encuentra entre 4.0 - 5.0, con un pH de 4.5 para su crecimiento óptimo [3].

Por otro lado, los valores obtenidos en cuanto a °Brix se encuentran dentro un rango común en lo que se refiere a esta fruta, siendo igualmente favorables para la realización de la fermentación.

Tabla 2. Azucares totales

Muestra	% P/P
1	46,73 %
2	46,81 %
3	46,70 %
Promedio	46,75 %

Al comparar el valor promedio obtenido para los azucares totales (46,75%) con la bibliografía consultada (40,8%) observamos que el valor se haya por encima del de la literatura, esto puede deberse a que las fuentes consultadas fueron de mango ya que no se hallaron sobre la piña[16]. Este valor se considera aceptable ya que el contenido de azucares es asociado a los grados Brix,

Tabla 3. Azucares reductores

Muestra	% P/P
1	28,70 %
2	28,52 %
3	28,34 %
Promedio	28,52 %

Al igual que para los azucares totales, los valores obtenidos se compararon con fuentes sobre el mango, encontrando los valores igualmente aceptables.

Tabla 4. Contaje de células

Muestra	Contaje de células (UFC/mL)
1	$1,93 \times 10^8$
2	$1,98 \times 10^8$
3	$1,51 \times 10^8$
Promedio	$1,81 \times 10^8$

Al estudiar la literatura encontramos que el valor óptimo para que se lleve a cabo la fermentación se haya dentro de un rango entre 10^6 - 10^8 UFC/mL, ya que de encontrarse por encima la fermentación podría ser muy acelerada presentando pérdidas de etanol. En la Tabla 4 puede apreciarse el valor promedio obtenido. Si comparamos dicho valor con las fuentes consultadas encontramos que es acorde a lo establecido por la literatura.

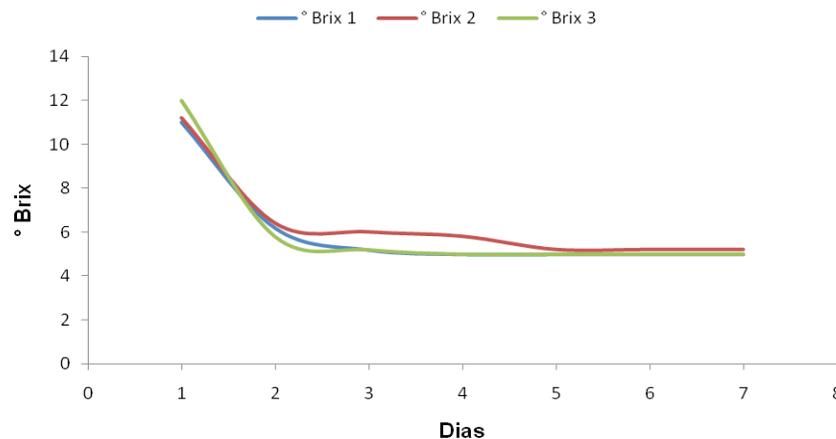
En la tabla que se muestra a continuación, se observa el comportamiento de los °Brix en cada uno de los envases donde se llevó a cabo el proceso de fermentación.

Tabla 5. Comportamiento de ° Brix durante el proceso de fermentación

Muestra	°BRIX							
	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
1	11,1	11,0	6,2	5,2	5,0	5,0	5,0	5,0
2	11,4	11,2	6,4	6,0	5,8	5,2	5,2	5,2
3	12,3	12,0	5,8	5,2	5,0	5,0	5,0	5,0

En esta tabla se hace notable el consumo de sustratos a medida que pasa los días, lo cual se debe al consumo de los azúcares fermentables por parte de la levadura. Es de importancia destacar que los °Brix se mantienen constantes a partir del cuarto día en los envases 1 y 3 y del quinto en el envase 2, lo cual indica que la fermentación ha terminado. En la grafica 1 se observa el comportamiento de la fermentación.

Grafica 1. Comportamiento de ° Brix durante el proceso de fermentación



Una vez finalizada la fermentación se realizó la caracterización físico-química de la mezcla. Se habla de mezcla ya que durante el proceso de fermentación se producen diversos compuestos (además de etanol y agua).

Los valores obtenidos para la cantidad de etanol, así como su valor promedio se observan en la Tabla 6.

Tabla 6. Cantidad de Etanol en la muestra por cromatografía

Muestra	mg/L etanol
1	44.006,1
2	44.205,6
3	42.960,9
Promedio	43.724,2

En la investigación realizada por Sansen [16] se reporta un valor promedio de 25.000 mg/L etanol. Comparando con esta investigación podemos considerar que el valor que se obtuvo es mayor, considerando que para los fines de la presente investigación se trabajó con un tipo de levadura de uso común en las panaderías mientras que para la tesis del mango se utilizó un tipo de levadura productora de etanol.

Entre otros factores podemos mencionar los °Brix; en el caso de esta investigación fueron mayores que los valores de la investigación anterior lo cual favorece la generación de etanol

El método de destilación que se utilizó fue vía rota-vapor utilizando como muestra 500mL. Los resultados se muestran en la Tabla 7:

Tabla 7. Etanol obtenido con rota-vapor

Muestra	mL etanol obtenido
1	27
2	29
3	30
Promedio	28,67

Considerando los resultados obtenidos por el Cromatografo podemos afirmar que según dicho resultado en los 500 ml de muestra deberían estar contenidos 27,9mL de etanol. Puede apreciarse que los valores obtenidos para esta investigación se hayan ligeramente por encima, se considera que esto puede deberse a que el etanol no es completamente puro; es decir, que durante la destilación se obtuvo una mezcla agua-etanol, hallándose el agua en menor cantidad.

Los resultados obtenidos por Sansen [16] fueron en promedio 26,7 mL en comparación con el valor promedio de esta investigación (28,67 mL) se puede observar que el volumen de etanol obtenido se encuentra levemente por encima.

Tabla 8. Conversión de jugo de piña a etanol

Muestra	% Conversión
1	5,4 %
2	5,8 %
3	6,0 %
Promedio	5,73 %

Finalmente, para esta investigación, se determinó el grado de conversión de jugo de piña a etanol alcanzándose un promedio de 5,73% v/v. Si lo comparamos una vez más con la investigación realizada por Sansen [16]. de la cual tenemos que el porcentaje fue, en promedio 5,33%, podemos afirmar que los valores obtenidos fueron buenos, y en un rango que podría, decirse, acorde para el tipo de separación.

Agradecimiento

Los autores agradecen la colaboración de los miembros del Laboratorio de Fermentaciones Industriales, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad del Zulia.

Conclusiones

- Durante la caracterización físico-química del jugo de piña se pudo corroborar que este cumple con los parámetros necesarios para poder llevar a cabo el proceso de fermentación alcohólica, debido a que los valores de: pH fue de 4,03; °Brix de 11,6; contaje de células de $1,81 \times 10^8$ UFC/mL; azúcares totales 46,75% p/p y azúcares reductores 28,52% p/p, los cuales entran en los parámetros establecidos en la literatura.
- El proceso de fermentación culminó aproximadamente entre el cuarto y quinto día. Esto se observó al momento en que los °Brix se mantuvieron constantes, lo cual indicó el consumo de sustrato por la levadura.
- El valor obtenido por cromatografía fue de 43.724,2 mg/L, llevándolo a unidades de volumen serían 55,18mL por cada litro de mezcla, esto nos lleva a concluir que a mayor cantidad de °Brix se produce mayor cantidad de etanol.
- La cantidad de etanol obtenida fue de 28,67mL, la cual estuvo ligeramente por encima de lo esperado, en comparación a lo determinado en la cromatografía. Es por ello que se considera que el etanol obtenido no es completamente puro; presentando una pequeña cantidad de agua.
- La conversión de jugo de piña en etanol obtenida fue de 5,73 % a pesar de que el tipo de levadura empleado en esta investigación no fue del tipo productora de etanol se considera un buen valor para el método empleado.

Referencias bibliográficas

1. Michel Dubois, K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers, and Fred Smith "Colorimetric method for determination of sugars and related substance" 1956
2. G. L. Miller., "Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar". March 1959 31 (3), pp 426-428
3. Universidad Nacional de Colombia. Lab de Operaciones Unitarias III. Guías de Fermentación. 2000.
4. Tanaka K., Hilary, Z. D. y Ishizaki, A. Investigation of the utility of pineapple juice and pineapple waste material as low-cost substrate for ethanol fermentation by *Zymomonas mobilis*. Journal of Bioscience and Bioengineering, Vol. 87, No. 5, (1999),642-646.
5. J.N. Nigam. Continuous ethanol production from pineapple cannery waste. Journal of Biotechnology, Vol.72, No.3, (1999),197-202.

6. Paulo A.G. Soares, Antônio F.M. Vaz, Maria T.S. Correia, Adalberto Pessoa Jr., MariaG.Carneiro-da-Cunha. Purification of bromelain from pineapple wastes by ethanol precipitation. *Separation and Purification Technology*, Vol. 98, (2012), 389-395.
7. Chalerm Ruangviriyachai, Chatchanun Niwaswong, Narong Kosaikanon, Saksit Chanthai,PatiwatChaimart. Pineapple Peel Waste for Bioethanol Production. *Journal of Biotechnology*, Vol.150,(2010),10-25.
8. Sonali Patle, Banwari Lal. Investigation of the potential of agro-industrial material as low cost substrate for ethanol production by using *Candida tropicalis* and *Zymomonas mobilis*. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 32, No. 7, (2008), 596-602.
9. Aporn Laorko, Zhenyu Li, Sasitorn Tongchitpakdee, Suphitchaya Chantachum, Wirote Youravong. Effect of membrane property and operating conditions on phytochemical properties and permeate flux during clarification of pineapple juice. *Journal of Food Engineering*, Vol. 100, No. 3, (2010), 514-521.
10. Nana O.K. Mainoo, Suzelle Barrington, Joann K. Whalen, Luis Sampedro. Pilot-scale vermicomposting of pineapple wastes with earthworms native to Accra, Ghana. *Bioresource Technology*, Vol. 100, No. 23,(2009), 5872-5875
11. Vasimon Ruanglek, Damrongdech Maneewatthana, Sudarut Tripetchkul. Evaluation of Thai agro-industrial wastes for bio-ethanol production by *Zymomonas mobilis*. *Process Biochemistry*, Vol. 41, No. 6, (2006), 1432-1437
12. F. Tao, J.Y. Miao, G.Y. Shi, K.C. Zhang. Ethanol fermentation by an acid-tolerant *Zymomonas mobilis* under non-sterilized condition. *Process Biochemistry*, Vol. 40, No. 1, (2005), 183-187.
13. Roberta T.P. Correia, Patrick McCue, Margarida M.A. Magalhães, Gorete R. Macêdo, Kalidas Shetty. Production of phenolic antioxidants by the solid-state bioconversion of pineapple waste mixed with soy flour using *Rhizopus oligosporus*. *Process Biochemistry*, Vol. 39, No. 12, (2004), 2167-2172.
14. On-ong Chanprasartsuk, Cheunjit Prakitchaiwattana, Romanee Sanguandeeekul, Graham H. Fleet.. Autochthonous yeasts associated with mature pineapple fruits, freshly crushed juice and their ferments; and the chemical changes during natural fermentation. *Bioresource Technology*, Vol. 101, No. 19, (2010), 7500-7509.
15. Dominica Del Mundo Dacera, Sandhya Babel. Removal of heavy metals from contaminated sewage sludge using *Aspergillus niger* fermented raw liquid from pineapple wastes. *Bioresource Technology*, Vol. 99, No. 6,(2008), 1682-1689.
16. Sansen, Luis F; Vargas F. Marlon J. 2009 "Obtención de Etanol por medio de la Fermentación Alcohólica del jugo de mango". Universidad del Zulia. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Trabajo Especial de Grado..

Modelo matemático para la evaluación de parámetros hidráulicos de un reactor anaerobio de flujo ascendente a escala piloto (RAFAep)

Gabriel Arguello¹, Gerardo Aldana² y Jhonny Perez³

¹Departamento de Matemática. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia.

Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. *garguello55@gmail.com*

²Centro de Investigación del Agua. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia.

Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. *gerardoaldana_21@hotmail.com*

³Facultad de Ingeniería. Universidad de la Guajira. Colombia. *jpemon@hotmail.com*

Recibido: 28-06-2013 Aceptado: 20-06-2014

Resumen

Los parámetros hidráulicos son estimados empíricamente durante el diseño de reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA). El objetivo de este estudio fue determinar el comportamiento hidráulico de un RAFA a escala piloto (RAFAep) por medio de un modelo de flujo de dos zonas. La metodología consistió en establecer mediante simulación los parámetros del modelo para la zona de Reactor de Tanque Mezclado Continuamente (RTMC) y la zona de Reactor de Flujo Pistón (RFP). A tres conjuntos de datos experimentales correspondientes a tiempos de retención hidráulicos de 5, 8 y 10 horas, se le aplicó regresión no lineal basada en mínimos cuadrados, arrojando como resultados los parámetros del modelo tales como: volumen de trabajo (V_b), fracción tratada (f) y el coeficiente adimensional ($\alpha^2 = \frac{D_p}{l^2}$). El coeficiente de dispersión obtenido varió en el rango de $1,43 \times 10^{-6}$ a $3,11 \times 10^{-6}$ m²/s. Las conclusiones arrojaron que el modelo de dos zonas fue adecuado para predecir el comportamiento hidráulico del RAFAep, ya que se obtuvo una correlación por encima del 99%.

Palabras clave: RAFA, modelo de dos zonas, coeficiente de dispersión.

Mathematical model for evaluating parameters of a hydraulic upflow anaerobic reactor pilot scale (RAFAep)

Abstract

The hydraulic parameters are estimated empirically for the design of Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactors. The purpose of this study was to determine the hydraulic behavior of a UASB at pilot scale (UASBps) using a mathematical model of flow of two zones. The methodology consisted of establishing the parameters of the model for the continuously mixed tank reactor zone and the plug flow reactor zone with simulation.

Nonlinear regression least squares was applied to three experimental data sets corresponding to hydraulic retention times of 5, 8 and 10 hours yielding as a result the model parameters such as net volume (V_b), treated fraction (f) and the dimensionless coefficient ($\alpha^2 = \frac{D_p}{L^2}$). Results showed that dispersion coefficient varied in the range of 1.43×10^{-6} to 3.11×10^{-6} m²/s. It showed that the two zone model was suitable for predicting UASBps hydraulic behavior, as a correlation was obtained over 99%.

Keywords: UASB reactor, two zones model of flow, dispersion coefficient.

Introducción

Un RAFA es un sistema que sirve para el tratamiento de aguas residuales. Los modelos basados en la ecuación de dispersión son generalmente aceptados para describir el flujo de sistemas dispersivos como el RAFA, y su resolución permite predecir el comportamiento de un sistema específico o la interpretación de los resultados en experimentos realizados con trazadores, que ayudan a determinar los parámetros físicos del sistema investigado [1].

A pesar de la influencia que ejerce la dispersión y el comportamiento hidráulico en la eficiencia de remoción de la carga orgánica, el diseño geométrico del RAFA se realiza empíricamente. Para aguas residuales municipales (ARM) los RAFA se diseñan con el concepto de tiempo de retención teórico y para aguas residuales industriales se diseñan con la carga orgánica volumétrica [2, 3, 4], como sucede con la mayoría de las plantas de tratamiento a gran escala [5].

Los criterios de diseño de los RAFA no vinculan el comportamiento hidráulico del sistema, debido a que los estudios de eficiencia realizados carecen de las consideraciones hidráulicas sin las cuales no puede describirse adecuadamente la dinámica del reactor [6]. Por otro lado, las predicciones hidráulicas realizadas en RAFA a escala de laboratorio (RAFAel) presentan incertidumbres y errores debido a que se hacen a temperatura controlada, no conservan una relación de escala para extrapolar, no se someten a las variaciones de concentración horaria o diurna o estacionales del sustrato y se hacen con sustrato preparado entre otras razones. Esto se confirma cuando algunos trabajos afirman que las investigaciones futuras deben salir de la escala de laboratorio y ser desarrolladas a escala real [6]. Además, los parámetros hidráulicos como eficiencia, volumen muerto y flujo advectivo muchas veces son obtenidos a través de relaciones empíricas [7, 8].

Sin embargo, Saravanan y Sreekrishnan(2006) no toman en cuenta la importancia de la escala piloto antes de ir a la real, por lo que se considera necesario estudiar el RAFAep aplicando la modelación física que satisfaga las condiciones de similitud y semejanza tanto para la geometría (dimensiones), la cinemática (caudal, volúmenes y velocidad) y la dinámica (fuerzas, masa y número de Peclet), especialmente donde no ha sido evaluada esta tecnología de tratamiento para conocer la influencia de las condiciones ambientales y las características de las ARM locales. Por lo anterior se puede afirmar que las investigaciones realizadas a escala de laboratorio y modelo físico deben ser validadas y calibradas en reactores a escala real.

El trabajo de Wu y Hickey (1997) sobre un modelo dinámico de flujo de dos zonas, una zona RTMC que representa la parte del manto y del lecho, y una zona RFP que representa la zona de clarificación, tuvo un buen desempeño al describir el comportamiento hidráulico, la cinética de las reacciones biológicas y la transferencia de masa dentro del lecho para un RAFAel.

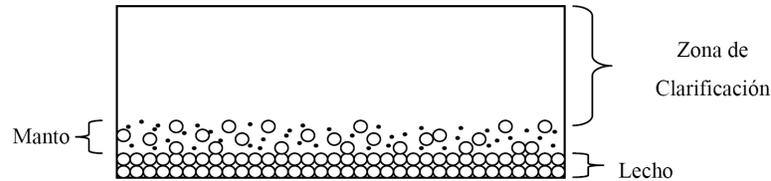
En este estudio se muestra la resolución matemática de un modelo de dos zonas RFP y RTMC y su aplicación a los datos experimentales con el trazador Li^+ obtenidos de un RAFAep, con la finalidad de obtener un modelo calibrado que permita explicar el comportamiento hidráulico del reactor y lograr un diseño eficiente.

Fundamentos Teóricos

Esquema del Modelo de dos zonas del Reactor

Un RAFA se subdivide en tres partes: el lecho, el manto y la zona de clarificación, como lo muestra la figura 1.

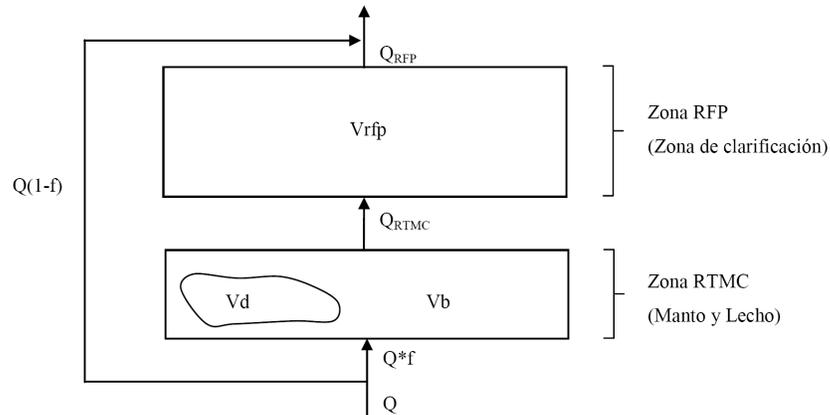
Figura 1. Sección transversal de un RAFA



Fuente: diseño de los autores

El modelo de dos zonas RTMC y RFP se esquematiza en el balance de masas mostrado en la figura 2. El caudal Q que va a ser tratado se subdivide en una parte Q^*f , que es procesada, donde f es la fracción que efectivamente es tratada, y la otra parte $Q(1-f)$ pasa por el reactor sin ser procesada. La parte Q^*f entra a la zona RTMC, y se procesa en el volumen de trabajo V_b . Hay una parte de la zona RTMC que no es utilizada y que se denomina volumen muerto V_d [9].

Figura 2. Modelo de dos zonas del RAFA



Fuente: [9] modificada por los autores.

La parte procesada en la zona RTMC, Q_{RTMC} , entra en la zona RFP donde se liberan gradualmente los residuos remanentes y el flujo es disperso. El volumen de la zona RFP es V_{rfp} . La suma de V_b , V_d y V_{rfp} es igual al volumen total del reactor.

Desarrollo matemático de las dos zonas

El problema de valor inicial (PVI) que modela la zona RTMC es el siguiente:

$$PVI = \begin{cases} V_b \frac{dC}{dt} = \begin{cases} \frac{M \cdot f}{t_{in}}, & 0 \leq t \leq t_{in} \\ 0, & t \geq t_{in} \end{cases} - Q \cdot f \cdot C(t) \\ C(0) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

donde:

$C = C(t)$: concentración del trazador en la zona RTMC; t : tiempo;

V_b : volumen de trabajo de la zona de RTMC; f : fracción efectiva de tratamiento del reactor;

Q : flujo total que entra al reactor; M : masa del trazador Li^+ que entra al reactor;

t_{in} : tiempo de inyección del trazador.

Aplicando transformada de Laplace a la ecuación diferencial ordinaria, sustituyendo la condición inicial y despejando se obtiene:

$$\bar{C} = \frac{M \cdot f}{t_{in}} \left(\frac{1}{s(V_b s + Q \cdot f)} - \frac{e^{-t_{in} s}}{s(V_b s + Q \cdot f)} \right) \quad (2)$$

donde $\bar{C} = \bar{C}(s) = \mathcal{L}\{C(t)\}$

Aplicando transformada inversa a la ecuación (2) se obtiene:

$$C(t) = \frac{M}{Qt_{in}} \left[\left(1 - e^{-\frac{Qf}{V_b} t} \right) - u_{t_{in}}(t) \left[1 - e^{-\frac{Qf}{V_b} t} e^{-\frac{Qf}{V_b} t_{in}} \right] \right] \quad (3)$$

donde $u_{t_{in}}(t)$: función escalón unitario con salto en $t = t_{in}$.

Los parámetros correspondientes a esta zona son V_b y f .

El problema de contorno (PC) que modela la zona RFP es el siguiente:

$$PC = \begin{cases} EDP: \frac{\partial C_{RFP}}{\partial t} = \frac{D_p}{L^2} \frac{\partial^2 C_{RFP}}{\partial x^2} - \frac{v}{L} \frac{\partial C_{RFP}}{\partial x}, & \text{dominio } \begin{cases} 0 < x < 1 \\ t > 0 \end{cases} \\ CB: \begin{cases} C_{RFP}(0, t) = C_{RTMC}(t) \\ \frac{\partial C_{RFP}}{\partial x}(1, t) = 0 \end{cases} & \text{si } t \geq 0 \\ CI: \{C_{RFP}(x, 0) = 0\} & \text{si } 0 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

donde:

la ecuación en derivadas parciales (EDP) es la ecuación de dispersión;

$C_{RFP} = C_{RFP}(x, t)$: concentración del trazador en el punto x en el tiempo t de la zona RFP;

x : variable adimensional de posición en la zona RFP; t : tiempo;

D_p : coeficiente de dispersión; v : velocidad de flujo dentro de la zona RFP;

L : longitud de la zona RFP;

C_{RTMC} : concentración del trazador en la zona RTMC, dado por la ecuación (3).

Las condiciones de borde (CB) indican que en $x = 0$ (comienzo de la zona RFP) la concentración debe ser igual a la concentración de la zona RTMC y en $x = 1$ (final de la zona RFP) se asume un flujo completamente desarrollado; la condición inicial (CI) indica que en el tiempo inicial $t = 0$, la concentración del trazador es igual a cero.

Se aplica el método de diferencias finitas de Crank-Nicolson [10], contamaño de paso espacial, h (m : número de subdivisiones), y un tamaño de paso, k , en el tiempo:

$$h = \Delta x = \frac{x_f - x_0}{m} \Rightarrow m = \frac{x_f - x_0}{h} = \frac{1 - 0}{h} = \frac{1}{h}; k = \Delta t$$

Los parámetros del modelo se denotan como

$$\alpha^2 = \frac{D_p}{L^2}; \beta = \frac{v}{L};$$

La función incógnita para la concentración en la zona RFP se denota como

$$C = C_{RFP}$$

Los valores aproximados en forma discreta de C se obtienen resolviendo los sistemas de ecuaciones siguientes:

$$AC^{(j+1)} = BC^{(j)} + D; \quad j = 0, 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

donde: $C^{(j+1)}$, $C^{(j)}$ aproximaciones discretas de C en los pasos de tiempo $j+1$ y j ;

A , B : matrices tridiagonales $(m-1) \times (m-1)$, que no varían en el tiempo;

D : vector $(m-1) \times 1$; n : número de pasos en el tiempo;

$$\lambda = \frac{\alpha^2 k}{h^2}$$

$$A = \begin{pmatrix} (1+\lambda) & \left(-\frac{\lambda}{2} + \frac{\beta k}{4h}\right) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\left(\frac{\lambda}{2} + \frac{\beta k}{4h}\right) & (1+\lambda) & \left(-\frac{\lambda}{2} + \frac{\beta k}{4h}\right) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\left(\frac{\lambda}{2} + \frac{\beta k}{4h}\right) & (1+\lambda) & \left(-\frac{\lambda}{2} + \frac{\beta k}{4h}\right) & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & -\left(\frac{\lambda}{2} + \frac{\beta k}{4h}\right) & (1+\lambda) & \left(-\frac{\lambda}{2} + \frac{\beta k}{4h}\right) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\left(\frac{\lambda}{2} + \frac{\beta k}{4h}\right) & \left(1 + \frac{\lambda}{2} + \frac{\beta k}{4h}\right) \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} (1-\lambda) & \left(\frac{\lambda}{2} - \frac{\beta k}{4h}\right) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \left(\frac{\lambda}{2} + \frac{\beta k}{4h}\right) & (1-\lambda) & \left(\frac{\lambda}{2} - \frac{\beta k}{4h}\right) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \left(\frac{\lambda}{2} + \frac{\beta k}{4h}\right) & (1-\lambda) & \left(\frac{\lambda}{2} - \frac{\beta k}{4h}\right) & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \left(\frac{\lambda}{2} + \frac{\beta k}{4h}\right) & (1-\lambda) & \left(\frac{\lambda}{2} - \frac{\beta k}{4h}\right) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \left(\frac{\lambda}{2} + \frac{\beta k}{4h}\right) & \left(1 - \frac{\lambda}{2} - \frac{\beta k}{4h}\right) \end{pmatrix}$$

$$D = \begin{pmatrix} \left(\frac{\lambda}{2} + \frac{\beta k}{4h}\right) (C_{RTMC}(t_{j+1}) + C_{RTMC}(t_j)) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$C^{(j)} = \begin{pmatrix} C_1^j \\ C_2^j \\ C_3^j \\ \vdots \\ C_{m-2}^j \\ C_{m-1}^j \end{pmatrix}; \quad C^{(j+1)} = \begin{pmatrix} C_1^{j+1} \\ C_2^{j+1} \\ C_3^{j+1} \\ \vdots \\ C_{m-2}^{j+1} \\ C_{m-1}^{j+1} \end{pmatrix}$$

Cada valor discreto, permite aproximar a la concentración del trazador C en el punto $x = i \cdot h$ y en el tiempo $t = j \cdot k$. Con los valores de la concentración inicial $C^{(0)}$ se resuelve el sistema de ecuaciones (5) para obtener $C^{(1)}$. Con el vector $C^{(1)}$ se vuelve a resolver el sistema (5) para obtener $C^{(2)}$. Este proceso se repite hasta obtener el vector de valores aproximados $C^{(n)}$, correspondiente al tiempo final requerido.

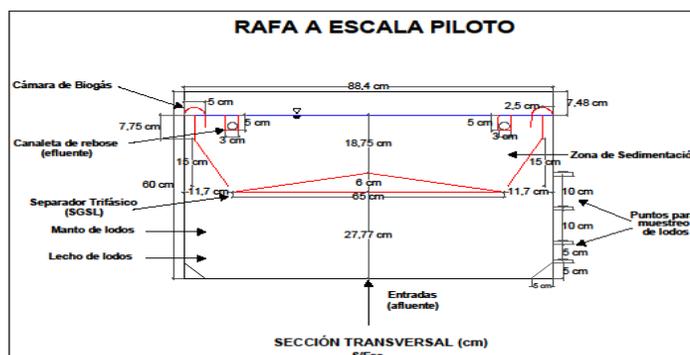
Los valores de los parámetros del modelo, se determinan por medio de una regresión no lineal basada en mínimos cuadrados. El parámetro es fijo.

Parte Experimental

Equipo experimental

Los experimentos se realizaron en un RAFAep [11] en escala reducida del prototipo 1:8, (figura 3), localizado en el Centro de Investigación del Agua (CIA), con dimensiones internas de 88,40 cm x 118,40 cm x 60 cm, y volumen líquido variable hasta una altura máxima (H) de 52,52 cm. El lecho está compuesto por 105 L de lodo (20 % V/V) que proviene de una cervecera local (62 L) y de una laguna facultativa (43 L).

Figura 3. Reactor anaerobio de flujo ascendente a escala piloto (RAFAep)



El ARM a tratar se recolectaba en un tanque de 1200 litros mediante una bomba autocebante de 1 HP. Se usaron dos bombas peristálticas de 6-600 rpm, una para alimentar desde el tanque con un caudal afluente constante al reactor, y la otra para tomar las muestras del afluente y del efluente, por medio de un controlador de flujo y con un programador horario. Las muestras fueron refrigeradas a 4°C en una nevera.

Proceso de muestreo experimental

EL ARM utilizada provino del Colector C que recoge las aguas del sector noroeste de la ciudad de Maracaibo, Venezuela. Los tiempos de retención hidráulicos del reactor fueron 5, 8 y 10 horas. Se midió la concentración del trazador en diferentes tiempos, para obtener datos reales de dicha variación temporal, que sirvan para ajustar un modelo que permita simular la concentración del trazador como función del tiempo.

Se utilizó Li^+ (LiCl) como trazador por ser un elemento de poca interacción con el manto de lodo [12, 13, 14]. Se agregaron 250 ml de una solución patrón de 5000 mgLi^+/L ($M = 1250 \text{ mg}$) de forma instantánea [15], e inmediatamente se inició la recolección de las muestras en el efluente y se realizaron tres

réplicas. La recolección se hizo por un periodo mínimo de cuatro veces el tiempo de retención hidráulico teórico (TRHt), siendo recomendable una duración mínima de tres veces el tiempo de retención hidráulico teórico del reactor [16]. Las mediciones de Litio se realizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica (marca Perkin Elmer, modelo 3110, método de llama gas aire-acetileno a 670,80 nm) con una precisión de detección mínima de 0,01 mg/L[11].

Proceso de cálculo numérico

Se elaboró un programa con cuatro módulos basados en el ambiente de cómputo técnico MATLAB®, que incluyen las funciones del cálculo del modelo de dos zonas, la función que calcula el error entre los datos reales y los datos simulados que es necesaria para la regresión no lineal en la que los valores óptimos de los parámetros corresponden a la minimización de la sumatoria de los cuadrados de los errores, y un programa que integra las anteriores funciones. Los datos reales se interpolaron linealmente con intervalos de tiempo de $k = 5$ minutos, para facilitar el proceso de simulación.

Resultados y Discusión

Se realizaron 1000 simulaciones para cada caso de 5 horas, 8 horas y 10 horas, con lodo, de los datos experimentales interpolados con longitud L de la zona RFP fija, con volumen V_{rfp} de la zona RFP fijo y con el parámetro β conocido. Se seleccionó la simulación óptima para cada caso. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1 y en las figuras 4, 5 y 6. Las gráficas y los coeficientes de correlación indican que hay un buen ajuste para cada uno de los casos.

Tabla 1. Resultados óptimos para cada caso

Variables e indicadores	5 horas con lodo	8 horas con lodo	10 horas con lodo
Volumen de trabajo (Vb)	114,9259	197,6557	140,6678
Fracción tratada (f)	0,6263	0,6512	0,5176
Parámetro (β)	9,9582788981e-04	0,0020227554	9,2614078071e-004
Parámetro (β)	0,0052967784	0,0033748277	0,0026159774
Volumen del reactor [Its]	525,8689	523,7756	524,8223
Volumen muerto (Vd) [Its]	90,9372	8,2074	65,1953
Norma del error	1,0650	1,5039	0,8195
Volumen Pistón (V_{rfp}) [Its]	320,0058	317,9125	318,9592
Longitud zona Pistón (L)[dm]	3,0574	3,0374	3,0474
D_p (dm ² /min)	0,0093087668	0,0186616791	0,0086008087
Coef.correlación ajustado	0,9945	0,9919	0,9978

Nota: Se usan diferentes dígitos decimales, de acuerdo con la precisión requerida

El modelo de flujo de dos zonas que relaciona las concentraciones del trazador en el tiempo medidas experimentalmente con respecto a las simuladas por dicho modelo, presentó coeficientes de correlación ajustados por encima de 0,99 para todos los tiempos de retención hidráulica, lo que hace que dicho modelo sea eficiente para predecir el comportamiento hidráulico de los RAFAep.

Para cada caso de 5, 8 y 10 horas, los porcentajes del volumen muerto con respecto al volumen de la zona RTMC fueron 44,17%, 3,99% y 31,67% respectivamente, siendo los más altos para 5 y 10 horas. Esto indicó que TRHt más favorable fue 8 horas. Como este tiempo depende directamente del caudal, se deduce que el caudal (Q) es un parámetro de diseño importante.

La fracción tratada f varió en un rango de 51,76% a 65,12%, lo cual indicó una cantidad de flujo advectivo, que varió en un rango de 48,24% a 34,88%, que pasó por el reactor sin ser tratada.

El coeficiente de dispersión (D_p) es un parámetro fundamental para el diseño de los RAFA, que no puede ser medido experimentalmente. La tabla 1 muestra que fue aproximadamente el doble en el caso de 8 horas, en comparación con los otros dos casos (el parámetro obtenido prácticamente se duplica, sin una variación significativa de la longitud de la zona pistón, L). Luego de realizar la conversión adecuada, se determinó que el coeficiente de dispersión varió en el rango de $1,43 \times 10^{-6}$ a $3,11 \times 10^{-6}$ m^2/s para el RAFAep.

Figura 4. Resultados obtenidos para el caso TRHt = 5 horas, con lodo

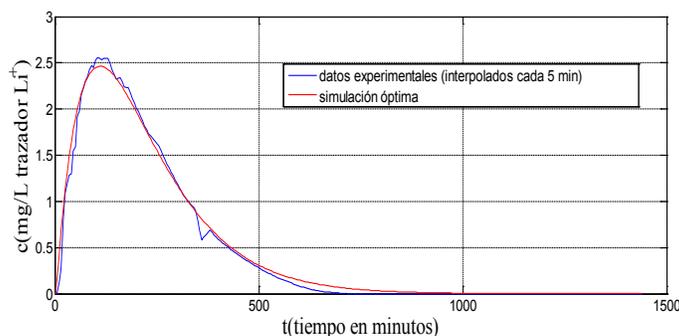


Figura 5. Resultados obtenidos para el caso TRHt = 8 horas, con lodo

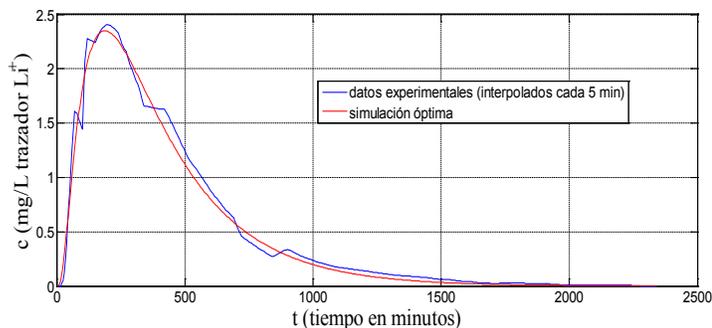
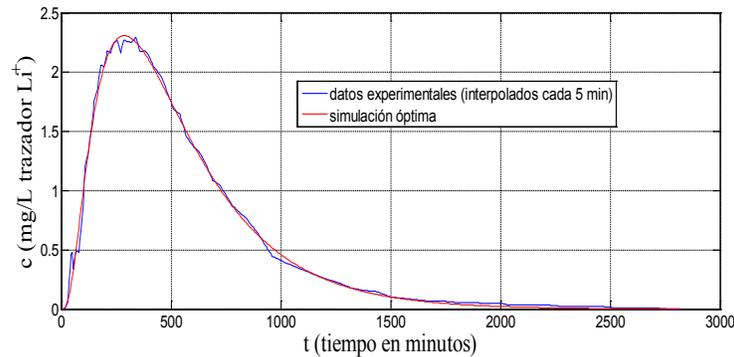


Figura 6. Resultados obtenidos para el caso TRHt = 10 horas, con lodo

Las gráficas a pesar de que tienen un buen ajuste a los datos experimentales, no reproducen los cortocircuitos ni antes ni después de la concentración máxima. Ningún resultado de simulación reproduce estas variaciones, debido a que el modelo no incorpora el carácter aleatorio del cortocircuito y la propiedad no conservativa del trazador Li^+ [17].

Conclusiones

Este estudio demostró que el caudal influye en la variación de los volúmenes muertos y en el flujo advectivo, siendo el caudal Q un parámetro importante en el diseño del reactor. El $\text{TRHt} = 8$ horas fue mejor ya que presentó el menor volumen muerto del 4% del volumen del RTMC y la mayor fracción tratada del 65%.

El modelo de dos zonas y el coeficiente de dispersión (D_p) con un rango de $1,43 \times 10^{-6}$ a $3,11 \times 10^{-6}$ m^2/s podría ser utilizado en el diseño de reactores RAFA a escala real para ayudar a mejorar el tratamiento de aguas residuales.

Referencias Bibliográficas

1. Kreft A., Zuber, A., On the physical meaning of the dispersion equation and its solutions for different initial and boundary conditions, *Chemical Engineering Science*, Vol. 33, N° 11, (1978), 1471-1480.
2. Souza M.E., Criteria for the utilization, design and operation of UASB reactor, *Water Science and Technology*, Vol. 18, N° 12, (1986), 55-69.
3. Lettinga G., Hulshoff L., Advanced reactor design, operation and economy, *Water Science and Technology*, Vol. 18, N° 12, (1986), 99-108.
4. Viera S., García A., Sewage treatment by UASB reactor operation result and recommendation for design and utilization, *Water Science and Technology*, Vol. 25, N° 7, (1992), 143-157.
5. Ingeniero Borda y asociados, Tratamiento mediante reactores anaerobios, Argentina, (2002), <http://www.ingeborda.com.ar/biblioteca/>, 19-04-2013.
6. Saravanan V., Sreekrishnan T.R., Modelling anaerobic biofilm reactors –A review, *Journal of Environmental Management*, Vol. 81, N° 1, (2006), 1-18.
7. Ren T., Mua Y., Yu H., Harada H., Li Y., Dispersion analysis of an acidogenic UASB reactor, *Chemi-*

- cal Engineering Journal, Vol. 142, N° 2, (2008), 182-189.
8. Martin A.D., Interpretation of residence time distribution data, *Chemical Engineering Science*, Vol. 55, N° 23, (2000), 5907-5917.
 9. Wu M., Hickey R., Dynamic model for UASB reactor including reactor hydraulics, reaction, and diffusion, *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 123, N° 3, (1997), 244-252.
 10. Chapra S., Canale R., Métodos numéricos para ingenieros, Editorial McGraw-Hill Interamericana, 5ª edición, México, D.F., Capítulo 30, (2007), 896-899.
 11. Perez J., Modelo de Dispersión Axial de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) utilizando aguas residuales municipales, Tesis de Doctorado, División de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela, (2010), 25- 64.
 12. Van Haandel A., Lettinga G., Tratamiento anaeróbico de esgotos: un manual para regiões de clima quente, Gráfica Epgraf, Universidade Federal da Paraíba, Brasil, (1994).
 13. Avella G., Evaluación del comportamiento hidrodinámico de un reactor UASB y su influencia en la remoción de materia orgánica, tesis de postgrado, Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Colombia, (2001), 136.
 14. Lara C., Díaz J., Bona A., Evaluación hidráulica de un reactor UASP de compartimientos, Universidad del Valle (Colombia) y Universidad de Paraná (Brasil), Seminario internacional: tratamiento y postratamiento de aguas residuales, Universidad de Boyacá, (2000), 255-273.
 15. Galvis G., Consideraciones sobre la aplicación del modelo simplificado de Wolf y Resnick, XXVII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Barranquilla, Colombia, (1984).
 16. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – CEPIS, Tratamiento de agua para consumo humano. Filtración Rápida. Evaluación de plantas de tecnología apropiada, (2004), 283.
 17. Aldana G., Hydraulic behaviour and performance improvement of waste stabilisation ponds (WSPs) using a computational fluid dynamic (CFD) and a physical model, PhD Thesis, Centre for Environmental Health Engineering, University of Surrey, UK, (2004), Chapter 6 and 7, pages 350-378.

Dispersión gelatinosa de huesos bovinos para la clarificación de aguas con baja turbidez

Lorena Fuentes^{1*}, Yolimar Aguilar², Yaxcelys Caldera¹ e Iván Mendoza¹

¹ Laboratorio de Investigaciones Ambientales. Núcleo Costa Oriental del Lago. Universidad del Zulia. Cabimas, estado Zulia, Venezuela. *lfuentesp@hotmail.com

² PRODUZCA. Av. Universidad. Sector las 40. Cabimas, estado Zulia, Venezuela.

Recibido: 15-11-2013 Aceptado: 20-06-2014

Resumen

Debido a la gran cantidad de residuos ganaderos que se generan en la Costa Oriental del Lago (Venezuela) se planteó un estudio para su aprovechamiento y minimización del impacto ambiental que producen. El objetivo fue comprobar la efectividad de una dispersión gelatinosa de huesos bovinos para la clarificación de aguas con baja turbidez. Los ensayos se realizaron a escala laboratorio utilizando agua de la planta de tratamiento Pueblo Viejo, la cual se ajustó con agua del grifo a valores de turbidez entre 50 y 90 UNT. Las muestras de agua diluida se trataron con una dispersión gelatinosa y se caracterizaron fisicoquímicamente. Después de la clarificación se obtuvieron dosis óptimas de 22,8; 34,2; 22,8; y 22,8 ppm para turbiedades de 50, 60, 80 y 90 UNT, respectivamente. La remoción de turbidez osciló entre 71,48% y 81,4% antes de la filtración y entre 93,8% y 98,6% después de ésta. El pH fluctuó entre 6,75 y 7,38, la alcalinidad osciló entre 27,3 y 38,6 mgCaCO₃/L y la remoción de color varió entre 83,3% y 95,0% después del filtrado. Los resultados demuestran la efectividad de la dispersión gelatinosa de huesos bovinos como coagulante natural para el proceso de clarificación de aguas con baja turbidez.

Palabras clave: Clarificación de aguas, dispersión gelatinosa, coagulante natural, huesos de bovinos.

Bovine bone gelatinous dispersion for clarification of water with turbidity low

Abstract

Due to the large amount of livestock waste that is generated on the Costa Oriental del Lago (Venezuela) has proposed a study for its use and minimizing the environmental impact they produce. The aim was to test the effectiveness of a bovine bone gelatin dispersion for clarification of water with low turbidity. Bench scale assays were performed using water from the treatment plant of Pueblo Viejo, which was adjusted with tap water to turbidity values between 50 to 90 NTU. Diluted water samples were treated with gelatinous dispersion and characterized physicochemically. The optimal doses of 22.8, 34.2, 22.8 and 22.8 ppm were obtained after clarification for turbidity

of 50, 60, 80 and 90 NTU, respectively. Turbidity removal ranged between 71.48% and 81.4% before filtration and between 93.8% and 98.6% after. The pH ranged between 6.75 and 7.38, alkalinity ranged between 27.3 and 38.6 mgCaCO₃/L and color removal varied between 83.3% and 95.0% after filtering. The results demonstrate the effectiveness of the bovine bone gelatin dispersion as natural coagulant for water clarification process with low turbidity.

Key words: Water clarification, gelatinous dispersion, natural coagulant, bovine bone.

Introducción

Los residuos ganaderos tienen diversas aplicaciones. A partir de estiércol de ganado y mediante un proceso de fermentación anaerobia se puede obtener metano, el cual tiene utilidad como combustible y en la producción de electricidad [1]. Por otra parte, los huesos, cabezas y vísceras son comúnmente utilizados para alimentación animal debido a su bajo valor comercial, también son incinerados o simplemente desechados [2]. Asimismo, a partir de residuos como pieles, cartílagos y huesos de mamíferos, se extraen gelatinas de origen animal, cuya proteína principal es el colágeno que no es soluble en agua [3].

Alrededor del 70% de la masa de un hueso lo constituye la fase mineral (hidroxiapatita), mientras que el 30% lo representa la matriz orgánica, constituida en un 90% por la proteína colágeno [4]. El colágeno forma una triple hélice que se enlaza a través de puentes de hidrógeno. Cuando se hierve el colágeno con agua, se convierte en la conocida proteína hidrosoluble denominada gelatina; al enfriar la solución, no se regenera el colágeno, sino que cuaja, formando un gel. El tratamiento separa las hebras de la hélice, rompiendo uniones hidrógeno entre cadenas y reemplazándolas por puentes con moléculas de agua [5], las cuales dan lugar a una dispersión coloidal [6].

Específicamente, la gelatina sin sabor ha sido aplicada en la clarificación de jugos [6]. La gelatina porcina ha sido efectiva en cuanto a su actividad floculante, lo cual se ha relacionado con su contenido de colágeno parcialmente degradado [7].

Para la clarificación del agua, han sido reportados diversos productos naturales de origen vegetal como las semillas de la planta *Moringa oleifera* Lam [8,9], *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb [10], la tuna *Opuntia cochinellifera* (L.) Mill. [11], *Opuntia wentiana* [12], *Hylocereus lemairei* [13], cactus *Lefaria* [14]. También se ha referido el empleo de coagulantes de origen animal como el quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* [15], y otros autores sugieren que las gelatinas de origen animal también pueden ser empleadas como coagulantes en aguas o en jugos de pseudofrutos de merey [16, 6, 7].

El propósito de este estudio fue comprobar la eficiencia de una dispersión gelatinosa de huesos bovinos en la clarificación de aguas con baja turbidez.

Parte experimental

Obtención del coagulante de origen animal (Dispersión gelatinosa de huesos bovinos)

Se seleccionaron huesos de reses recién sacrificadas, se limpiaron y desangraron. Estas muestras fueron suministradas por el Matadero Industrial Costa Oriental del Lago (MATICOLCA) ubicado en el municipio Valmore Rodríguez, estado Zulia (Venezuela) y trasladadas bajo refrigeración hasta el Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago (LIANCOL).

Las muestras de huesos vacunos se limpiaron, se eliminó la carne adherida a éstos, se extrajo la parte interna (médula) y se dejó reposar durante 25 min en un vaso de precipitado con agua del grifo para facilitar el desangramiento. Cada muestra de médula fue colocada en un vaso de precipitado al cual se le adicionó agua del grifo hasta completar 100 mL, se sometió a agitación y calentamiento (50-70 °C) durante 30 min y se dejó en reposo durante 20 min, observándose tres fases: grasosa, aceitosa y acuosa. La fase acuosa se separó por filtración y se utilizó como coagulante, dado que en ella se encuentra la

proteína disuelta (colágeno); además, ensayos preliminares permitieron determinar su potencial como coagulante.

Se calculó la concentración inicial del coagulante en función de la porción de médula disuelta o presente en la fase acuosa, la cual fue 1,14 % m/v. Para ello se pesaron 40 g de médula quedando retenidos en el papel de filtro 39,74 g, que representan 0,26 g de médula disuelta, mientras que el volumen de la fase acuosa fue de 22,8 mL. De la fase acuosa se midieron dosis de 2 mL, 3 mL, 4 mL, 5 mL y 6 mL, las cuales se adicionaron a las muestras de agua turbia contenida en cada vaso de precipitado (1 L) del equipo de jarras, equivalentes a 22,8 ppm; 34,2 ppm; 45,6 ppm; 57,0 ppm y 68,4 ppm; respectivamente.

Preparación del agua diluida

El agua cruda se recolectó mediante un muestreo no probabilístico en el tanque de almacenamiento (previo al tratamiento) ubicado en la planta potabilizadora Pueblo Viejo (municipio Valmore Rodríguez, estado Zulia, Venezuela) y se trasladaron en recipientes plásticos herméticos de 80 L de capacidad al Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago de la Universidad del Zulia (LIANCOL). Las muestras se caracterizaron fisicoquímicamente (turbidez, pH, color y alcalinidad) y se almacenaron bajo refrigeración (5-8°C). Las muestras de agua cruda presentaron niveles de turbidez superiores a los requeridos en este estudio, por lo cual se adicionó agua del grifo y se ajustaron a valores de 50, 60, 80 y 90 UNT.

Prueba de jarras (coagulación, floculación y sedimentación)

En un equipo de jarras Modelo JLTG (Leaching Test Digital) se simuló la fase de clarificación que contempla el proceso de potabilización del agua y que a su vez comprende las etapas de mezcla rápida (100 rpm durante 1 min), mezcla lenta (30 rpm durante 20 min) y sedimentación (0 rpm durante 30 min). Al inicio de la mezcla rápida se adicionaron las diferentes dosis del coagulante derivado de huesos bovinos (dispersión gelatinosa). Los ensayos se realizaron por triplicado a 25 ± 1 °C.

Filtración

La fase de filtración se simuló con embudos, soporte universal, soporte para filtración y papel de filtro Double Rings, grado cualitativo, N° 102, 125 mm.

Medición de parámetros fisicoquímicos

Se midieron los parámetros fisicoquímicos turbidez, pH, color y alcalinidad en las aguas diluidas sin tratamiento y con tratamiento (diferentes dosis de la dispersión gelatinosa). Para este último caso, los valores se registraron antes y después del proceso de filtración.

Para la medición de los parámetros fisicoquímicos se siguió la metodología indicada en el Standard Methods [17]. Los instrumentos de medición utilizados fueron: turbidímetro HF Cientific (turbidez), potenciómetro ORION 3 STAR Benchtop (pH), comparador colorimétrico visual Orbeco Hellige (color) y material volumétrico, ácido sulfúrico y anaranjado de metilo (alcalinidad).

Evaluación de la eficiencia del sulfato de aluminio como coagulante

Con sulfato de aluminio (sólido) se preparó una solución acuosa y se realizaron experimentos

similares a los efectuados con la gelatina de huesos bovinos, utilizando las mismas turbiedades iniciales y dosis de 30, 40, 50, 60 y 70 ppm. Esto con la finalidad de comparar la eficiencia de ambos coagulantes en cuanto a la remoción de turbidez.

Resultados y discusión

El agua cruda presentó las siguientes características fisicoquímicas: turbidez (260-320 UNT), color (200-300 UC Pt-Co), pH (7,30-7,89) y alcalinidad (30-48 mgCaCO₃/L). Dado el rango de turbidez seleccionado en este estudio, se realizó un ajuste de este parámetro y la caracterización de las muestras de agua diluida se presenta en la Tabla 1. Al evaluar los parámetros fisicoquímicos en estas muestras ajustadas a diferentes valores de turbidez (50, 60, 80 y 90 UNT) se observa que todas presentan un pH permisible (7,38-7,96), pues de acuerdo a las Normas Sanitarias de Calidad de Agua Potable de Venezuela [18] éste debe fluctuar entre 6,5 y 8,5 unidades.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de aguas diluidas antes del proceso de clarificación con el coagulante natural (dispersión gelatinosa)

Turbidez (UNT)	pH	Color (UC Pt-Co)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)
50	7,71	100	36
60	7,96	100	36
80	7,38	100	40
90	7,55	100	38

La alcalinidad osciló entre 36 y 40 mg CaCO₃/L y según refiere Merrit [19] las alcalinidades con valores menores de 75 mg CaCO₃/L son bajas. Los resultados arrojados para el color (100 UC Pt-Co) excedieron los valores establecidos en las Normas de Calidad de Agua Potable de Venezuela [18], pues el valor máximo aceptable es 15 UC Pt-Co.

Después del tratamiento de las muestras de agua turbia con el coagulante obtenido a partir de una suspensión gelatinosa de huesos bovinos, se observa la remoción de turbidez que produce el mismo. En la Tabla 2 se especifican los valores de turbidez decantada (antes de filtrar) por triplicado para cada una de las dosis evaluadas, los promedios y las desviaciones estándar.

Tabla 2. Turbidez decantada para cada dosis de la suspensión gelatinosa de huesos bovinos, promedios y desviaciones estándar

Dosis de coagulante \ Turbidez inicial	Dosis de coagulante					CONTROL
	22,8 ppm	34,2 ppm	45,6 ppm	57,0 ppm	68,4 ppm	
50 UNT	14,5	13,9	14,7	15,6	16,7	31,0
	15,5	16,1	16,5	17,5	18,9	32,1
	12,5	12,8	12,6	12,5	14,1	33,0
PROMEDIO	14,26	14,26	14,6	15,2	16,5	32,0
Desviación S.	1,53	1,68	1,95	2,52	2,4	1,0
60 UNT	13,5	11,8	12,4	12,2	12,8	42,6
	14,0	10,9	12,7	13,1	12,8	43,8
	12,9	10,8	12,2	12,1	13,0	45,0
PROMEDIO	13,46	11,16	12,43	12,46	12,8	43,8
Desviación S.	0,55	0,55	0,25	0,55	0,12	1,2
80 UNT	16,5	18,3	20,1	19,9	20,1	72,5
	15,9	19,1	20,5	18,9	19,95	71,3
	17,1	17,95	18,5	19,9	20,1	74,1
PROMEDIO	16,5	18,45	19,7	19,58	20,05	72,06
Desviación S.	0,6	0,59	1,06	0,58	0,09	1,4
90 UNT	20,95	22,3	22,9	23,0	23,31	79,9
	19,95	21,3	22,3	23,75	23,1	81,3
	21,3	24,5	26,7	27,95	28,3	86,5
PROMEDIO	20,73	22,7	23,96	24,9	24,9	82,56
Desviación S.	0,7	1,64	2,39	2,67	2,94	3,48

Desviación S.: Desviación Estándar

En la Tabla 2 y en la Figura 1 se presenta la tendencia de la turbidez residual después del tratamiento con las diferentes dosis del coagulante natural (dispersión gelatinosa de huesos bovinos), a los valores de turbidez inicial de 50, 60, 80 y 90 UNT, antes y después de filtrar, respectivamente. Se observa que después del tratamiento para una turbidez inicial de 50 UNT se obtuvo una dosis óptima de 22,8 ppm y una turbidez residual de 14,26 UNT, representando un porcentaje de remoción de 71,48%. Luego de simular la fase de filtración, la turbidez se ubica en un intervalo de 0,7 a 1,0 UNT, con porcentajes de remoción entre 98,0% y 98,6%, cumpliendo con lo establecido en las Normas de Calidad del Agua Potable de Venezuela (máximo 5 UNT) [18].

Para una turbidez inicial de 60 UNT con una dosis óptima de 34,2 ppm se obtuvo una turbidez de 11,16 UNT antes de filtrar (Tabla 2) y porcentaje de remoción de 81,4%, lo que indica que el coagulante fue eficaz. Después de filtrar, los valores fluctuaron entre 1,0 y 1,5 UNT (Figura 1), alcanzando porcentajes de remoción de 98,3% y 97,5 %, respectivamente.

Con respecto al valor de turbidez inicial correspondiente a 80 UNT, se observa en la Tabla 1 que para la dosis óptima de 22,8 ppm, la turbidez residual fue de 16,5 UNT. El porcentaje de remoción para esta turbidez inicial alcanzó 79,37%. Cabe destacar que después de filtrar el agua, los valores de turbidez fluctuaron entre 4,0 y 4,98 UNT (Figura 1); los porcentajes de remoción oscilaron entre 93,8% y 95,0%.

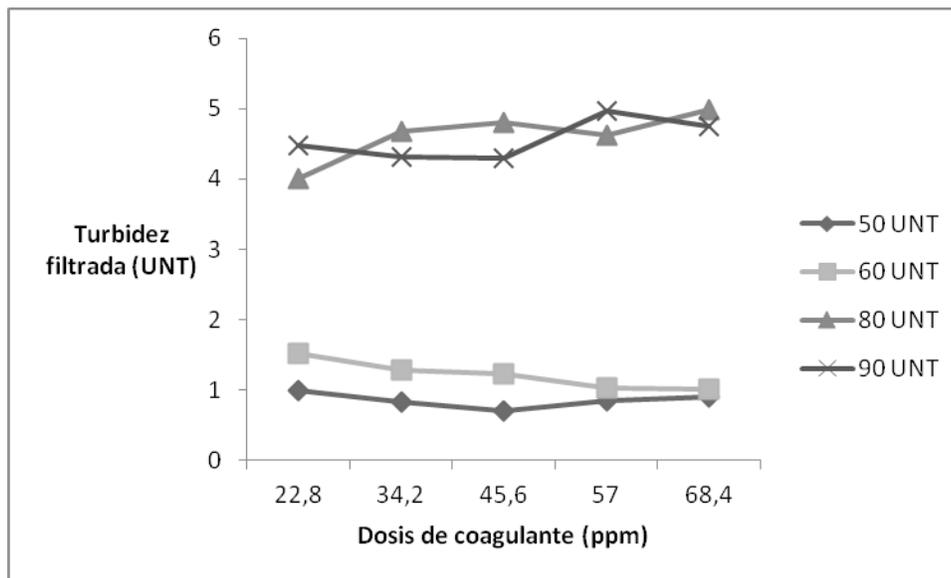


Figura 1. Remoción de turbidez (después de filtrar) en muestras de agua tratadas con una dispersión gelatinosa de huesos bovinos

Para la turbidez inicial más alta que fue evaluada en esta investigación (90 UNT), la dosis óptima fue de 22,8 ppm y la turbidez antes de filtrar se ubicó en 20,73 UNT (Tabla 2), representando un porcentaje de remoción de turbidez de 77,0%. Posterior a la fase de filtración, la turbidez fluctuó entre 4,30 UNT y 4,96 UNT (Figura 1), con porcentajes de remoción que variaron entre 95,2% y 94,5%, respectivamente.

En la Tabla 2 se observa que antes de filtrar, el coagulante natural tuvo un comportamiento progresivo, pues para los valores de turbidez inicial evaluados se cumplió que a mayor dosis la turbidez residual aumenta, excepto para la turbidez inicial de 60 UNT a una dosis de 22,8 ppm, representando una disminución de la remoción de turbidez. Estos resultados muestran similitud con los reportados por Mendoza *et al.* [8] y Caldera *et al.* [9] para *Moringa oleifera*, debido a que en general al aumentar la dosis de coagulante, aumenta la turbidez y disminuye la remoción. Igualmente, en un estudio previo se indicó que el aumento de la concentración de un coagulante obtenido de *Samanea saman* produjo el descenso de la remoción de turbidez [21].

Fuentes *et al.* [15] reportaron que al evaluar muestras de agua con turbiedades iniciales de 50, 60, 80 y 90 UNT tratadas con quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti*, a medida que aumenta la dosis, disminuye la remoción de turbidez; coincidiendo con el comportamiento del coagulante evaluado en el estudio presente.

Sin embargo, los resultados con la dispersión gelatinosa difieren de los citados en cuanto al comportamiento de la dosis óptima, puesto que esta variable se mantiene en 22,8 ppm, excepto

para una turbidez inicial de 60 UNT; mientras que para *M. oleifera* la dosis óptima disminuye con el incremento de la turbidez inicial [8,9].

Para turbiedades de 60 y 80 UNT, la dispersión gelatinosa difiere de los coagulantes *Opuntia cochinellifera* [11] y *Opuntia wentiana* [12], porque con estas cactáceas al incrementarse la dosis disminuye la turbidez y aumenta la remoción.

En la Figura 1 se puede apreciar que después de filtrar, todos los valores cumplieron con las especificaciones indicadas en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (0-5 UNT) [18].

El control (muestra de agua sin coagulante) utilizado para cada una de las turbiedades iniciales evaluadas, no presentó mayor variación. Para valores de turbidez inicial correspondientes a 50, 60, 80 y 90 UNT los controles presentaron turbiedades decantadas de 32,00; 43,80; 72,06 y 82,56 UNT, respectivamente.

El rango de pH para las diferentes turbiedades iniciales y dosis analizadas estuvo entre 6,67 y 7,58 antes de la filtración y entre 6,75 y 7,38 después de esta etapa. Los valores no presentaron una variación significativa en comparación con el control. Los resultados obtenidos al evaluar este parámetro antes y después de filtrar, se compararon con las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela y cumplieron con lo establecido en las mismas (6,5 a 8,5 unidades) [18]. De manera similar Mendoza *et al.* [9] y Caldera *et al.* [9] al efectuar estudios de potabilización de aguas con semillas de *M. oleifera* reportaron valores entre 7,00-8,00 y 6,7-7,5 unidades de pH, respectivamente.

En la Tabla 3 se observa que antes de filtrar, para valores iniciales de turbidez correspondientes a 50, 60, 80 y 90 UNT, los resultados referidos al parámetro color de acuerdo a sus dosis óptimas fueron 26,7; 18,3; 25,00 y 26,7 UC Pt-Co; y después de filtrar se obtuvieron valores de 11,7; 5,00; 10,00; y 15,00 UC Pt-Co, respectivamente. Los porcentajes de remoción de color variaron entre 66,7% y 81,7% antes de filtrar y entre 83,3% y 95% después de filtrar, siendo superiores a los reportados para *S. griseus*, pues para esta cactácea los valores de remoción antes de filtrar fluctuaron entre 16,7%-80% y después de esta etapa oscilaron entre 70%-92,9% [10].

La Tabla 3 muestra que después de la filtración todos los valores de color cumplieron con lo especificado en la normativa (0-15 UC Pt-Co) [18]. Al comparar los resultados del control con los de las aguas diluidas tratadas, se evidencia la efectividad de la dispersión gelatinosa de huesos bovinos en la remoción de color del agua.

Después de aplicar el coagulante natural, el comportamiento de la alcalinidad no tuvo una variación apreciable, es decir, se mantuvo de manera similar al rango inicial del agua cruda (36-40 mg CaCO₃/L), lo cual implica que no se alteró con la adición del coagulante. Antes de filtrar las muestras, los valores oscilaron entre 30 y 39 mg CaCO₃/L; y después de filtrar, variaron entre 27,3 y 38,6 mg CaCO₃/L.

Tabla 3. Parámetro color en aguas de baja turbidez tratadas con una dispersión gelatinosa de huesos bovinos

Dosis (ppm) Turbidez Inicial (UNT)	Color antes de filtrar (UC Pt-Co)						Color después de filtrar (UC Pt-Co)					
	22,8	34,2	45,6	57	68,4	C*	22,8	34,2	45,6	57	68,4	C*
50 UNT	30 30	30 30	40 40	40 40	40 40	50 100	10 5	10 5	10 10	10 10	10 10	12,5 15
PROMEDIO	26,7	26,7	33,3	33,3	33,3	83,3	11,7	11,7	13,3	13,3	13,3	15,8
Desviación S.	5,8	5,8	11,6	11,6	11,6	28,9	7,6	7,6	5,8	5,77	5,8	3,82
60 UNT	20 20	20 20	25 25	25 25	25 25	100 100	5 5	5 5	10 5	10 10	10 10	15 20
PROMEDIO	20	18,3	23,3	25	25	100	5	5	8,3	10	10	18,3
Desviación S.	0	2,89	2,89	0	0	0	0	0	2,89	0	0	2,89
80 UNT	25 25	25 25	25 25	25 25	30 25	100 100	10 10	10 10	15 10	15 15	15 15	30 30
PROMEDIO	25	25	25	25	26,7	100	10	10	13,3	15	15	30
Desviación S.	0	0	0	0	2,89	0	0	0	2,89	0	0	0
90 UNT	25 30	25 30	30 30	30 30	30 30	100 100	15 15	15 15	15 20	15 20	15 20	30 40
PROMEDIO	26,7	26,7	28,3	30	30	100	15	16,7	16,7	16,7	16,7	33,3
Desviación S.	2,89	2,89	2,89	0	0	0	0	2,89	2,89	2,89	2,89	5,77

C*: Control

Desviación S.: Desviación Estándar

Al comparar la efectividad como coagulante del producto natural con respecto al de uso tradicional y de origen químico (sulfato de aluminio), se observa en la Tabla 4 que al aplicar la dispersión gelatinosa de huesos bovinos en aguas diluidas con turbiedades iniciales de 50, 60, 80 y 90 UNT, las dosis óptimas fueron 22,8; 34,2; 22,8 y 22,8 ppm; y para el sulfato de aluminio se obtuvieron dosis óptimas de 60, 50, 40 y 70 ppm, respectivamente.

Tabla 4. Comparación del potencial coagulante de la gelatina de huesos bovinos y del sulfato de aluminio en aguas con baja turbidez (antes de filtrar)

Dosis (ppm) Turbidez Inicial (UNT)	Turbidez con gelatina de huesos bovinos (UNT)						Turbidez con sulfato de aluminio (UNT)					
	22,8	34,2	45,6	57,0	68,4	C*	30	40	50	60	70	C*
50	14,26	14,26	14,6	15,2	16,5	32,0	5,1	2,8	2,3	1,9	2,4	40,0
60	13,46	11,16	12,43	12,46	12,8	43,8	4,4	3,2	2,0	2,8	2,2	52,6
80	16,5	18,45	19,7	19,58	20,05	72,06	3,4	2,3	5,3	4,7	6,2	69,8
90	20,73	22,7	23,96	24,9	24,9	82,56	5,7	4,6	2,6	2,5	2,2	76,7

C*: Control

Con el sulfato de aluminio se emplearon dosis óptimas ligeramente superiores a las de la suspensión gelatinosa y los valores de turbidez después del tratamiento fueron menores con el sulfato de aluminio. Sin embargo, cabe destacar que desde el punto de vista de la salud, el sulfato de aluminio tiene implicaciones sobre ella, mientras que la gelatina derivada de huesos bovinos, además de no producir

ningún problema en el organismo humano, ayuda a minimizar el impacto ambiental que los residuos agroindustriales provocan.

Después de la fase de filtración, las muestras de agua tratadas con ambos coagulantes cumplieron con lo establecido para el parámetro turbidez en Venezuela (máximo 5 UNT) [18], demostrándose la eficiencia de la dispersión gelatinosa de huesos bovinos como coagulante natural (0,7 y 4,98 UNT) y del sulfato de aluminio (0,2 y 1,6 UNT).

La actividad coagulante de la gelatina de huesos bovinos puede atribuirse a su naturaleza proteica, ya que está constituida por moléculas de colágeno desorganizadas. Probablemente, su mecanismo de coagulación sea similar al de *M. oleifera*, coagulante de origen vegetal muy estudiado y para el cual se ha indicado como componente activo una proteína que actúa como un polielectrolito catiónico que se une a las partículas suspendidas y crea enlaces entre ellos, dando lugar a grandes flocúlos en el agua [22]. Sin embargo, se requiere profundizar más al respecto, porque otro coagulante de tipo proteico que se ha reportado en la literatura es la caseína de crema de coco (*Cocos nucifera*), pero dado que en su análisis la movilidad electroforética no se reduce a cero, se sugiere que el mecanismo de coagulación no es de neutralización por carga, sino de adsorción y formación de puente o de heterocoagulación [23].

Conclusiones

Esta investigación permitió comprobar que la dispersión gelatinosa de huesos bovinos es efectiva como coagulante natural para el proceso de clarificación de aguas con valores de turbidez inicial correspondientes a 50, 60, 80 y 90 UNT, arrojando porcentajes de remoción entre 93,8 % y 98,6 % después del proceso de filtración.

Después del tratamiento del agua con la suspensión gelatinosa de huesos bovinos, todos los parámetros evaluados (pH, turbidez, color y alcalinidad) se ajustaron a lo exigido en las Normas de Calidad del Agua Potable de Venezuela. Específicamente, el pH estuvo en el rango de 6,75 a 7,38 unidades; la turbidez fluctuó de 0,7 a 4,98 UNT, la alcalinidad se ubicó entre 27,3 y 38,6 mg CaCO₃/L; y el color varió de 5 a 15 UC Pt-Co, después de aplicarse las etapas de coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

Agradecimiento

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES) de la Universidad del Zulia (LUZ) por el financiamiento de este proyecto.

Referencias bibliográficas

1. Flotats X., Campos E. y Bonmatí A. Aprovechamiento energético de residuos ganaderos. 3r Curs d' Enginyeria Ambiental. Aprofitament energètic de residus orgànics. Lleida, 27-29 octubre (1-21), (1997).
2. Salazar C., López A. y Cano J. Efecto del pH y la temperatura en la hidrólisis enzimática de subproductos de la industria bovina. Revista Lasallista de Investigación, Vol. 9, No. 2, (2012), 26-32.
3. Bailach C., Fuster L., Yúsá D., Talens P. y Vicente-Palomino S. Gelatinas y colas para el uso en tratamientos de restauración. Estado de la cuestión. Arché. Publicación del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV, No. 6 y 7, (2011-2012), 17-22.
4. González R., Ferreira A., Noris K. y Feijoo J. Caracterización de la interacción colágeno-hidroxiapatita. Revista Iberoamericana de Polímeros, Vol. 9, No. 3, (2008), 300-302.

5. Morrison R. y Boyd R. Química Orgánica. Quinta Edición. Pearson Educación: México. (1998).
6. Sindoni M., Caldera E., Pérez A., Marcano L., Parra R. y Marcano C. Evaluación de agentes coagulantes para la formulación de jugo a partir de pseudofrutos de merey. *Agronomía Tropical*, Vol. 57, No. 1, (2007), 61-65.
7. Piazza J. y García A. Meat & bone meal extract and gelatin as renewable flocculants. *Bioresource Technology*, Vol. 101, No. 2, (2010), 781-787.
8. Mendoza I., Fernández N., Ettiene G. y Díaz A. Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de aguas. *Revista Ciencia*, Vol. 8, No. 2, (2000), 235-242.
9. Caldera Y., Mendoza I., Briceño L., García J., Fuentes L. Eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, Vol. 41, No. 42, (2007), 244-254.
10. Fuentes L., Mendoza I., López A., Castro M. y Urdaneta C. Efectividad un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización del agua. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, Vol. 34, No. 1, (2011), 48-56.
11. Fuentes L., Mendoza I., Díaz P., Fernández Y., Zambrano A. y Villegas Z. Potencial coagulante de la tuna *Opuntia cochinellifera* (L.) Mill. (Cactaceae) en aguas para consumo humano. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, Vol. 46, No. 2, (2012), 173-187.
12. Parra Y., Cedeño M., García M., Mendoza I., González Y. y Fuentes L. Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) / (cactaceae). *REDIELUZ*, Vol. 1, No. 1, (2011), 27-33.
13. Mendoza I., Fuentes L., Caldera Y., Perdomo F., Suárez A., Mosquera N. y Arismendi H. Eficiencia de *Hylocereus lemairi* como coagulante-floculante en aguas para consumo humano. *Impacto Científico*, Vol. 3, No. 1, (2008), 53-69.
14. Martínez D., Chávez M., Díaz A., Chapín E. y Fernández N. Eficiencia del Cactus Lefaria para su uso como coagulante en la clarificación de aguas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*, Vol. 26, No. 1, (2003), 27-33.
15. Fuentes L., Contreras W., Perozo R., Mendoza I. y Villegas Z. Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para el consumo humano. *Multi-ciencias*, Vol. 8, No. Extraordinario, (2008), 281-287.
16. Arboleda J. Teoría y práctica de la purificación del agua. Tomo I. Tercera edición Editorial Mc Graw Hill: Colombia. (1998).
17. APHA- AWWA-WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition. (1998)
18. Gaceta Oficial de la República de Venezuela. Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. N° 36.395 del 13 de febrero. Caracas, Venezuela. (1998).
19. Merrit F. (1992). Manual del Ingeniero Civil. México: Mc Graw Hill. Interamericana.
20. Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. Resolución Número 2115. Colombia. (2007).
21. González G., Chávez M., Mejías D., Mas y Rubí M., Fernández N. y León G. Uso del exudado gomoso producido por *Samanea saman* en la potabilización de las aguas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*, Vol. 29, No. 1, (2006), 14-22.

22. Adejumo, M., Oloruntoba E. y Sridhar M. Use of *Moringa oleifera* (Lam.) seed powder as a coagulant for purification of water from unprotected sources in Nigeria. *European Scientific Journal*, Vol. 9, No. 24, (2013), 1857-1881.
23. Fatombi J., Aimé J., Aminou T., Lartiges B., Topanou N., Barres O. y Josse R. Flocculation of kaolinite suspensions in water by coconut cream casein. *Journal of Water Resource and Protection*, Vol. 3, No. 12, (2011), 918-924.

Nanocompuestos basados en arcilla y mezclas heterogéneas de termoplásticos. Una revisión

Helen Inciarte y Haydée Oliva

Laboratorio de Polímeros y Reacciones. Escuela de Ingeniería Química.
Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

hinciarte@fing.luz.edu.ve, holiva@fing.luz.edu.ve

Recibido: 02-05-2014 Aceptado: 27-06-2014

Resumen

El mezclado de polímeros y la incorporación de cargas, es un tópico de gran importancia tanto desde el punto de vista académico como del industrial, en virtud del incesante interés por obtener materiales hechos a la medida de una manera económica y eficiente. Según trabajos reportados en el área, la adición de arcilla a mezclas de polímeros inmiscibles provoca una disminución significativa en el tamaño promedio de los dominios de la fase dispersa y en algunos casos, una reducción en la tensión interfacial, lo que evidencia la existencia de posibles interacciones polímero-arcilla. Al mismo tiempo, varios autores afirman que la reducción en el tamaño de los dominios dispersos no es producto de un efecto emulsificante, sino que se debe a los factores cinéticos involucrados en el proceso de intercalación de las cadenas poliméricas entre las láminas de la arcilla, que se generan por la presencia del aluminosilicato en una o ambas fases. En este trabajo se discute sistemáticamente la influencia que ejercen algunos factores termodinámicos y cinéticos sobre la distribución y grado de dispersión de arcillas en mezclas de polímeros inmiscibles y se plantean algunas interrogantes por resolver respecto a la capacidad compatibilizante de las arcillas.

Palabras clave: Nanocompuestos, compatibilización, distribución de arcilla.

Nanocomposites based on clay and heterogenous blends of thermoplastics. A review

Abstract

Blending of polymers and the incorporation of fillers is a topic of great importance from an academic and industrial point of view, because of the incessant interest in obtaining materials tailor-made in an economical and efficient way. According to different publications, the addition of clay to a mixture of immiscible polymers causes a significant decrease in the average domain size of the dispersed phase and in some cases, also an interfacial tension reduction. These observations indicate possible polymer - clay interactions. At the same time, several authors claim that the reduction in size of the dispersed domains is not produced by an emulsifying effect, but is due to kinetic factors involved in the process of intercalation of polymer chains between the layers of clay because of the pre-

sence of the aluminosilicate in one or both phases. This publication systematically discusses the influence of some thermodynamic and kinetic factors on the distribution and degree of dispersion of clays in blends of immiscible polymers. The information sometimes is controversial and some questions, regarding the compatibilizing ability of clays, remain still unresolved.

Keywords: Nanocomposites, compatibilization, clay distribution.

Introducción

La preparación de polimezclas se ha convertido en una de las estrategias más efectivas y económicas para la obtención de nuevos materiales, dado que permite combinar las propiedades de interés de algunos homopolímeros sin necesidad de recurrir a las costosas opciones que implican la producción de nuevos monómeros o la introducción de cambios en los sistemas de polimerización ya existentes [1-4].

Una de las principales desventajas asociadas con la preparación de mezclas es la inmiscibilidad de la mayoría de los polímeros, que conduce a la separación en macrofases de los componentes. Para reducir la tensión interfacial y mejorar la miscibilidad entre los materiales involucrados, se ha utilizado con frecuencia la incorporación de agentes compatibilizantes (copolímeros de bloque o de injerto) o la generación de estas especies directamente por reacción *in situ* (compatibilización reactiva).

Los copolímeros orientan sus segmentos hacia las fases a las cuales son afines, permitiendo la obtención de una dispersión fina de la mezcla. La actividad de un copolímero como agente emulsificante es función de su tendencia a la separación en microfases y de la afinidad química de cada uno de sus constituyentes por cada homopolímero; mientras que su efectividad como compatibilizante depende de la capacidad de generar una morfología estable durante el procesamiento del material en fundido.

Aunque la compatibilización empleando copolímeros es una de las técnicas comúnmente usadas para la preparación de mezclas poliméricas a nivel industrial, la producción de estos materiales está limitada por las relaciones de reactividad de los monómeros y por los altos costos asociados con los procesos de polimerización viviente. Además de que al modificar la naturaleza de los componentes de la mezcla, se requiere de un nuevo agente compatibilizante.

Una de las aplicaciones de la arcilla con mayor auge en la actualidad, es la de compatibilizar sistemas poliméricos inmiscibles. Varios investigadores han reportado que la incorporación de arcilla a una mezcla polimérica afecta el comportamiento dinámico de las fases, obteniéndose una reducción considerable en el tamaño promedio de los dominios de la fase minoritaria dispersa, lo cual evidencia un efecto compatibilizador similar al reportado por polimezclas compatibilizadas con distintos tipos de copolímeros [5-17].

El uso de organoarcillas como compatibilizantes presenta varias ventajas respecto a los copolímeros empleados tradicionalmente: i) no requiere de procedimientos especiales de síntesis, ii) es posible producir compatibilizantes para diferentes mezclas mediante la modificación superficial de la arcilla con agentes afines a los componentes, iii) aún a bajas concentraciones, incorpora a las polimezclas las propiedades inherentes a los nanocompuestos, tales como mayor tenacidad (en algunos casos), aumento en la estabilidad térmica y en el efecto barrera y mejoras en el aspecto superficial con relación a otras cargas.

Y. S. Lipatov (citado por [7,11,18]), reportó que la energía libre en una mezcla de homopolímeros *A* y *B* más un tercer componente *S*, partículas sólidas inorgánicas, viene dada por la siguiente expresión:

$$\Delta G_m = \Delta G_{AS} + \Delta G_{BS} + \Delta G_{AB} \quad (1)$$

Donde ΔG_{AB} es la energía libre de la mezcla de los dos homopolímeros y ΔG_{AS} y ΔG_{BS} son las energías libre de la interacción de cada componente con la superficie de las partículas.

El sistema se considera termodinámicamente estable cuando $\Delta G_m < 0$. Para ello se requiere que, $\Delta G_{AS}, \Delta G_{BS} < 0$ aunque $\Delta G_{AB} > 0$, es decir, que ocurra la adsorción de cadenas poliméricas de *A* y/o *B* sobre la superficie de las partículas.

H. Essawy y D. El-Nashar, [8] prepararon nanocompuestos de acrilonitrilo-butadieno (NBR), estireno-butadieno (SBR) y montmorillonita de sodio (MMT- Na^+), e investigaron el efecto reforzante y de compatibilización de la arcilla. Estos autores, encontraron que la incorporación de MMT provoca una disminución en el tamaño de los dominios de NBR respecto a los de la polimezcla sin arcilla, y atribuyen este comportamiento a la localización del filosilicato en la interfase.

M. Si *et al.* [11], también prepararon nanocompuestos a partir de las polimezclas, poliestireno (PS)/polimetilmetacrilato (PMMA)/Cloisite 6A (C6A) y policarbonato (PC)/copolímero estireno-acrilonitrilo (SAN)/Cloisite 20 A (C20A) en distintas proporciones, con el objeto de evaluar la dinámica de las fases cuando la organoarcilla es afín a uno de los homopolímeros (PMMA) o a ambos componentes (PC y SAN). Obtuvieron como resultado una disminución en el tamaño promedio de los dominios de las fases minoritarias en la medida que se incrementó la concentración arcilla. En el nanocompuesto PS/PMMA/C6A, la arcilla se localizó dentro de la fase metacrílica y en la interface PS-PMMA, mientras que en el nanocompuesto PC/SAN/C20A la organoarcilla se ubicó únicamente en la interface. Estos autores, explican este fenómeno en función de la posible formación de injertos de ambos polímeros sobre la superficie de la arcilla. Más recientemente, W. Zhang *et al.* [19] examinaron una serie de nanocargas, desde nanotubos hasta nanoarcillas (con distintas relaciones de aspecto) en una mezcla modelo PS/PMMA. Igual que M. Si *et al.* [11] postularon que el mecanismo de compatibilización ocurre mediante la formación *in situ* de injertos entre la arcilla y los polímeros inmiscibles. A través de cálculos teóricos, estos autores encontraron que el fenómeno de compatibilización ocurre cuando se usan nanocargas con una alta relación de aspecto.

R. Scafarroet *al.* [14], evaluaron el poder compatibilizante de la Cloisite 15A (C15A) en mezclas de poliamida (PA6) y polietileno de alta densidad (HDPE), encontrando que los dominios de la fase dispersa disminuyen en tamaño. Sin embargo, debido al mejoramiento muy leve o detrimento de algunas propiedades mecánicas, tales como el módulo elástico y la elongación a la ruptura, estos autores concluyen que existe un evidente mejoramiento de la morfología aun cuando la compatibilidad de la polimezcla es deficiente. Establecen que la reducción en el tamaño de las gotas se debe a la mayor viscosidad de los polímeros en fundido por la presencia de carga. Asimismo, reportaron la degradación térmica del modificador orgánico de la arcilla durante el procesamiento y un aumento en el porcentaje de cristalinidad como consecuencia del efecto nucleante de la arcilla, lo cual podría estar afectando las propiedades mecánicas de estos materiales.

En función de lo anteriormente expuesto, queda claro que el efecto que ejerce la incorporación de arcilla en una polimezcla inmiscible es la obtención de una dispersión fina de los componentes. Sin embargo, no solo se altera el tamaño promedio de los dominios dispersos sino que también éstos varían en su forma (ver Figura 1).

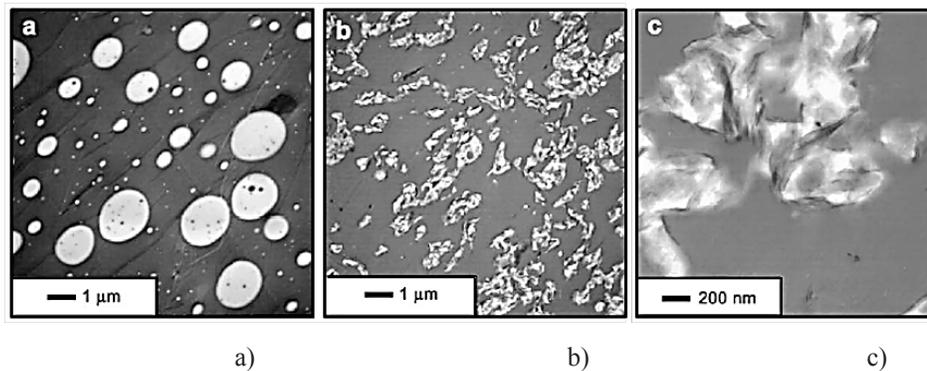


Figura 1. Micrografías de la mezcla PS/PMMA con y sin arcilla, sometidas a recocido durante 14 h a 190 °C [20].
a) PS/PMMA (27/63); b) PS/PMMA (27/63)/arcilla (10%_{m/m}); c) magnificación de b). PMMA (blanco), PS (gris)

M. Si *et al.* [11], reportaron que las laminillas de arcilla en una mezcla polimérica definen la curvatura interfacial de las gotas. Por lo tanto, existe un tamaño mínimo posible de la fase dispersa del componente minoritario, relacionado con el módulo de rigidez de las láminas del silicato. El radio promedio de los dominios dispersos capaces de formarse antes de la desestabilización por la dificultad de flexión de las nanoláminas es:

$$r = \left(\frac{E'e}{\gamma - \gamma'} \right)^{1/4} L \quad (2)$$

Donde, E' es el módulo de rigidez, e y L son el espesor y longitud de las láminas de arcilla, y γ , γ' , son las energías interfaciales del polímero puro y del polímero cuando la arcilla se encuentra en la interfase.

Mecanismo de compatibilización

Como se mencionó antes, el resultado global de la mayoría de las investigaciones indica que al incorporar arcilla a una polimezcla binaria, el tamaño de los dominios dispersos se reduce. De acuerdo con S. Rayet *al.* [7,21,22], algunos de los fenómenos que conducen a cambios en la morfología de la mezcla son: i) reducción de la energía interfacial, ii) inhibición de la coalescencia por la presencia de una barrera sólida alrededor de la fase minoritaria o dispersa, iii) cambios en las viscosidades de las fases, debido al reparto de la nanocarga entre los polímeros involucrados en el sistema, iv) inmovilización de las gotas dispersas (o de la matriz) por la formación de una red cuando la concentración del sólido excede el umbral de percolación, y v) efectos estéricos causados por las cadenas poliméricas adsorbidas sobre la superficie de las partículas sólidas.

La disminución de la tensión interfacial debido a la localización de la arcilla en la interfase polímero-polímero es una de las potenciales explicaciones del efecto compatibilizador de la arcilla [7,23]. La modificación de esta variable afecta el equilibrio ruptura/coalescencia en favor de la formación de gotas más pequeñas.

S. Rayet *al.* [7] evaluaron la capacidad compatibilizante de la arcilla C20A en mezclas de PS/polipropileno (PP) y de PS/copolímero de injerto polipropileno-metilacrilato (PP-g-MA), mediante difracción de rayos X (XRD), microscopías electrónica de transmisión (TEM) y de barrido (SEM) y mediciones de tensión interfacial. Esta última, se estimó a través del método de la deformación de la gota [24]. Con la adición de apenas un 0,5%_{m/m} de C20A, la tensión interfacial disminuyó de 5,1 a 3,4 mN/m para la

mezcla PS/PP y de 4,8 a 1,1 mN/m para la de PS/PP-g-MA, demostrando el efecto compatibilizador de la arcilla por la adsorción de cadena poliméricas de ambas especies sobre la superficie del silicato. La compatibilización de la mezcla conteniendo PP-g-MA resultó ser más eficiente, debido a las mayores interacciones atractivas asociadas con la polaridad del polímero. Lo anterior se confirmó a partir de las propiedades mecánicas de los nanocompositos, encontrándose que el mayor incremento del módulo correspondió a la muestra PS/PP-g-MA/C20A con una composición de 17,5/77,5/5%_{m/m}.

J. Hong *et al.* [23] encontraron que la tensión interfacial de una mezcla de polibutilentereftalato (PBT) y polietileno (PE) conteniendo 1%_{m/m} de arcilla (Nanofil 919), disminuye de 5,8 a 0,2 cN/m. La determinación de la tensión interfacial se realizó a partir de las mediciones de la fuerza extensional de la mezcla, como una función de las fracciones volumétricas y las fuerzas extensionales de cada polímero, del diámetro promedio de los dominios y del número de gotas. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos a distintas concentraciones del sólido. La reducción en la tensión interfacial inhibió la coalescencia de las gotas, de lo cual estos autores concluyeron que la arcilla funciona como un verdadero agente compatibilizante.

Tabla 1. Resultados de las fuerza extensional de las mezclas a 240 °C y su tensión interfacial [23]

Materiales	Fuerza extensional (cN/m)	Tensión interfacial, Γ (cN/m)
PE	0,8	-
PBT	0,1	-
10/90 PBT/PE	1,90	5,76
10/90/1 PBT/PE/clay	0,77	0,14
10/90/5 PBT/PE/clay	0,89	0,26
10/90/10 PBT/PE/clay	0,79	0,16

Muchos investigadores concuerdan en que la disminución en el tamaño de los dominios dispersos se debe a la localización de las partículas en la región interfacial o en la matriz, generando un efecto barrera que inhibe la coalescencia de las gotas. En la Figura 2 se representa esquemáticamente este comportamiento.

B. Khatua *et al.* [25] analizaron por TEM la morfología de una mezcla (80/20%_{m/m}) de Nylon 6 (N6)/caucho de polietileno-co-propileno (EPR) con arcilla comercial C20A. La arcilla se localizó exclusivamente en la fase mayoritaria de la poliamida y en la interfase N6-EPR. Estos autores, representaron el rol del silicato como en la Figura 2.b y concluyeron que la reducción en el diámetro promedio de los dominios (de 3,6 a 0,9 μm) se debe al efecto barrera causado por la presencia de arcilla en la interfase y/o la matriz.

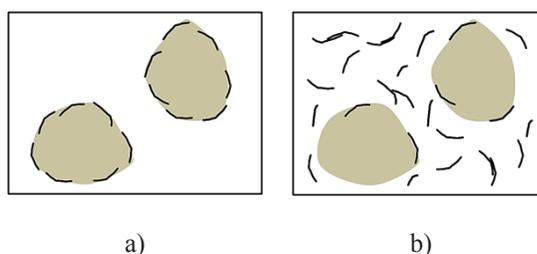


Figura 2. Representación gráfica del efecto barrera que ejerce la arcilla cuando se localiza en: a) la interfase; y b) en la matriz.

Para verificar esta afirmación, prepararon el mismo nanocompuesto variando la composición de la mezcla, ahora 20/80%_{m/m} con 2 phr de arcilla (2 g de arcilla/100 g de mezcla), observando que el diámetro promedio (D_n) de las gotas de N6 fue de 3,7 μm , similar al de la mezcla en ausencia de carga. Todos los nanocompuestos fueron sometidos a recocido durante 4 h a 250 °C, obteniéndose que D_n incrementa significativamente cuando la fase dispersa es el N6. Según estos resultados, los autores establecen que las láminas de arcilla exfoliada dentro de las gotas no actúan efectivamente como barrera para la estabilización de la dispersión.

J. Honget *al.* [26], observaron un incremento en el tamaño de los dominios de poli(butiltereftalato) (PBT) (fase minoritaria) de una mezcla de PE/PBT/arcilla, lo cual explicaron en función de la viscosidad del poliéster. La acumulación de arcilla en las gotas incrementa la viscosidad de este polímero a un punto en el cual se inhibe la ruptura de las mismas, debido posiblemente a la formación de una red tridimensional que inmoviliza esta fase, impidiendo la separación de estos dominios en microfases más pequeñas.

Aparentemente, la localización de la arcilla en la interface no es suficiente para ejercer un efecto barrera, mas la obtención de una dispersión fina de la mezcla se puede explicar en función de la mayor viscosidad de la matriz debido a la dispersión de partículas en esta fase. Este tercer mecanismo, es función de la concentración de arcilla y de la afinidad del sólido por algunos de los componentes [23]. A mayor concentración de arcilla mayor será la viscosidad de los polímeros involucrados y por consiguiente, las restricciones que se imponen sobre la dinámica de las fases.

Por último, se ha planteado también que las arcillas son capaces de ejercer un efecto compatibilizante similar al que ejercen los copolímeros de bloques, siempre y cuando las cadenas poliméricas de cada componente se encuentren firmemente adsorbidas sobre la superficie del silicato (Figura 3).

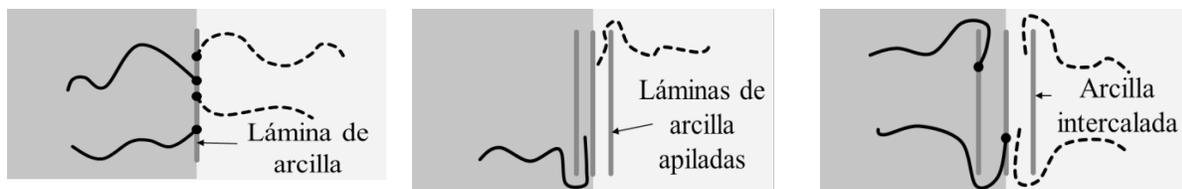


Figura 3. Representación de la adsorción de cadenas de polímeros sobre la superficie del silicato [4]

La localización o distribución de la arcilla entre las fases es determinante en la estabilización de mezclas inmiscibles, lo cual depende en gran medida de la afinidad entre los componentes poliméricos del sistema y el modificador orgánico de la carga nanométrica. El mecanismo de compatibilización se puede clasificar de acuerdo a la localización del sólido, como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de las posibles razones por las cuales ocurren cambios en la morfología de polimezclas binarias inmiscibles en función de la localización del sólido

Localización del silicato		
En la gota	En la matriz	En la interfase
a) Incrementa la viscosidad del polímero, inhibiendo la formación de dominios dispersos más pequeños.	b) Ejerce un efecto barrera debido a la localización de arcilla en esta fase. c) La mayor viscosidad del polímero, impide el movimiento de las gotas y por consiguiente la coalescencia de las mismas.	d) Reduce la tensión interfacial cuando las cadenas de ambos polímeros son fuertemente adsorbidas sobre la superficie del mineral. e) Se promueve la estabilización estérica.

Mecanismo de migración de la arcilla

Aunque existen resultados experimentales que evidencian la distribución de arcilla en polimezclas, son pocas las publicaciones en las que se menciona el proceso a través del cual ocurre la migración. Recientemente, L. Eliaset *al.* [27] (citado por F. Fenouillot *et al.* [4]) analizaron cualitativamente tres mecanismos, que involucran el desplazamiento de partículas esféricas de una fase a otra en el fundido. El primero de ellos, considera el movimiento browniano de las partículas, cuyo coeficiente de difusión viene dado por la siguiente expresión.

$$D_0 = \frac{k_B T}{6\pi\eta a} \quad (3)$$

Donde, a es el radio de las partículas, η la viscosidad del fluido, T la temperatura y K_B la constante de Boltzmann. Sin embargo, estos autores consideran que el tiempo que tarda una partícula en desplazarse una distancia igual a su radio (Ec. 4) se vuelve incongruente con los procesos industriales de mezclado, los cuales son generalmente de unos pocos minutos. Adicionalmente, concuerdan en que las viscosidades tan altas de los polímeros en fundido impide el desplazamiento del sólido por esta vía y aseguran que la migración no podría ocurrir bajo condiciones estáticas.

$$t_D = \frac{a^2}{D_0} = \frac{6\pi\eta a^3}{k_B T} \quad (4)$$

En segundo lugar, proponen un mecanismo basado en la teoría de colisiones entre las partículas de sólido y las gotas de polímero disperso. La frecuencia de colisión, inducida por el esfuerzo de corte que implica la agitación de la mezcla, se calcula mediante la Ec.5. Donde C es la velocidad de corte y ϕ la fracción volumétrica de la entidad (partícula o gota).

$$C = \frac{8}{\pi} \dot{\gamma} \phi \quad (5)$$

Aunque a través de la expresión anterior no es posible estimar la frecuencia de colisión entre las gotas de polímero y el sólido, específicamente, concluyen que el número de colisiones es alto y que estas colisiones pueden o no terminar en la transferencia de la partícula de una fase a otra.

Como tercer mecanismo, proponen la transferencia del sólido a partir de la coalescencia de dos gotas de polímero. Las partículas localizadas inicialmente en la matriz se transfieren a la fase minoritaria o dispersa luego de quedar atrapadas entre dos gotas de polímero que colisionan. Este mecanismo es función del anterior y depende de la coalescencia, deformabilidad y tamaño de los dominios dispersos.

Factores que inciden sobre el poder compatibilizante de la arcilla

La distribución de las nanopartículas depende de varios factores, entre los que se mencionan: la concentración de arcilla, la composición de la mezcla, la polaridad de los polímeros, la incorporación de agentes compatibilizantes tradicionales, la naturaleza del modificador orgánico, la viscosidad y masa molar de los polímeros y otros aspectos menos investigados relacionados con el método de preparación del nanocompuesto, por ejemplo el orden de adición de los polímeros [28, 29], el tiempo de mezclado y la velocidad de agitación, etc. Todas estas variables se pueden clasificar dentro de tres categorías, representadas en la Tabla 3.

Tabla 3. Factores que inciden sobre la distribución de las partículas de arcilla en mezclas de polímeros inmiscibles

Distribución y/o dispersión del sólido			
Factores Termodinámicos		Factores cinéticos	
Interacciones Polímero-Arcilla		Reología de la mezcla	Método de preparación
a)	Naturaleza del Modificador de la Arcilla	a) Concentración de Arcilla	a) Método de Adición
		b) Masa molar de los componentes	b) Secuencia de Adición
b)	Polaridad de los Polímeros	c) Presencia o no de Solvente	c) Tiempo de Mezclado
		d) Composición de la Mezcla	d) Velocidad de Agitación

A continuación se describe brevemente el efecto de algunos de factores cinéticos sobre el sistema poli-mezcla/arcilla.

Concentración de arcilla

En la mayoría de los trabajos se ha reportado que al incrementar la concentración de arcilla se reduce el tamaño promedio de los dominios dispersos. G. Chenet *al.* [5], representaron gráficamente el diámetro de las gotas vs. la concentración de arcilla, para el sistema PLLA/PBS/MMT modificada (TFC), y encontraron que el tamaño de los dominios dispersos de PBS se reduce muy ligeramente en una primera etapa, cuando la [TFC] < 0,5%_{m/m}. Entre 0,5 y 3%_{m/m} la reducción es considerable y por encima del 3%_{m/m} se vuelve casi constante. Ellos, atribuyen este efecto al incremento en la viscosidad del medio cuando aumenta la concentración de silicato en el nanocompuesto. En la Figura 4 se presentan los resultados.

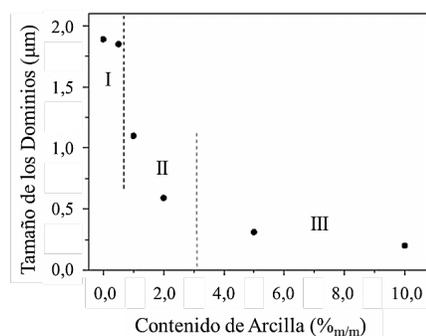


Figura 4. Tamaño promedio de los dominios de PBS en función de la concentración de TFC [5]

Adicionalmente, por XRD corroboraron que la organoarcilla se intercala con cadenas de ambos homopolímeros, debido a que los grupos epoxy injertados sobre el silicato son compatibles con ambos constituyentes de la mezcla. También reportaron que el pico característico de la TFC, en los difractogramas XRD de los nanocompuestos, desaparece cuando la concentración de arcilla es menor que 2%_{m/m}, debido a la completa exfoliación y dispersión de la arcilla en el sistema.

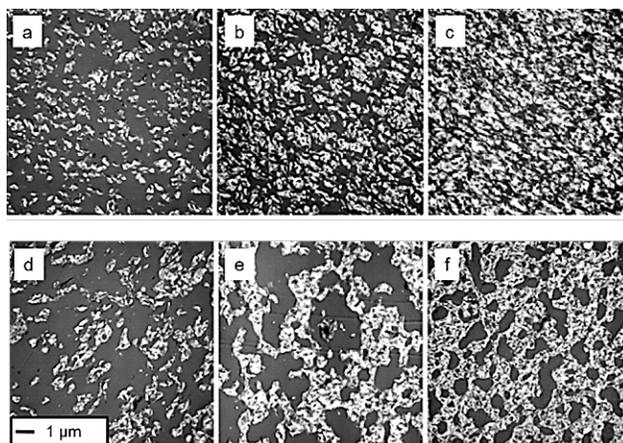
Además de generar este efecto, la concentración de arcilla influye sobre su migración entre las fases. J.Hong *et al.* [23] prepararon nanocompuestos a partir de PBT y PE con Nanofil 919 y observaron que el silicato se ubica inicialmente en la fase dispersa de PBT y en la interface. Sin embargo, cuando incrementaron la concentración de carga de 1 a 5%_{m/m}, la arcilla empezó a migrar hacia la fase mayoritaria, debido probablemente al mayor número de colisiones entre las partículas.

Viscosidad de las fases y composición de la mezcla

P. Uthirakumar *et al.* [6], prepararon vía polimerización *in situ* nanocompuestos de HIPS con diferentes concentraciones de MMT (0, 1, 3 y 5%_{m/m}). Inicialmente sintetizaron un iniciador híbrido (ABT-BA-MMT) modificando la MMT-Na⁺ (Kunipia-F, proporcionada por Kunimine Co.) con 2,2'-azobis[2-metil-N-(2-hidroxiethyl) propionamida] para llevar a cabo la polimerización del estireno (St) en masa y en solución. Cuando realizaron la polimerización en masa no obtuvieron resultados satisfactorios, puesto que la elevada viscosidad del medio (10%_{m/m} de PB) no permitió la difusión del St hacia las galerías, obteniendo finalmente una morfología tipo tactoide. En contraste, mediante la polimerización en solución lograron una buena dispersión y exfoliación de la arcilla, ya que el St logró difundir entre las capas y reaccionar con los iniciadores azo injertados sobre la superficie de la MMT.

La composición de la mezcla puede tener varios efectos sobre la distribución y dispersión de las partículas dependiendo de la afinidad del silicato por alguno o por ambos polímeros. Cuando la arcilla es afín a uno de los polímeros, la morfología resultante dependerá de si la fase a la cual es afín la carga constituye la fase dispersa o la continua. M. Siet *et al.* [11] prepararon nanocompuestos PS/PMMA/C6A y observaron que la arcilla se localizó preferencialmente en la fase metacrílica. Los resultados se muestran en la Figura 5. Como se nota, luego del recocido de las muestras, el diámetro promedio de los dominios dispersos es menor en la Figura 5a) en comparación con el obtenido cuando el PS es la fase minoritaria. Esto se explica en función del efecto barrera que ejerce la arcilla cuando forma parte de la matriz.

Por otra parte, S. Rayet *et al.* [7] evaluaron el efecto que ejerce la composición de la mezcla PS/polipropileno (PP) con 2 y 5%_{m/m} de C20A. Utilizaron dos proporciones de la mezcla (PS/PP): 20/80%_{m/m} y 50/50%_{m/m}. Las micrografías realizadas por SEM revelaron una morfología poco estable de la polimezcla en ausencia de arcilla, donde se notan grandes dominios de PS dispersos en la fase continua de PP. Sin embargo, al incorporar 5%_{m/m} de la organoarcilla el tamaño de los dominios se redujo considerablemente, efecto más pronunciado en el caso de la mezcla 20 PS/80 PP. Los autores justifican este resultado debido a la menor viscosidad del medio cuando hay una mayor proporción de PP en el sistema ($\eta_{PS}=1,04 \text{ g/cm}^3$, $\eta_{PP}=0,90 \text{ g/cm}^3$) junto con las altas velocidades de corte a las que fue sometida la mezcla. Asimismo, los resultados de los análisis por XRD y TEM evidenciaron la ubicación de la organoarcilla en la región interfacial, debido a la común intercalación con cadenas de PS y PP. Esto condujo a una reducción de la tensión interfacial de 5,1 a 3,4 mN/m para la mezcla 50 PS/50 PP con 5%_{m/m} de arcilla, corroborando el poder compatibilizante del mineral.



**Figura 5. Micrografías de los nanocompuestos PS/PMMA conteniendo 10% de C6A [11].
Templadas con nitrógeno líquido. a) 63/27%_{m/m}; b) 45/45%_{m/m}; c) 27/63%_{m/m}.
Sometidas a recocido por 14 h a 190 °C. d) 63/27%_{m/m}; e) 45/45%_{m/m}; f) 27/63%_{m/m}.**

Conclusiones

Las mezclas ternarias híbridas, compuestas por un par de polímeros inmiscibles y partículas inorgánicas están despertando un gran interés, debido a sus potenciales aplicaciones a nivel industrial. En términos generales, todos los fenómenos relacionados con la morfología de estas mezclas se rigen por la termodinámica, por los efectos cinéticos y por la localización de las nanopartículas entre las fases. Debido a la alta viscosidad de estos sistemas, el equilibrio no puede ser alcanzado. Por lo tanto, la localización final de la nanocarga en un par de polímeros está principalmente determinada por los factores cinéticos tales como la secuencia de mezclado de los componentes, su relación de viscosidades, la composición de la mezcla, la temperatura, la velocidad de cizallamiento y el tiempo de mezclado. Cuando las partículas se colocan en la interfase entre dos polímeros, puede suprimirse la coalescencia y/o puede reducirse la tensión interfacial. En ese caso, las partículas actúan como un compatibilizante. En un sistema ternario, la química de la superficie de las partículas afecta a la localización final de las partículas y por lo tanto, el efecto de compatibilización y las propiedades mecánicas y térmicas finales del material.

Los fenómenos que tienen lugar en este tipo de sistemas, revisten una complejidad mucho mayor respecto a los sistemas convencionales que emplean copolímeros como compatibilizantes. Las potencialidades de este modo de compatibilización y las interrogantes que persisten sin resolver justifican el continuar explorando sistemáticamente este tipo de materiales.

Referencias Bibliográficas

1. Koning C., Van Duin M., Pagnoulle C. y Jerome R., Strategies for compatibilization of *polymer* blends. *Progress in Polymer Science*, Vol. 23, (1998), 707-757.
2. Feldman D., Polyblend compatibilization. *Journal of Macromolecular Science*, Vol. 42, N° 5 (2005), 587-605.
3. Paul D., Interfacial Agents ('Compatibilizers') for Polymer Blends, Cap. 12 en *Polymer Blends*, Vol. II (D. R. Paul and S. Newman, eds.), Academic Press, New York, (1978).
4. Fenouillot F., Cassagnau P. y Majesté J.-C., Uneven distribution of nanoparticles in immiscible fluids: Morphology development in polymer blends, *Polymer*, Vol. 50, (2009), 1333-1350.

5. Chen G., Kim H.-S., Kim E.-S. y Yoon J.-S., Compatibilization-like effect of reactive organoclay on the poly(L-lactide)/poly(butylene succinate) blends, *Polymer*, Vol. 46, (2005), 11829-11836.
6. Uthrikumar P., Hahn Y., Nahm K.S. y Lee Y., Exfoliated high-impact polystyrene/MMT nanocomposites prepared using anchored cationic radical initiator–MMT hybrid, *European Polymer Journal*, Vol. 41, (2005), 1582-1588.
7. Ray S., Pouliot S., Bousmina M. y Utraki L., Role of organically modified layered silicate as an active interfacial modifier in immiscible polystyrene/polypropylene blends, *Polymer*, Vol. 45, (2004), 8403-8413.
8. Essawy H. y El-Nashar D., The use of montmorillonite as a reinforcing and compatibilizing filler for NBR/SBR rubber blend, *Polymer Testing*, Vol. 23, (2004), 803-807.
9. Filippone G., Dintcheva N., Acierno D. y La Mantia F., The role of organoclay in promoting co-continuous morphology in high-density poly(ethylene)/poly(amide) 6 blends, *Polymer*, Vol. 49, (2008), 1312-1322.
10. Calcagno C., Mariani, C., Teixeira S. y Mauler R., The role of the MMT on the morphology and mechanical properties of the PP/PET blends, *Composites Science and Technology*, Vol. 68, (2008), 2193-2200.
11. Si M., Araki T., Ade H., Kilcoyne A., Fisher R., Sokolov J. y Rafailovich M., Compatibilizing Bulk Polymer Blends by Using Organoclays, *Macromolecules*, Vol. 39, (2006), 4793-4801.
12. Chinè B., Desarrollo de materiales poliméricos nanocompuestos para aplicaciones eléctricas y electrónicas, *Tecnología en Marcha*, Vol. 20 N° 2. (2007), 49-57.
13. Lee M., Dan Ch., Kim J., Cha J., Kim S., Hwang Y. y Lee Ch., Effect of clay on the morphology and properties of PMMA/poly(styrene-co-acrylonitrile)/clay nanocomposites prepared by melt mixing, *Polymer*, Vol. 47, (2006), 4359-4369.
14. Scaffaro R., Mistretta M. y La Mantia F., Compatibilized polyamide 6/polyethylene blend–clay nanocomposites: Effect of the degradation and stabilization of the clay modifier, *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 93, (2008), 1267-1274.
15. Yeh J. y Chang K., Polymer/layered silicate nanocomposite anticorrosive coatings, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 14, (2008), 275-291.
16. Hetzer M. y De Kee D., Wood/polymer/nanoclay composites, environmentally friendly sustainable technology: A review, *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 86, (2008), 1083-1093.
17. Lai S.-M., Li H. y Liao Y., Properties and preparation of compatibilized nylon 6 nanocomposites/ABS blends: Part II – Physical and thermal properties, *European Polymer Journal*, Vol. 43, (2007), 1660-1671.
18. Vijayan P., Puglia D., Kenny J. y Thomas S., Effect of organically modified nanoclay on the miscibility, rheology, morphology and properties of epoxy/carboxyl-terminated (butadiene-co-acrylonitrile) blend, *Soft Matter*, Vol. 9, (2013), 2899-2911.
19. Zhang W., Lin M., Winesett A., Dhez O., Kilcoyne A., Ade H., Rubinstein M., Shafi K., Ulman A., Gersappe D., Tenne R., Rafailovich M., Sokolov J. y Frisch H., The use of functionalized nanoparticles as non-specific compatibilizers for polymer blends, *Polymers Advances Technology*, Vol. 22, (2011), 65-71.
20. Vaia R., Teukolsky R. y Giannelis E., Interlayer structure and molecular environment of alkylammonium-layered silicates, *Chemistry of Materials*, Vol. 6, (1994), 1017-1022.
21. Ray S. y Bousmina M., Effect of Organic Modification on the Compatibilization Efficiency of Clay in an Immiscible Polymer Blend, *Macromolecular Rapid Communications*, Vol. 26, (2005), 1639-1646.
22. Ray S., Bousmina M. y Maazouz A., Morphology and properties of organoclay modified polycarbonate/poly(methyl methacrylate) blend, *Polymer Engineering Science*, Vol. 46, (2006), 1121-1129.

23. Hong J., Kim Y., Ahn K., Lee S. y Kim C., Interfacial tension reduction in PBT/PE/clay nanocomposite, *Rheological Acta*, Vol. 46, (2007), 469-478.
24. Xing P., Bousmina M., Rodriguez, D. y Kamal M., Critical experimental comparison between five techniques for the determination of interfacial tension in polymer blends: model system of polystyrene/polyamide-6, *Macromolecules*, Vol. 33, (2000), 8020-8034.
25. Khatua B., Lee D., Kim H. y Kim J., Effect of Organoclay Platelets on Morphology of Nylon-6 and Poly(ethylene-ran-propylene) Rubber Blends, *Macromolecules*, Vol. 37, No. 7, (2004), 2454-2459.
26. Hong J., Namkung H., Ahn K., Lee S. y Kim C., The role of organically modified layered silicate in the breakup and coalescence of droplets in PBT/PE blends, *Polymer*, Vol. 47, (2006), 3967-3975.
27. Elias L., Fenouillot F., Majesté J., Martin G. y Cassagnau P., Migration of nanosilicaparticles in polymer blends, *Journal Polymer Science. Part B: Polymer Physics*, Vol. 46, (2008), 1976-1983.
28. Hatui G., Das Ch., Kalra S., Basu T. y Yue C., Effect of Mixing Sequence of Polymer and Nanofillers on Thermo Mechanical as well as Morphological Property of the Nanocomposites, *Journal of Materials Science Research*, Vol. 2, No.1, (2013), 49-58.
29. Pastor J., Gallego R., Basurto F., Núñez K. García-López D. y Merino J., Study of Different Mixing Sequences in Polymer Blends Reinforced with Nano-Clays, *Macromolecular Symposia*, (2012), 140-144.

Índice acumulado

N° 1 Julio - Diciembre 2011

Algunas series e integrales con funciones trigonométricas
Some series and integrals with trigonometric functions
Alfredo Villalobos y Glenny García

Control mediante interconexión y asignación de amortiguamiento del sistema mecánico subactuado TORA
Interconnection and damping assignment control of the subactuated TORA mechanical system
Atilio Morillo, Maribel Pérez Pirela, Miguel Ríos y Vivian Acosta

Algunos resultados que envuelven la función hipergeométrica de Wright y el cálculo fraccional
Some results involving fractional calculus and Wright's generalized hypergeometric function
Susana Salinas de Romero y Carlos Segundo Muñoz Valencia

Eficiencia del quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de baja turbidez asociadas a la producción de petróleo
Efficiency of chitosan as coagulant during treatment of low turbidity water associated crude oil production
Yaxcelys Caldera, Yim Rodríguez, Hernando Oñate, Jhosana Prato y Edixon Gutiérrez

Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones
Chitin and Chitosan friendly polymer. A review of their applications
Zulay Mármod, Gisela Páez, Marisela Rincón, Karelen Araujo, Cateryna Aiello, Cintia Chandler y Edixon Gutiérrez

Algunos resultados sobre la función de Bessel de dos índices y un parámetro
Some results on Bessel function of two indexes and one-parameter
Leda Galué y Greilyn Castillo

Generalización fraccional de la ecuación de Schrödinger relacionada a la Mecánica Cuántica
Fractional generalization of Schrödinger equation related to Quantum Mechanics
Shyam Kalla, Ram Kishore Saxena y Ravi Saxena

N° 2 Enero - Junio 2012

Diseño de un equipo de desinfección por luz ultravioleta para el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización

Design of disinfection equipment for ultraviolet light to wastewater treatment with goals of reutilization

Mayra Sánchez, Nellimar Villalobos, Edixon Gutiérrez y Yaxcelys Caldera

Cinética de intercambio iónico bajo control mixto en medio lácteo

Ion exchange kinetics under mixed control in milk

Jorge Alaña, Karina Martínez, José González, Juan Hernández y César García

Contenido de fracciones orgánicas en aguas de producción de petróleo

Organic fractions in water from crude oil production

Edixon Gutiérrez, Yaxcelys Caldera, Leopoldo Ruesga, Cristina Villegas, Roscio Gutiérrez, Ninoska Paz, Edith Blanco y Zulay Mármol

Solitones topológicos: Cúmulos de energía

Topological solitons: Lumps of energy

Ramón J. Cova

Ingeniería Química: Historia y Evolución

Chemical Engineering: History and Evolution

Cateryna Aiello Mazzarri, Zulay Mármol y Araceli Sánchez de Puertas

Comparación de las propiedades que influyen en la combustión entre el fly ash, carbón y diferentes derivados del petróleo

Comparison of the properties that influence in the combustion among the fly ash, coal and different derived of the petroleum

Análí Machado, Cezar García, Yolanda Rincón, Neyma García, José González y Juan Hernández

Nitrobacterias en reactores biológicos rotativos de contacto (RBC) de tres cámaras bajo diferentes cargas orgánicas

Nitrobacteria in three stages rotating biological contactor (RBC) reactors under different organic loads

Julio César Marín, Evelín Castro, Elisabeth Behling, Gilberto Colina, Laugeny Díaz y Nancy Rincón

Generalización de los polinomios de Bernoulli de índice arbitrario complejo

Generalization of Bernoulli polynomials of arbitrary complex index

Ana Isolina Prieto, Josefina Matera, Susana Salinas de Romero y Marleny Fuenmayor

Nº 3 Julio - Diciembre 2012

Criterios para la gestión de los sistemas de inventarios

Criteria for management inventories systems

Alfredo Leal y Karim Oliva

Contenidos curriculares y rendimiento académico de los estudiantes en la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia

Contents curriculares and academic performance of the students in the Faculty of Agronomy of the University of Zulia

Mary Isabel Urdaneta Portillo, Gladys Sarmiento, José Hernández y Jairo Fernández

Mínimos cuadrados parciales con el método de descenso de mayor pendiente

Partial least square with method of maximum gradient descent

Eddy Jackeline Rodríguez

Usabilidad de entornos virtuales 3D colaborativos en el proceso de enseñanza–aprendizaje

Usability of collaborative 3D virtual environments in the teaching-learning processes

Carlos Arrieta

Desinfección de aguas residuales de una industria avícola para su reutilización

Disinfection of poultry industry wastewater for reuse

Edixon Gutiérrez, Anna Travaglini, Giselle Uzcátegui y Yaxcelys Caldera

Estudio comparativo entre el método de Lemke y el método de los conjuntos activos para programación cuadrática

Comparative study between Lemke's method and the active set method for quadratic programming

Marihebert Leal, Kilkenis Fuenmayor, Javier Bastidas y Susana Salinas

N° 4 Enero - Junio 2013

Comunidades de práctica en la investigación universitaria

Communities of practice in the university research

Sergio de Pool

Representación integral de la función de Bessel de dos índices y un parámetro

Integral representation of the Bessel function of two indexes and a parameter

Leda Galué y Greilyn Castillo

Algunas propiedades de las N – Normas

Some properties of N – Norms

José Sarabia

Biodegradación de queroseno por cultivos de bacterias aisladas de una fosa petrolera en Venezuela

Kerosene biodegradation by bacterial cultures isolated from oil pit in Venezuela

Laugeny Díaz, Beltrán Briceño, Mónica García, Néstor Rosales, Julio Marín, Cateryna Aiello y Ever Morales.

Factibilidad de inserción del Transmilenium como solución a la situación actual del sistema de transporte público de la ciudad de Maracaibo

Feasibility study of the Transmilenium like a solution to the actual public transport situation in the Maracaibo city

Angi Rojas y Marco Hinder

Modelado del secado en capa fina y del presecado al sol a diferentes alturas de la capa de la Lemna obscura del Lago de Maracaibo

Modeling of the thin layer drying and solar predrying at the different layer thicknesses of the Lemna obscura from Maracaibo Lake

Leobaldo Suárez, Alexis Faneite y Alexis Ferrer

Algunos resultados de la subordinación diferencial de Briot – Bouquet de funciones analíticas

Some results on Briot – Bouquet differential subordination of analytic functions

Alka Rao y Shyam Kalla

Nº 5 Julio - Diciembre 2013

Biblioteca de diferenciación automática para la maquina virtual de Java.

Automatic differentiation library for the Java virtual machine

María Portillo, Nelson Arape y Gerardo Pírela

Eficiencia de la semilla moringa oleífera como coagulante orgánico en la remoción de metales en aguas de poca turbiedad

Efficiency of the moringa oleifera seeds as organic coagulant for metal removal in low turbidity wastewaters

Marielba Más y Rubí, Sedolfo Carrasquero, Daimarys Martínez, Donaldo Gabriel Mejías y Luis Vargas

Evaluación de la recuperación de Vanadio y Níquel por lixiviación acida de las cenizas volantes del aceite combustible

Evaluation of recovery of vanadium and nickel by acid leaching from oil fly ash

César García, Roselis Rosales, Blanca Feijoo, Juan Hernández, José González y Gabriela Carruyo

Influencia de la relación de la geometría vertical en el comportamiento estructural de edificaciones aporricadas de concreto armado.

Influence of the aspect ratio of vertical geometry on the structural behavior of framed reinforced concrete buildings

Oswaldo Russian, Víctor Salazar y Gerardo Gutiérrez

Análisis numérico computacional de la distribución de temperaturas en una barra

Computational numerical analysis for the temperature distribution in bar

Alfredo Villalobos y Antonio Quintero

Validación de un método cromatográfico para la determinación de vitamina A en muestras de leche

Validation of a chromatographic method for the determination of vitamin A in milk samples

Karelen Araujo, Gisela Páez, Zulay Mármol, Elsy Arenas, Ana Cáceres y Cateryna Aiello Mazzarri

Nº 6 Enero - Junio 2014

Dr. Shyam Lal Kalla

Sobre una generalización de la función hipergeométrica de Gauss

On one generalization of the Gauss hypergeometric function

Nina Virchenko

Representación integral de las $eaxxkyl$ – funciones de onda

Integral representation of $eaxxkyl$ – wave functions

Iryna Alexsandrovich y Nina Virchenko

Algunos resultados sobre la función de Bessel de tres variables

Some results on the function of three variables Bessel

Ana Isolina Prieto, Josefina Matera, Leda Galué y Susana Salinas

Integrales y ecuación diferencial que involucran la función de Wright

Integrals and differential equation involving Wright functions

Susana Salinas de Romero, Daniel Meza y Marleny Fuenmayor

Sobre las desigualdades integrales fraccionarias y sus q -análogos.

On fractional integral inequalities and their q -analogues

Sunil Dutt Purohit, Faruk Ucar and R.K. Yadave

Una nueva clase de polinomios q -Apostol-Bernoulli de orden α

A new class of q -Apostol-Bernoulli polynomials of order α

Mridula Garg and Subhash Alha

Algunos resultados que involucran operadores q -integrales fraccionales generalizados de Erdélyi-Kober

Some results involving generalized Erdélyi-Kober fractional q -integral operators

Leda Galué

Revisión de la teoría de Boehmians

Boehmians revisited

P. K. Banerji and Deshna Loonker

Algunas propiedades de las N -normas (II)

Some properties of N -norms (II)

José A. Sarabia R

Normas para la presentación de artículos

1. La Revista Tecnocientífica URU es una revista digital arbitrada de la Universidad Rafael Urdaneta cuyo propósito es dar a conocer trabajos científicos originales e inéditos en las áreas de Ingeniería (Química, Civil, Eléctrica, Computación, Telecomunicaciones, Industrial y Producción Animal, entre otras).
2. **Tipos de trabajos**

Se aceptaran para la publicación artículos científicos inéditos, esto es, que no hayan sido enviados o publicados en otro órgano de divulgación científica con anterioridad, con un máximo de quince (15) páginas y escrito en MICROSOFT OFFICE WORD. Se deben consignar tres copias y un CD-ROM del artículo.

 - 2.1 Artículos de actualización científica que resuman el “Estado del Arte” de las áreas de la revista, con un máximo de quince (15) páginas.
 - 2.2 Artículos de reflexión sobre un tema específico de las áreas de la revista, desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, recurriendo a fuentes originales.
 - 2.3 Artículos de revisión: documentos donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones, publicadas o no, sobre una temática especializada de las áreas de la revista.
 - 2.4 Artículos de discusión: documentos que presentan el debate de afirmaciones realizadas en artículos anteriores.
 - 2.5 Artículos de invitados especiales con un máximo de quince (15) páginas.
 - 2.6 Notas técnicas: sobre mejoras de procesos en ingeniería, resultados de investigaciones derivadas del ejercicio profesional en ingeniería y ciencias afines, con un máximo de ocho (8) páginas.
3. **La portada debe contener**
 - 3.1 Título del trabajo en español e inglés en letras mayúsculas y minúsculas.
 - 3.2 Nombre(s) del autor(s), 6 autores como máximo y su dirección institucional(es) completa(as) (dirección postal, correo electrónico).
 - 3.3 Resumen del trabajo en español e inglés (abstrac) con un máximo de doscientas (200) palabras.
 - 3.4 Palabras clave en español e inglés (key words) con un máximo de cinco (05) palabras.
4. **Normas de estilo**
 - 4.1 El orden a seguir para el artículo es: portada, resumen (en español e inglés), introducción, fundamentos teóricos, parte experimental, resultados, discusión de resultados, conclusiones, agradecimiento y referencias bibliográficas.
 - 4.2 El artículo debe escribirse en estilo Times New Roman tamaño 12, el título tamaño 16 y las figuras, tablas y texto subordinados tamaño 10.
 - 4.3 El interlineado debe ser doble espacio a excepción del resumen, agradecimiento y referencias bibliográficas que van a un espacio.
 - 4.4 El nombre de cada sección se escribirá en negritas. Estos deberán estar centrados.
 - 4.5 El nombre de las subsecciones se escribirá en negritas a la izquierda del texto y en mayúsculas y minúsculas.

- 4.6 Las figuras, fotografías, diagramas y gráficos deben denominarse como figuras y estas deben ir numeradas con números arábigos, así como las tablas. Además, deben incluirse dentro del texto correspondiente y con su respectiva leyenda.
- 4.7 La redacción de los trabajos puede ser en español o inglés.
- 4.8 Las fotografías, imágenes, mapas y figuras incluidas en el documento se anexaran también por separado en el CD-ROM con excelente calidad.
- 4.9 Las fotografías pueden estar en blanco y negro o a full color, bien contrastadas y brillantes de un ancho máximo de 9,5cm.
- 4.10 Todos los símbolos matemáticos deben ser escritos en forma clara y legible, con los subíndices y superíndices ubicados correctamente.
- 4.11 Deben ser numeradas todas las ecuaciones matemáticas en forma consecutiva con números arábigos entre paréntesis y ubicados en el margen derecho.
- 4.12 Las citas dentro del documento se escriben con el nombre de sus autores seguido con un número entre corchetes que corresponde a la referencia.
Ejemplo: García [1], L Moreno [3, Pág. 19-24] o ubicando el número de la referencia sin colocar autor [4], si son 3 o más autores se escribe K. Nishimoto et al. [2].
Las referencias bibliográficas de artículos de revistas deben contener autor(es) si tiene varios autores separarlos con comas, título de la revista, volumen y número, año de publicación (entre paréntesis) y páginas. Solo deben incluirse referencias bibliográficas con autores totalmente identificados y se escribirán por orden de aparición de las citas.
Ejemplo: García C., Marín j., Alaña J., Martínez K. y Faria J., Modelo de Nernst-Planck aplicado a la cinética de intercambio iónico del sistema PO₄(-3)- Cl(-1) en leche, Rev. Tec. Ing. Univ.Zulia, Vol. 30, N°. 3, (2007), 236-243.
Los libros se escriben: apellido e inicial del autor(es) con mayúsculas y minúsculas.
Ejemplo: Nishimoto K. (Editor), Fractional Calculus and its Applications, Nihon University, Tokyo (1990).
- 4.13 En los artículos deben emplearse unidades del Sistema Internacional: metro (m), kilogramos (Kg), Segundo (s), entre otras.

5. Arbitraje

- 5.1 El trabajo, recibido por el Editor(a), será enviado al Comité Editorial para su revisión y consideración de tres árbitros.
- 5.2 El método de arbitraje que sigue la revista es de tipo “doble ciego”, que consiste en que tanto los árbitros como los autores desconocen sus respectivas identidades.
- 5.3 Los trabajos serán evaluados de acuerdo a los siguientes criterios: claridad, originalidad del contenido, aportes al campo de conocimiento, coherencia del discurso, adecuada organización interna, calidad de las referencias bibliográficas, adecuada elaboración del resumen y pertinencia del título.
- 5.4 En caso de recibir observaciones por parte de los árbitros, estas serán enviadas al(los) autor(es) para su corrección. Después de realizar las correcciones, los autores devolverán la versión corregida en un CD-ROM, así como un original impreso y tres copias.
- 5.5 Las pruebas de imprenta serán enviadas a los autores para la revisión final del artículo.
- 5.6 Cuando el trabajo sea aceptado los autores serán informados del tiempo aproximado de publicación. Si el trabajo es rechazado los autores podrán remitir al Editor(a) Jefe una comunicación exponiendo argumentos a favor de su artículo. El Comité Editorial considerará las acciones a tomar.
- 5.7 Cada autor principal de los artículos publicados recibirá gratuitamente una (1) revista y cinco (5) separatas.

6. Consideraciones finales

- 6.1 Los conceptos u opiniones emitidos en los artículos, serán de exclusiva responsabilidad de los autores.
- 6.2 El Comité Editorial se reserva el derecho de los arreglos de estilo que considere conveniente.
- 6.3 Bajo ninguna circunstancia, la revista devolverá los originales (Impreso y CD-ROM) de los artículos enviados par su consideración.
- 6.4 Lo no previsto en las presentes normas será resuelto por el Comité Editorial.

Nota: Última revisión aprobada en reunión N° 70 del Comité Editorial de fecha 11 de Octubre del 2013.

Guidelines for Submitting Articles

1. URU techno-scientific journal is an arbitrated digital journal of the Rafael Urdaneta University, whose purpose is to publish scientific papers in the areas of engineering (Chemical, Civil, Electrical, Computer, Telecommunications, Industrial, Animal Production, etc.).

2. Types of articles

Articles will be accepted for publication which have not been submitted or published in other scientific journals, and should have a maximum of fifteen (15) pages, and written in MICROSOFT OFFICE WORD. Three copies should be submitted along with a CD-ROM containing the article.

- 2.1 Scientific articles that summarize the "state of the art " in areas of interest for the journal with a maximum of fifteen (15) pages.
- 2.2 Reflection articles on specific issues covered by the magazine, from an analytical, interpretative or critical viewpoint of the author, and based on original sources.
- 2.3 Review articles which analyze, systematize and integrate results, published or unpublished, on specific issues covered by the magazine.
- 2.4 Discussion articles: A document that presents the debate of assertions published in previous articles.
- 2.5 Articles by special guests with a maximum of fifteen (15) pages long.
- 2.6 Technical notes on process improvements in engineering, results of research obtained from professional practice in engineering and related fields, with a maximum of eight (8) pages.

3. The front page must contain

- 3.1 Title of paper in English and Spanish, in uppercase and lowercase letters.
- 3.2 Author's name , maximum of 6 authors and full institutional address or addresses (postal address, e-mail).
- 3.3 Abstract in Spanish and English with a maximum of two hundred (200) words.
- 3.4 Key words in Spanish and English with a maximum of five (5) words.

4. Text guidelines

- 4.1 The sequence for the article should be as follows: title, abstract (in English and Spanish), introduction, theoretical foundations, experimental part, and discussion of results, conclusions, acknowledgements and references.
- 4.2 Article should be written in 12 point Times New Roman, and 16 point for the title, and figures, tables and subordinate text should use 10 point. Interlining should be double space; abstract, acknowledgments and references should be single space.
- 4.3 The heading of each section should be centered and written in boldface letters.
- 4.4 Subsections headings should be written in boldface letters on the left of text and in upper and lower case letters.
- 4.5 Figures, photographs, diagrams and charts should be labeled as figures, and numbered with Arabic numerals, as well as tables. They should be included within the corresponding text along any explanation.
- 4.6 The article draft should be in Spanish or English.
- 4.7 Photographs, images and figures included in the document should be annexed separately on a

- CD-ROM of excellent quality.
- 4.8 Photographs can be in black / white or color, with good contrast and brightness and black , with a maximum width of 9.5 inches .
 - 4.9 Mathematical symbols should be written clearly and legibly, with subscripts and superscripts correctly located.
 - 4.10 Mathematical equations should be numbered sequentially with Arabic numerals within parentheses and placed on the right margin.
 - 4.11 Quotations within the document should be written with the author's name followed with a number inside brackets that corresponds to the reference. Examples: García [1], L. Moreno [3, pages 19-24] or, if there are three or more authors, the reference number without the author's name [4], and written as K.Nishimoto et al. [2].
 - 4.12 Bibliographic references to journal articles should include author (s) name (s); if it has multiple authors, their names should be separated by commas, title of journal, volume and number, year of publication (in parentheses) and page numbers. Bibliographical references should be included only when authors are fully identified and they will be written in order of appearance of the quote. Example: Garcia C., Marin J., Alaña J., Martinez K y Faria J., Model of Nernst-Planck applied to the ion exchange kinetics of the PO4 (-3)-Cl(1) system in milk, Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia, vol. 30, N° 3, (2007), 236-243.
Books references should be written: surname and initial of the author (s) name (s) in uppercase and lowercase letters.
Example: Nishimoto K. (editor), Fractional calculus and its applications, Nihon University, Tokyo (1990).
 - 4.13 Articles should use the International System Units: meter (m), kilogram (kg), second (s).

Evaluation

- 5.1 Articles received by the Editor (s) will be submitted to the Editorial Committee for review and consideration of three arbitrators.
- 5.2 The evaluation method followed by the Journal is of the “double blindness” type; neither the arbitrators nor the authors know their respective identities.
- 5.3 The works submitted will be evaluated according to the following criteria: clarity of language, originality of contents, contributions to the field of knowledge, coherence, adequate internal organization and quality of bibliographic references, appropriate elaboration of the abstract and relevance of title.
- 5.4 In case of observations from the referees, these will be forwarded to the author (s) for corrections. After making corrections, the authors should return the corrected version on a CD-ROM, as well as an original of the reviewed work and three copies.
- 5.5 Press proof will be sent to authors for final review of the article.
- 5.6 When the work is accepted, authors will be informed of the approximate date of publication. If the work is rejected, the author may submit a communication to the Editor in Chief presenting his arguments in favor of the article. The Editorial Committee will consider the actions to take.
- 5.7 Each author will receive one (1) free copy of the journal volume and 5 reprints.

Final considerations

- 6.1 Concepts or opinions expressed in articles shall be the sole responsibility of the authors.
- 6.2 The Editorial Committee reserves the right for any format changes that considers convenient.
- 6.3 Under no circumstances, the magazine will return the original of the articles (print and CD-ROM) submitted for consideration.
- 6.4 Questions not answered by these guidelines shall be resolved by the Editorial Committee.