

# RIC

## REVISTA DE INICIACIÓN CIENTÍFICA

JOURNAL OF UNDERGRADUATE RESEARCH

Vol. 3 - N.º 1

JUNIO 2017

P-ISSN 2412-0464 & E-ISSN 2413-6786



UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA  
DE PANAMA

latindex  
Directorio

# RIC

## REVISTA DE INICIACIÓN CIENTÍFICA

JOURNAL of UNDERGRADUATE RESEARCH

Volumen 3 - N.º 1 - 2017

P-ISSN 2412-0464

E-ISSN 2413-6786

### COMITÉ EDITORIAL

Director del Comité Editorial	Dr. Alexis Tejedor
Profesora	Dra. Casilda Saavedra
Facultad de Ingeniería Civil	
Profesora	Dra. Guadalupe González
Facultad de Ingeniería Eléctrica	
Profesor	Dr. Humberto R. Álvarez A.
Facultad de Ingeniería Industrial	
Profesora	Dra. Gisela T. de Clunie
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales	
Profesor	Dr. Abdiel Pino
Facultad de Ciencias y Tecnología	
Profesor	Dr. Humberto Rodríguez
Facultad de Ingeniería Mecánica	
Profesora	Dra. Elida de Obaldía
Facultad de Ciencias y Tecnología	

Sitio Web: [www.utp.ac.pa](http://www.utp.ac.pa)

Teléfono: (507) 560-3193

Correo electrónico: [vipe@utp.ac.pa](mailto:vipe@utp.ac.pa)

Dirección Postal: 0819-07289, El Dorado, Panamá

© Derechos reservados, UTP 2017.

Impreso en Panamá, Ciudad de Panamá

Universidad Tecnológica de Panamá

Tiraje: 500 ejemplares



UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA  
DE PANAMÁ

### AUTORIDADES

Dr. Oscar M. Ramírez R.  
Rector

Ing. Rubén D. Espitia P.  
Vicerrector Académico

Dra. Casilda Saavedra de Madrid  
Vicerrectora de Investigación, Postgrado y Extensión

Ing. Esmeralda Hernández P.  
Vicerrectora Administrativa

Ing. Luis A. Barahona G.  
Secretario General

Lic. Jeremías Herrera D.  
Coordinador General de los Centros Regionales

### DECANOS

Dr. Martín E. Candanedo G.  
Facultad de Ingeniería Civil

Ing. Julio Quiel  
Facultad de Ingeniería Eléctrica

Dr. Israel Ruíz  
Facultad de Ingeniería Industrial

Dr. Julio A. Rodríguez B.  
Facultad de Ingeniería Mecánica

Dr. Clifton E. Clunie B.  
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales

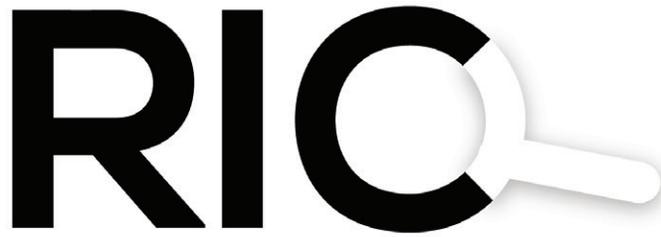
Mgter. Ricardo López G.  
Facultad de Ciencias y Tecnología

### EDITORIAL UNIVERSITARIA

Directora Ing. Libia Batista  
Mercadeo y Ventas Lic. Sandra Siebert  
Sr. Armando Pinillo

### Dirección de Comunicación Estratégica DICOMES

Directora Ing. Myriam González Boutet  
Jefa de Información y Relaciones Públicas Licda. María Félix Nieto  
Jefa de Imprenta Licda. Shirley Cedeño  
Revisión filológica Mgter. Klenya Morales  
Diseño y Maquetación Diseño Gráfico



REVISTA DE  
**INICIACIÓN**  
CIENTÍFICA

JOURNAL OF **UNDERGRADUATE** RESEARCH

La RIC, Revista de Iniciación Científica – *Journal of Undergraduate Research* – es una revista abierta a la difusión, a los intercambios y a los debates de interés de la comunidad universitaria, esencialmente a nivel de pregrado con el objetivo de promover la creación, la expresión y la disseminación de trabajos novedosos y empíricos. En la RIC se publican, prioritariamente trabajos originales relacionados con los temas de ciencias, tecnología e ingeniería, desarrollados por estudiantes de licenciatura, en español, portugués o en inglés, incluyendo resultados de trabajos de términos de grado y otros trabajos de investigación desarrollados en pregrado.

Revista semestral, es un proyecto educativo universitario, publicada a partir del 2015, como iniciativa del Ing. Alexis Tejedor De León, PhD, ING-PAED-IGIP, de la Facultad de Ingeniería Mecánica del Centro Regional de Veraguas de la Universidad Tecnológica de Panamá, con la finalidad de brindar una oportunidad, única, a

los estudiantes universitarios de experimentar plenamente el método científico, a partir del desarrollo de trabajos originales para su publicación y visibilidad internacional, por medio del proceso de revisión por pares.

*The manuscript should be of similar style and structure to that of typical articles published in professional journals.*

Los artículos y trabajos técnicos publicados en la Revista de Iniciación Científica – RIC – Journal of Undergraduate Research son de exclusiva propiedad de sus autores. Las opiniones y el contenido de los mismos pertenecen a sus autores, declinando la Universidad Tecnológica de Panamá de toda responsabilidad por los derechos que pudiera derivarse de la lectura y/o interpretación del contenido de los trabajos allí publicados.

## Misión

La RIC, es una revista de estudios, revisiones e investigaciones en ciencia, tecnología e ingeniería, tanto teóricos, como empíricos, que tiene como objetivo divulgar la producción académica universitaria a nivel de pregrado, propiciando el intercambio de informaciones y el debate sobre los principales asuntos y temas emergentes de las áreas. Se da relevancia a la diseminación de los trabajos realizados en universidades nacionales, sin embargo publicará también estudios provenientes del exterior. Por lo tanto, se invita a cualquier estudiante de licenciatura en las áreas de ciencia, tecnología e ingeniería a presentar sus manuscritos, y enviarlos a la dirección: revista.ric@utp.ac.pa

los revisores, y su decisión sobre la publicación del manuscrito, el cual podrá aceptarse tal y como se envió, aceptarse con pequeñas modificaciones, rechazarse con la invitación de que lo vuelva a someter, o podrá ser rechazado por completo. El autor, en cuestión, atenderá las modificaciones sugeridas. Se podrán llevar a cabo, varias rondas de comentarios, hasta que finalmente el manuscrito se considere adecuado para su publicación.

## Proceso de revisión

En primer lugar, el Editor Jefe realiza una selección preliminar de los manuscritos sometidos, tomando en consideración la Misión de la RIC, los que no se adecuan serán rechazados.

Los artículos seleccionados se someten y se asignan a uno de los miembros del Comité Editorial de la RIC. Se envían a revisores invitados, los cuales enviarán sus comentarios de forma anónima a uno de los miembros del Comité Editorial, responsable por darle seguimiento al manuscrito designado.

El miembro del Comité Editorial, sintetizará los comentarios y observaciones emitidos por



Dr. Alexis Tejedor  
DIRECTOR

# RIC

REVISTA DE  
INICIACIÓN  
CIENTÍFICA

## MENSAJE DEL DIRECTOR

La RIC, – Revista de Iniciación Científica – *Journal of Undergraduate Research*, forma parte del Repositorio Institucional de Documentos Digitales de Acceso Abierto, como parte del proyecto UTP-Ridda, el cual tiene como objetivo fundamental permitir la visualización internacional de la producción científica y académica de la Universidad Tecnológica de Panamá, (UTP).

La RIC publica trabajos inéditos relacionados con la ciencia y la tecnología de modo general, focalizándose en temas desarrollados bajo diferentes modalidades académicas: trabajos de revisiones bibliográficas, trabajos presentados en eventos académicos nacionales o internacionales y finalmente, trabajos provenientes de las tesinas de término de grado. Se trata de una publicación semestral, cuyo objetivo fundamental es presentar diferentes enfoques que contribuyan con la producción de conocimientos científicos en la República de Panamá.

En el primer número del tercer volumen de la RIC, se publican 15 artículos, de ellos, 8 provienen de revisiones bibliográficas y 7, derivados de tesinas de licenciatura en ingeniería de diferentes unidades académicas de la UTP.

Al igual que con los números anteriores, la RIC se constituye en una de las primeras revistas, a nivel de Iberoamérica con las características y exigencias de las revistas científicas de calidad, en dar oportunidades para que estudiantes de licenciatura publiquen sus trabajos investigativos.

**FACULTAD DE  
INGENIERÍA CIVIL**

**FACULTAD DE  
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**FACULTAD DE  
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**FACULTAD DE  
INGENIERÍA MECÁNICA**

**FACULTAD DE  
INGENIERÍA DE SISTEMAS  
COMPUTACIONALES**

**FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**F. HIDRÓLISIS DE LA SACAROSA**

Coloque 3 ml. de la solución de sacarosa en un tubo de ensayo. Añada 10 gotas de agua destilada. Caliente durante unos 3 minutos en baño María, luego deje enfriar y neutralice con NaOH 10% hasta alcalinizar. Realice la prueba de Fehling o Benedict. Anote los resultados.



**RESULTADOS**

**TABLA**

Glúcidos	Fehling	Benedict
Glucosa		
sacarosa		
fructosa		
maltosa		
almidón		

**HIDRÓLISIS DE I**  
glúcidos  
sacarosa

Selivanoff

## CONTENIDO

- |    |   |   |
|----|---|---|
| 9  | <b>TRATAMIENTOS DE EFLUENTES INDUSTRIALES MEDIANTE BIOMASAS TROPICALES ACTIVADAS</b>  | Osvaldo Domínguez<br>Ernesto Gómez<br>Edwin Mendoza<br>Julio Vásquez<br>Yair Franco<br>Alexis Tejedor De León   |
| 14 | <b>VALORES UNIVERSITARIOS Y PROFESIONALES DE LOS ESTUDIANTES DE POSTGRADO DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ</b>                                 | Valeria Castillo<br>Jossue Aguilar<br>Roberto Robles<br>Carlos Sánchez<br>Yeltsin Ábrego<br>Libia Batista       |
| 21 | <b>ESTÁNDAR, SEGURIDAD, VULNERABILIDADES Y RIESGOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL HOGAR</b>   | Cindy Carrizo-Díaz<br>Miguel Vargas-Lombardo  |
| 27 | <b>EVALUACIÓN DE UN SISTEMA BIOFILTRO HUMEDAL DE REMOCIÓN DE NITRATO DE MATERIAL FIJO INERTE DE FLUJO VERTICAL ASCENDENTE A ESCALA DE LABORATORIO</b> | Elisa Alemendas<br>Kambip Chiari<br>Miguel Hernández<br>Christel Herrera<br>Edilberto Valdés<br>Erick Vallester |
| 36 | <b>IMPLEMENTACIÓN DE LAS TIC'S EN LA GESTIÓN DE INVENTARIO DENTRO DE LA CADENA DE SUMINISTRO</b>  | Katyhuska Becerra-González<br>Víctor Pedroza-Barreto<br>Julissa Pinilla-Wah<br>Miguel Vargas-Lombardo           |

- 50 **EVALUACIÓN DE UN SISTEMA BIOLÓGICO DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO**  
Jeanie Alpírez  
Karla Avilés  
Helena Castillo  
Ivana Pinzón  
Rosa Mary Poveda  
Erick Vallester
- 58 **EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA BARRERA ACTIVA, PARA REMOVER NITRATOS A ESCALA DE LABORATORIO**  
Ángel Aguilar  
Danelis Almendra  
Luis Carvajal  
Yara González  
Marianela Isaza  
Erick Vallester
- 65 **SOFTWARE Y MÉTODOS ÓPTICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PERFILES DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE DEPÓSITOS DE MATERIALES CLÁSTICOS**  
Melanie Amores  
Dialis Aguilar  
Jony Chung  
María González  
Ariel Peña  
Iván Pimentel  
Alexis Tejedor De León
- 70 **DESARROLLO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE EFICIENCIA Y AHORRO ENERGÉTICO PARA LAS INSTITUCIONES DEL SECTOR PÚBLICO**  
Anel Ruiz  
Edilberto Hall Mitre
- 77 **ANÁLISIS DE LOS PARADIGMAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL, PARA UN MODELO INTELIGENTE DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA**  
Mauricio Martínez  
Edgardo Santana  
Nicholas Beliz
- 85 **CRECIMIENTO DE LA MICROALGA *DUNALIELLA SALINA* EN UN CULTIVADOR RACEWAY EN CONDICIONES DE LABORATORIO**  
Cindy Mayorga  
Leopoldo Manso
- 92 **DIFERENCIA ENTRE LA EFICIENCIA DE ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE FILTROS BIOLÓGICOS A ESCALA DE LABORATORIO UTILIZANDO LECHOS CONVENCIONALES VERSUS EMPAQUES SINTÉTICOS**  
Amador Cárdenas  
Julio Mancilla  
Viccelda Domínguez
- 98 **INCORPORACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE REALIDAD AUMENTADA A UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO**  
Alex Feng  
Andrés García  
Kevin Torres  
Euclides Samaniego González

110

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
PROTOTIPO ROBÓTICO DE UN  
AUTOMÓVIL PARA TRANSPORTE  
PERSONAL Y ECONÓMICO CON LA  
TECNOLOGÍA ARDUINO**

Daniela Campo Jorge  
Miguel Sastre Vásquez  
Israel Gamas Faulkner  
Euclides Samaniego González

124

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
INTÉRPRETE DE LA EXPERIENCIA  
DEL CLIENTE EN TIEMPO REAL  
BAJO PLATAFORMAS ESCALABLES  
DE REDES NEURONALES Y  
APRENDIZAJE PROFUNDO**

Jaime Villar Ortega  
Euclides Samaniego González

# Tratamientos de efluentes industriales mediante biomásas tropicales activadas

## Treatment of industrial effluents by activated tropical biomass

Oswaldo Domínguez<sup>1</sup>; Ernesto Gómez<sup>1</sup>; Edwin Mendoza<sup>1</sup>; Julio Vásquez<sup>1</sup>;

Yair Franco<sup>1</sup> & Alexis Tejedor De León<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Mecánica Industrial – Centro Regional de Azuero – Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Departamento de Materiales y Metalurgia – Centro Regional de Veraguas – Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** Este proyecto consiste en utilizar la materia prima en este caso el coco de palma, que será transformado a carbón activo por medio del proceso de incineración. Obtenido este producto utilizaremos una bomba para suministrar el agua industrial que gracias al carbón activo que se obtuvo del coco de palma lograremos la filtración por medio de tres capas de carbón activo, para obtener el mejor rendimiento de nuestro carbón activado en el proceso de filtración con coco de palma.

**Palabras claves** Carbón activado, carbonización, filtración.

**Abstract** This section provides a sample of an abstract and keywords This project is to use the raw material in this case the coconut palm, which will be converted to activated carbon by the process of incineration. After retrieving this product we will use a pump to supply industrial water through the activated carbon obtained from coconut palm achieve filtration through three layers of activated carbon for the better performance of our activated carbon filtration process coconut palm.

**Keywords** Activated carbon, carbonization, filtration.

\* Corresponding author: alexis.tejedor@utp.ac.pa

## 1. Introducción

El arte de la filtración era ya conocido por el hombre primitivo que obtenía agua clara de un manantial turbio, haciendo un agujero en la arena de la orilla a profundidad, mayor que el nivel del agua. El agujero se llenaba de agua clara filtrada por la arena.

El mismo procedimiento, perfeccionado y a gran escala, ha sido usado durante más de cien años para clarificar el agua de las ciudades [1].

Sin embargo, cabe destacar que las aguas industriales no pueden ser tratadas de igual manera que las subterráneas, ya que estas fueron tratadas por la mano del hombre.

Lo anterior significa que se deben buscar nuevos métodos de filtración de aguas industriales, como es el de usar la cáscara de coco como carbón activo, para el tratamiento de aguas industriales [2].

### 1.1 Tecnología de la filtración

10

#### 1.1.1 Filtros de agua en base a la gravedad

Son los más antiguos y también los más sencillos; entre ellos, citaremos los filtros de lecho de arena, instalados en las plantas depuradoras de agua de las ciudades, que funcionan con un excelente rendimiento.

Están formados por tanques o cisternas que tienen en su parte inferior una rejilla o falso fondo sobre el que hay una capa de arena o grava de igual tamaño.

#### 1.1.2 Filtros de agua a base de presión o vacío

Son los más usados en la industria, con preferencia a los de gravedad. La fuerza impulsora es suplida por presión o vacío y es muchas veces mayor que la de la gravedad, lo que permite más altos rendimientos de filtración.

El tipo más común de filtros de presión es el filtro prensa, del que hay diferentes tipos.

Dispone de una elevada superficie filtrante en poco espacio, por lo que su eficacia es muy grande. De tal manera que industrialmente se disponen de los siguientes procesos:

**Prensa de cámaras:** formado por varias unidades de filtración (células, cámaras o placas), constituidas por placas cóncavas de superficie estriada, entre las que se coloca el elemento filtrante (paños de lana, seda, nilón, placas de amianto, papel de filtro, etc.).

Las unidades, que son todas iguales, se montan unas al lado de otras y se comprimen. Las primeras placas y últimas son distintas [3].

**Bastidores:** entre cada placa o cámara se coloca un nuevo elemento, consistente en un marco que hace de depósito del sedimento, con lo cual aumenta mucho la capacidad del filtro y permite filtrar líquidos con gran cantidad de impurezas.

Adicionalmente se pueden filtrar, mediante este proceso, líquidos turbios añadidos de sustancias pulverulentas coadyuvantes de la filtración (carbón, por ejemplo). El elemento filtrante se coloca entre las placas y los marcos.

#### 1.1.3 Filtración con tierra de diatomeas

La operación y el mantenimiento de las tierras diatomeas requiere: preparar suspensiones de alimentación para el cuerpo del filtro (tierra de diatomeas) y tierra de diatomeas con recubrimientos; ajustar las dosis de alimentación para un efectivo retiro de la turbiedad; retrolavar los filtros cada 1 o 4 días; deshacerse del producto de filtración gastado; inspeccionar periódicamente la suciedad y el deterioro del tabique del filtro; y verificar la calidad del efluente [4].

#### 1.1.4 Filtración directa

La filtración directa consiste en varias combinaciones de procesos de tratamientos. Siempre incluye coagulación y filtración, y puede requerir un tanque de floculación o un recipiente a presión después de la adición de la coagulación.

Por lo anteriormente expuesto, el siguiente proyecto tiene como finalidad diseñar, construir y operacionalizar un sistema para el tratamiento de aguas residuales sintéticas mediante la utilización de biomasa activadas, como material filtrante.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Inversor

En este proyecto con la ayuda de un inversor creado en clase, nos transformará el voltaje de 120V a 12V, que nos servirá para el funcionamiento de la bomba. En la figura 1 se presenta una imagen del tipo de inversor utilizado.

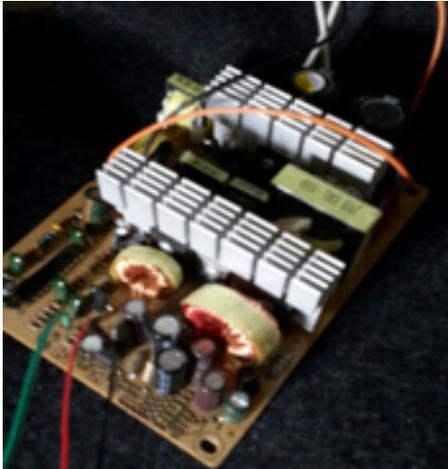


Figura 1. Inversor de corriente.

### 2.2 Reservorio de agua residual

Este almacenará el agua sin filtrar, el mismo contendrá la bomba que será capaz de conducir el agua residual por el proceso de filtración.

### 2.3 Bomba sumergible

Este componente estará en un depósito donde succionará el agua industrial o contaminada que será enviada a las distintas fases del proyecto.

### 2.4 Tuberías

Este componente es de  $\frac{3}{4}$ " PVC, que ayuda a conducir el agua contaminada a las distintas etapas del proyecto.

### 2.5 Tubos acrílicos de $\frac{3}{4}$ "

Este elemento tiene la finalidad de retener el carbón activado y al ser transparente, permitir ver el proceso de filtración.

En la figura 2 se presenta una imagen con la bomba sumergible, las tuberías y el reservorio para el efluente.



Figura 2. Bomba y reservorio de agua residual.

### 2.6 Válvulas de muestreo

Nos permite obtener muestras al inicio y al final del proceso de filtración.

### 2.7 Reservorio de producto final

En este se almacenará el agua residual ya filtrada y apta para ser reutilizada en otros procesos (Sistema de aguas fluviales). En la figura 3 se presentan dos imágenes del prototipo de unidad de tratamiento de aguas construido, la parte frontal y posterior.

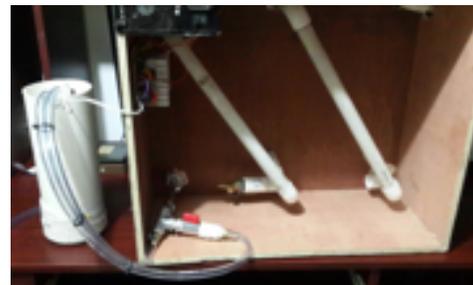


Figura 3. Prototipo construido (a) parte posterior y (b) parte frontal.

## 2.8 Procedimiento

### 2.8.1 Obtención de la nuez del coco

Cocos secos obtenidos de palmeras de la región de Azuero (Panamá). Manualmente se le separa la nuez de la cáscara, mediante el uso de una herramienta punzo cortante.

### 2.8.2 Carbonización

Teniendo la nuez de coco, se procede a colocar en una parrilla. Mediante el uso de un mechero se procede a su combustión, hasta que la nuez quede totalmente incinerada.

### 2.8.3 Activación

Inmediatamente terminado el procedimiento de carbonización, se procede a aplicar agua en forma atomizada (spray), hasta que todo el carbón incinerado quede totalmente mojado y a temperatura ambiente.

### 2.8.4 Extracción del carbón activación

Es el proceso de recoger todo el carbón activado producido para luego ser utilizado en el prototipo para el filtrado de aguas residuales.

### 2.8.5 Determinación del área superficial de carbón activado

En el procedimiento de determinación del área de absorción del carbón activado, se hicieron los siguientes pasos:

En primer lugar, se procedió al pesado del carbón activado seco y posteriormente su peso impregnado con azul de metileno. En función de la cantidad de azul de metileno adsorbido y tomando en consideración su peso molecular y el tamaño de su molécula, se procedió al cálculo del área superficial del azul de metileno sobre la superficie del carbón activado adherida.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Área superficial

Para el cálculo del área superficial de carbón activado obtenido por la activación de la nuez del coco, se utilizaron relaciones matemáticas y los datos que aparecen en la tabla a continuación.

**Tabla 1.** Datos utilizados para el cálculo del área superficial del carbón activado

Parámetro	Valor
Peso del carbón activado	3.7453g
Peso de carbón activado + azul de metileno	4.30g
Cantidad adsorbida de azul de metileno	0.5547g
Peso molecular del azul de metileno	319.85g
Número de Avogadro	6.023x10 <sup>23</sup>
Área proyectada de una molécula de azul de metileno	1.3x10 <sup>-18</sup> m <sup>2</sup>
Cantidad de moléculas adsorbidas de azul de metileno	1.044x10 <sup>21</sup>
Cálculo del área de las moléculas de azul de metileno sobre la superficie del carbón activado.	1357.9m <sup>2</sup>

### 3.2 Tratamiento de efluentes

Se tomaron 1.5 Kg de cocos enteros y se procedió a pelarlos según el método descrito anteriormente; se le extrajo la nuez de coco, que luego del proceso de carbonización y activación dio como resultado un total de 85g de carbón activado.

Los ensayos de filtración se hicieron con 1Kg de carbón activado; siendo capaz de filtrar un volumen de 2.45L de agua residual.

## 4. Conclusiones

Después del trabajo anterior se puede concluir:

El carbón activado representa una alternativa fácil y económica para el filtrado de aguas residuales.

La confección de un sistema de filtrado, según el prototipo diseñado se puede llevar fácilmente a grandes escalas, con la obtención de resultados satisfactorios.

- La materia prima utilizada en este proyecto es fácil obtención en nuestro país y eso facilitaría la confección de sistema de filtrado a grandes escalas.
- Este trabajo nos brinda una buena alternativa a la problemática que existe hoy día con respecto al manejo de aguas residuales, específicamente a aguas procedentes de planta de sacrificio de animales.

**REFERENCIAS**

- [1] Vigiak, O., Ribolzi, O., Pierret, A., Valentin, C., Sengtaheuanghoung, O., & Noble, A. (2007). Filtrado de los agentes contaminantes del agua por la vegetación ribereña: comparación del bambú con las pasturas nativas y el arroz en una cuenca en la República Democrática Popular Lao. *Unasyuva*, 58, 11-16.
- [2] Garcés Giraldo, L. F., Franco, M., Alejandro, E., & Santamaría Arango, J. J. (2004). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales.
- [3] Cruz, J. P., Cabrera, J., Rojas, S., Agreda, J., Arteaga, S., & Espina, M. (2013). Efecto combinado de filtración por placas y centrifugación en la absorbancia aplicado a la clarificación de chicha de jora. *Agroindustrial Science*, 3(1), 59-63.
- [4] Sosa, G. L., & Zalts, A. (2012). Adsorción de colorantes sobre tierra de diatomeas. Un trabajo de laboratorio con enfoque ambiental. *Educación Química*, 23(4), 492-497.

# Valores universitarios y profesionales de los estudiantes de postgrado de la Universidad Tecnológica de Panamá

## University and professional values of graduate students of the Technological University of Panama

Valeria Castillo<sup>1</sup>; Jossue Aguilar<sup>1</sup>; Roberto Robles<sup>1</sup>; Carlos Sánchez<sup>1</sup>;

Yeltsin Ábrego<sup>1</sup> & Libia Batista<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería Industrial - Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Departamento de Recursos Humanos - Facultad de Ingeniería Industrial - Universidad Tecnológica de Panamá

14

**Resumen** Este artículo explora las relaciones de los valores en un ámbito universitario y profesional, una de las funciones esenciales de la universidad es la capacitación profesional. El ejercicio correcto de una profesión requiere no solo el dominio de competencias técnicas, sino también el desarrollo de valores éticos. El campo de interés está centrado dentro de la educación superior, se ha retomado la inclusión de valores en la formación, y junto a los conocimientos y habilidades, conforman la llamada formación integral. El objetivo de esta investigación fue determinar los valores universitarios y profesionales de los estudiantes de postgrado de la Universidad Tecnológica de Panamá. Con un enfoque cuantitativo, se realizó un estudio descriptivo, a través de una encuesta de respuesta abierta y cerrada basadas en preguntas que determinan qué valor aplican como estudiantes y profesionales.

**Palabras claves** Valores universitarios, valores profesionales, conducta, profesionalismo, ámbito.

**Abstract** This article explores the relationships of values in a university and professional setting, one of the essential functions of the university is professional training. The correct exercise of a profession requires not only mastery of technical skills, but also the development of ethical values. The field of interest is centered within the higher education has included the inclusion of values in training, and together with knowledge and skills, make up the so-called integral training. The objective of this research was to determine the university and professional values of postgraduate students of the Technological University of Panama. With a quantitative approach, a descriptive study was conducted through an open and closed response survey based on questions that determine what value they apply as students and professionals.

**Keywords** University values, professional values, conduct, professionalism, ambit.

\* Corresponding author: libia.batista@utp.ac.pa

## 1. Introducción

Los valores, se conciben como guía o patrones de comportamiento, orientan los modos particulares de ser y vivir, humanizan y forman el criterio de juicio, preferencia y elección para la acción.

En un momento como el actual, en el que los sistemas universitarios están siendo sometidos a profundos cambios, y puesto que entre las funciones de la educación superior se encuentra la capacitación para el ejercicio de actividades profesionales, es ineludible revisar los aspectos de la formación profesional y las competencias para la empleabilidad.

En este artículo se defiende la necesidad de valores éticos, y se considera que un modelo exclusivamente intelectual y tecnicista resulta limitado para un desempeño laboral que sea fuente de crecimiento personal, de satisfacción para las empresas y de progreso social; ambos imprescindibles, pero insuficientes desde un punto de vista humanizado.

## 2. Metodología

Esta investigación busca encontrar tendencias sobre los valores universitarios y profesionales que los estudiantes de postgrado tienen basados en los conceptos que han aprendido a lo largo de su vida, mediante la aplicación de una encuesta.

Dentro de los retos que se pueden generar en el proceso de investigación, está la disposición que tengan los estudiantes de postgrado a realizar la encuesta; además del sesgo ocasionado por la falta de objetividad al momento de responder la misma.

Otro reto que se puede generar es la disponibilidad de tiempo tanto para realizar la investigación como por parte de los encuestados para responder el formulario.

### 2.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva, ya que busca la recolección e identificación de información. Además, busca detectar tendencias basados en los datos obtenidos a lo largo del proceso de recolección de información de la muestra.

## 2.2 Muestreo

La población a analizar son los estudiantes de postgrado y maestría que, estén realizando sus estudios en el campus universitario Víctor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), último cuatrimestre 2016.

### 2.1.1 Técnicas de muestreo

Por cuestiones de tiempo y disponibilidad de los posibles sujetos de muestra, se utiliza un muestreo no probabilístico por juicio, ya que este ofrece las ventajas de ser económico, conveniente y rápido; además que puede llegar a ser útil al no requerir inferencias amplias de la población, dado que esta es bastante pequeña (de menos de 300 estudiantes), sumado que se adapta al tipo de variables cualitativas que están en estudio.

### 2.1.2. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra es de 80 estudiantes. Al hacer los cálculos de la conveniencia de este tamaño de muestra, dado que no se posee el valor exacto de la población de estudiantes matriculados en postgrado y maestría se obtuvo que, con un nivel de confianza del 90%, el error muestral era de 9,20% (1); lo cual es aceptable en términos estadísticos.

Este error muestral se calculó en base a la fórmula estadística del tamaño muestral  $n$ , para una variable cualitativa cuyo comportamiento se desconoce

$$e = \sqrt{\frac{Z^2 pq}{n}} \quad (1)$$

Donde;

$e$  = error muestral

$Z$  = nivel de confianza

$q$  = probabilidad de fracaso

$n$  = tamaño de la muestra

Para un nivel de confianza del 90% se utiliza una  $Z = 1.645$  y se asume una  $p$  y  $q$  de 50%, ya que no se cuenta con ninguna información sobre que esperar, la opción más prudente sería

usar el peor caso: la población se distribuye a partes iguales

$$e = \sqrt{\frac{(1.645)^2 \times 0.5 \times 0.5}{80}} \tag{2}$$

Y de esta forma obtenemos que el error muestral para nuestra investigación

$$e = 0.09196 \approx 9.20\%$$

### 2.1.3 Técnica para la recolección de información

La técnica de recolección de información es una encuesta descriptiva estructurada, el cual consta con tres secciones (Información General, Ética Universitaria y Ética Profesional) con total de 22 preguntas (dos preguntas abiertas y 20 preguntas cerradas).

## 3. Resultados y análisis

Algunas de las características generales de la muestra más significativas que se hallaron estuvo que el 60.00% de las personas encuestadas tenían edades que oscilaban entre 24 y 28 años.

También, se obtuvo que el 70.00% de los estudiantes encuestados obtuvieron su diploma de pregrado en la UTP y que un 28.75% no lo obtuvo en la UTP.

Se realizó un sondeo para evaluar el conocimiento de los estudiantes sobre qué es ética, en la cual se les presentaron 3 diferentes definiciones y debían escoger la más acertada:

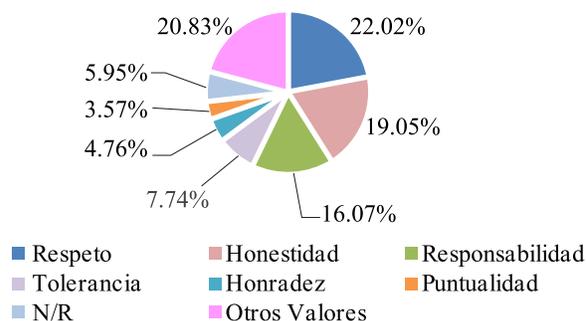
- Opción A: Conjunto de normas morales que rigen la conducta de la persona en cualquier ámbito de la vida. [1]
- Opción B: Es el conjunto de normas que definen el comportamiento de una persona, pero del interior de ella, no impuesta.
- Opción C: Rama de la Filosofía que se ocupa del actuar del hombre individual o como sociedad [2].

Estos resultados se evaluaron desde dos puntos de vista: el de los estudiantes que obtuvieron su diploma de pregrado en la UTP y en los que no.

Según resultados, la mayoría de los encuestados escogieron la Opción A, que representa la definición encontrada en el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, la cual consideran es más completa y la define desde un punto de vista mucho más humano.

### 3.1 Valores universitarios y profesionales de los Estudiantes de Postgrado y Maestría

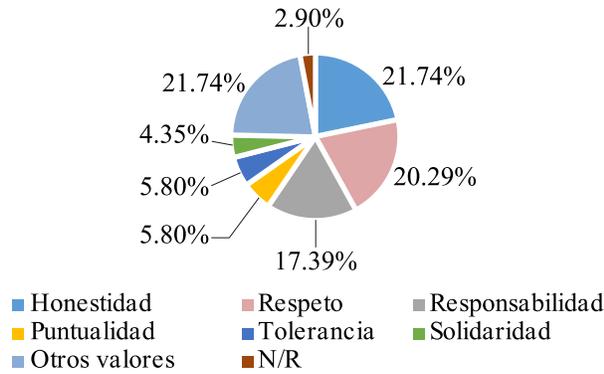
Después de solicitarle a los participantes que mencionaran los 3 valores más importantes para la vida universitaria, se extrajeron los 6 valores universitarios más citados por aquellos estudiantes que obtuvieron su título de pregrado en la Universidad Tecnológica de Panamá (véase figura 1), siendo el respeto el valor más seleccionado con un 22.02%, la honestidad con un 19.05%, la responsabilidad con un 16.07%, la tolerancia con un 7.74%, la honradez con un 4.76% y la puntualidad con un 3.57%. Un 20.83% mencionaron otros valores como: cortesía, perseverancia, sinceridad, lealtad, otros.



**Figura 1.** Valores universitarios, mencionados por estudiantes que obtuvieron su título de pregrado en la UTP. Nota: N/R = No respondió.

Para el grupo de estudiantes que NO obtuvieron su título de pregrado en la Universidad Tecnológica de Panamá, véase figura 2.

Para este grupo, el valor universitario más elegido fue la honestidad con un 21.74%, el respeto con un 20.29%, la responsabilidad con un 17.39%, la puntualidad y tolerancia, ambos, con un 5.80% y la solidaridad con un 4.35%. Un 21.74% mencionaron otros valores como: la colaboración, la perseverancia, cooperación, compañerismo, verdad, etc.

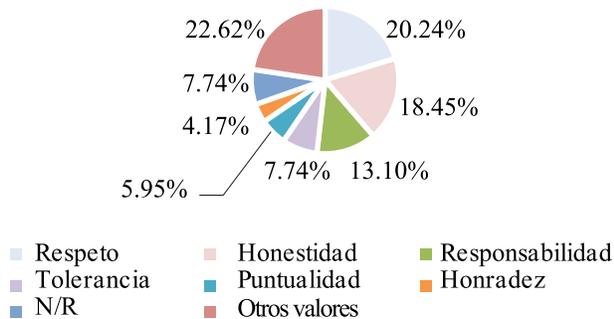


**Figura 2.** Valores universitarios, mencionados por estudiantes que NO obtuvieron su título de pregrado en la UTP. Nota: N/R = No respondió.

En ambos grupos se notó la concordancia en valores como el respeto, la honestidad, responsabilidad, tolerancia y puntualidad. Esto nos lleva a concluir que existe cierta correspondencia entre las expectativas de valores que todo estudiante al nivel de postgrado y maestría debe tener para llevar a cabo sus obligaciones dentro de las aulas de clases, principalmente valores que son claves para trabajos en equipo e individuales y cumplir las expectativas profesionales inherentes de cada uno.

Conocidos los 3 valores que para el grupo de estudiantes encuestados eran los más representativos a nivel universitario, se les solicitó mencionaran los 6 valores a nivel profesional más preponderantes.

Para aquellos estudiantes que obtuvieron su título de pregrado en la Universidad Tecnológica de Panamá (véase figura 3).

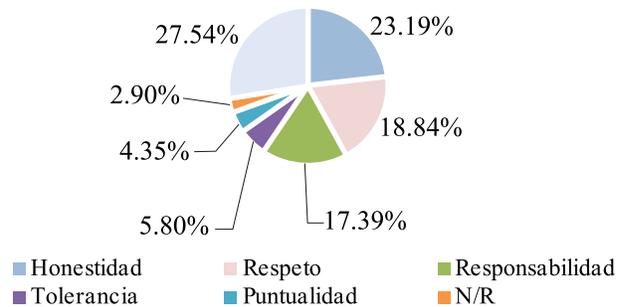


**Figura 3.** Porcentajes de valores profesionales mencionados por aquellos estudiantes que obtuvieron su título de pregrado en la UTP.

Se concluye que el respeto es el valor más destacado con un 20.24%, la honestidad con un 18.45%, la responsabilidad con un 13.10%, la tolerancia con un 7.74%, la puntualidad con un 5.95% y por último la honradez con un 4.17%. Un 22.62% mencionaron otros valores como: lealtad, trabajo en equipo, solidaridad, amor, compañerismo, otros.

Este mismo ejercicio con aquellos estudiantes que NO obtuvieron su título de pregrado en la Universidad Tecnológica de Panamá (Véase figura 4), arrojó que el valor profesional más sobresaliente es la honestidad con un 23.19%, el respeto con un 18.84%, la responsabilidad con un 17.39%, la tolerancia con un 5.80% y por último la puntualidad con un 4.35%. Un 27.54% mencionaron otros valores como: la empatía, cooperación, sinceridad, trabajo en equipo, compañerismo, etc.

Es importante destacar que hicieron también mención de conceptos como: sentido de pertenencia, responsabilidad ambiental y profesionalismo.



**Figura 4.** Porcentajes de valores profesionales mencionados por aquellos estudiantes que NO obtuvieron su título de pregrado en la UTP.

La UTP tiene como organización, una serie de valores que son el compromiso social, la transparencia, la excelencia, la pertinencia y la equidad.

En ninguno de los casos evaluados se vio que los estudiantes mencionaran algunos de estos valores como partes de los valores que deben practicar diariamente, ya sea en su vida universitaria o como profesional. Sobre lo cual se puede concluir que exista una deficiencia en

la comunicación efectiva de estos valores en su estudiantado; independientemente en qué nivel académico se encuentre este.

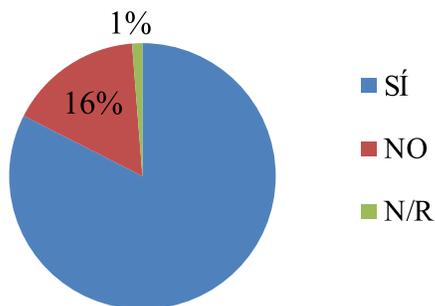
Percepción sobre la práctica de los valores universitarios y profesionales.

### 3.2 Percepción sobre la práctica de los valores universitarios y profesionales

Primero se hizo la consulta sobre la importancia de la práctica de estos valores en su vida universitaria.

Al respecto, todos los encuestados contestaron que la práctica de los valores, sí es importante en su vida universitaria.

Después se consultó a estos mismos estudiantes, si consideraban que sus compañeros practicaban los valores en la universidad (véase figura 5).



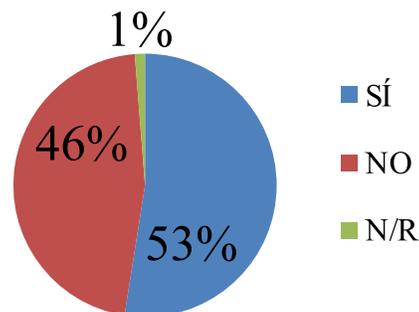
**Figura 5.** Porcentajes de valores profesionales mencionados por aquellos estudiantes que NO obtuvieron su título de pregrado en la UTP.

Se observa en los resultados de las encuestas, que los estudiantes de postgrado y maestría, consideran importante la práctica de los valores en el claustro universitario, pero a pesar de todo, no opinan de la misma manera cuando se analizan los resultados sobre si consideran que sus compañeros practican los valores en la universidad. Se aprecia que, un 83% SÍ considera que los practican, pero existe un 16% que por algún motivo sus compañeros no incorporan la buena práctica de los valores en la universidad; un 1% no respondió.

Este ejercicio, también, se realizó, pero el enfoque en la práctica de los valores en el ámbito profesional y el 100% respondió que SÍ es importante su práctica.

Luego se les preguntó si consideraban que en las carreras, los profesionales no ponen en práctica

estos valores. La figura 6 presenta los resultados obtenidos.



**Figura 6.** Porcentaje de estudiantes que consideran la NO práctica de los valores por parte de los profesionales en sus carreras.

Al analizar los resultados a nivel profesional, se desprende que todos consideran importante la práctica de los valores, pero existe un cambio a la hora de ponerlos en práctica. Sobre los resultados, se aprecia la menos práctica de los valores en el ejercicio profesional que a nivel estudiantil.

### 3.3 Valores universitarios y profesionales: de la idea a la realidad

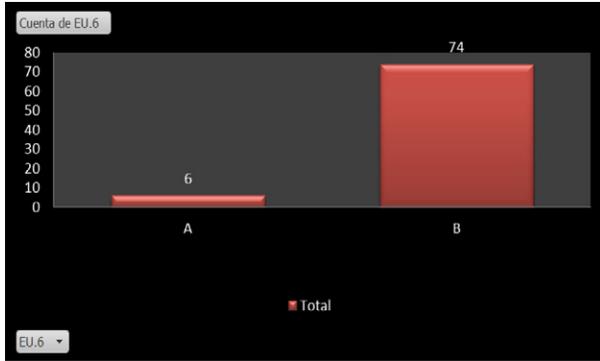
Para este análisis, se comparó el conjunto de valores más mencionados por los estudiantes encuestados y se realizó la correlación con sus respuestas a diferentes situaciones que se pueden presentar en el ámbito universitario o en el profesional.

#### 3.3.1 Valores universitarios: de la idea a la realidad

En base a los valores más destacados por los estudiantes encuestados, a nivel general (honestidad, respeto y puntualidad), se desarrolló una serie de preguntas para analizar la correlación de lo teórico y la práctica.

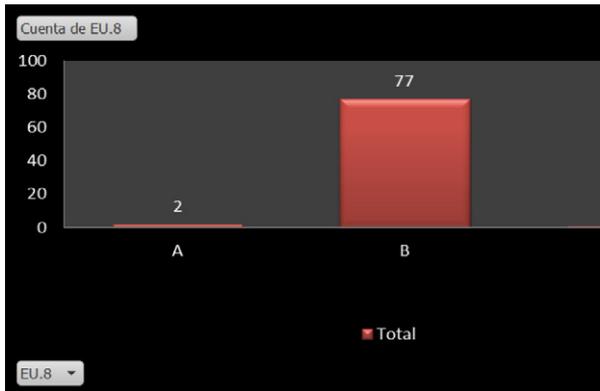
A continuación, los resultados de las opiniones a diferentes temas por parte de la muestra bajo estudio, a comportamientos que ponen entre dicho un comportamiento ético:

a. ¿Está de acuerdo con dar un obsequio o dinero para agilizar un trámite universitario? (véase figura 7).



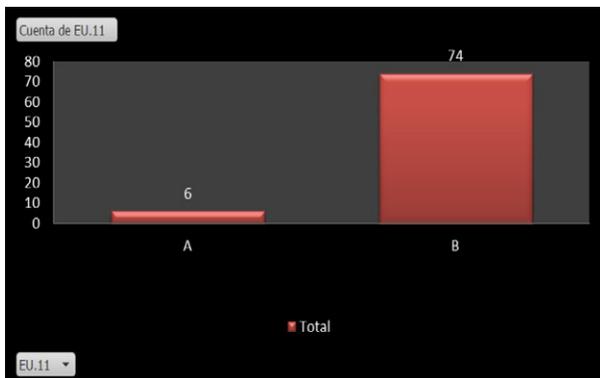
**Figura 7.** ¿Está de acuerdo con dar un obsequio o dinero para agilizar un trámite universitario? A = SÍ (7.5%), B = NO (92.5%).

b. ¿Está de acuerdo en mentirle a un profesor por conveniencia? (Véase figura 8).



**Figura 8.** ¿Está de acuerdo en mentirle a un profesor por conveniencia? A = SÍ (20%), B = NO (80%).

c. ¿Estaría dispuesto hacer plagio en trabajos o tareas de un compañero? (Véase figura 9).



**Figura 9.** ¿Estaría dispuesto hacer plagio en trabajos o tareas de un compañero? A = SÍ (7.5%), B = NO (92.5%).

Más allá de conocer solamente la consideración de aquellos valores que los estudiantes puedan tener como ideales para un adecuado desenvolvimiento dentro de la universidad, se buscó conocer si la práctica de ellos está implícita en sus creencias.

Los resultados mostrados en las gráficas se revelan muy alentadores, ya que en su mayor porcentaje, los estudiantes dan cara al cumplimiento de estos valores que consideraron como pilares para su estancia dentro de la universidad.

Es muy bueno ver que toda la muestra responda un total NO, a situaciones de hurto.

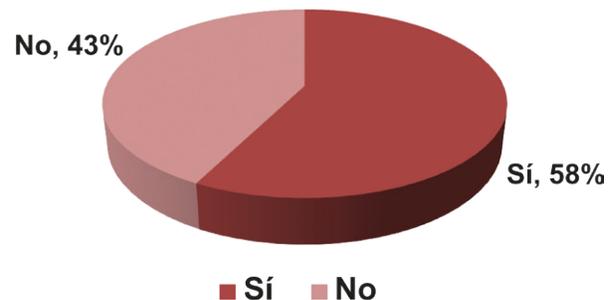
Sin embargo, a situaciones que podrían considerarse menos agravantes ante la sociedad como el mentirle a un profesor por conveniencia o hacer plagio de algún trabajo de un compañero, se tiene una pequeña parte de muestra de estudio que considera que lo pondría en práctica si ameritara el momento.

Estas acciones por pequeñas que sean, siempre, a la larga pueden incurrir en la propia forma de ser del estudiante de crear una persona que no respete las normas del buen comportamiento, perjudicando a otros.

### 3.3.2 Valores profesionales: de la idea a la realidad

Al analizar los datos obtenidos en la encuesta, se pudo conocer que los valores que las personas consideran son los más importantes en la vida profesional son: el respeto, la honestidad, la responsabilidad, la tolerancia y la puntualidad.

También se realizó un sondeo sobre si alguna vez, el encuestado, se ha visto involucrado en alguna situación donde haya falta de valores profesionales. (Véase figura 10).



**Figura 10.** Porcentajes de encuestados que se han visto involucrados en alguna situación donde haya falta de valores profesionales.

A continuación se presentan otros resultados relacionados a comportamientos que pueden hacer falta en cuanto a un comportamiento ético:

a. ¿Está de acuerdo con aceptar dinero o regalos a cambio de favores ilegales?

A = Totalmente de acuerdo (0).

B = Ni de acuerdo, ni en desacuerdo (7).

C = Totalmente en desacuerdo (73).

La respuesta obtenida a esta pregunta, ratifica los resultados anteriores sobre que el valor más representativo para los encuestados es la honestidad.

Ninguna persona está de acuerdo con aceptar dinero o regalos a cambio de favores ilegales, aunque un 8.75% de los encuestados no están de acuerdo ni en desacuerdo, ya que no se han visto envueltos en una situación parecida y un contundente 91.25% que está en desacuerdo por ser un acto muy deshonesto.

b. ¿Está de acuerdo en dar algo de dinero para que le perdonen una multa?

A = Totalmente de acuerdo (1).

B = Ni de acuerdo, ni en desacuerdo (21).

C = Totalmente en desacuerdo (58).

Según los análisis, el 1% de los encuestados están de acuerdo en dar dinero para que le perdonen una multa, el 26% no están a favor y tampoco están en contra y un 73% prefiere ser multado.

c. ¿Está de acuerdo en no denunciar a un colega que ha cometido una falta?

A = Totalmente de acuerdo (19).

B = Ni de acuerdo, ni en desacuerdo (40).

C = Totalmente en desacuerdo (21).

Para nuestros encuestados la honestidad es un valor prioritario en su vida laboral, pero al interpretar la gráfica podemos observar que el 24% está de acuerdo en no ejercer este valor ante una situación como la de denunciar a un colega que ha cometido una falta, el 50% no está ni a favor ni en contra de denunciar a su colega y un 26% sí denunciaría a su colega ante una situación como esta.

d. ¿Está de acuerdo con llenar documentos con datos falsos por conveniencia?

A = Totalmente de acuerdo (0).

B = Ni de acuerdo, ni en desacuerdo (9).

C = Totalmente en desacuerdo (71).

Se aprecia que los valores juegan un papel importante en la vida laboral como por ejemplo la honestidad y la responsabilidad y al interpretar esta gráfica se observa que el 89% de las personas no serían capaces de llenar documentos con datos falsos, debido a que es un acto muy deshonesto y un 11% no está a favor ni en contra de ejercer esta práctica.

## Recomendaciones

- Implementar en los estudiantes de postgrado un sistema educativo orientado a ser profesionales con valores, más que profesionales eficaces.
- Crear actividades que resalten la importancia de los valores en la vida universitaria y en su carrera como profesional.
- Mantener y mejorar aún más el ambiente armónico que existe en la institución donde se resalte la práctica de buenos valores entre estudiantes de postgrado y profesores.
- Aplicar y construir una imagen íntegra y profesional con los valores practicados durante su estudio de pregrado o postgrado.
- Transmitir los buenos hábitos utilizados en el área de estudio, en sus distintos lugares de cotidianos.
- Se recomienda respetar el derecho de autor en las investigaciones y asignaciones.
- Ser transparente ante una situación que pueda influir su ética profesional.
- Realizar campañas de valores para los estudiantes de pregrado próximos a tomar maestrías.
- Inducción sobre la ética para aquellos primeros ingresos de postgrado y maestría.

## REFERENCIAS

- [1] Disponible en Línea: <http://dle.rae.es/?id=H3y8IjjH3yay0R>.
- [2] Zacarías Torres H., Introducción a la Ética, Capítulo 1, Introducción a la Ética, Primera Edición EBOOK, México D.F., México, 2014.

# Estándar, seguridad, vulnerabilidades y riesgos para la automatización del hogar

## Standard, safety, vulnerabilities and risks for home automation

Cindy Carrizo-Díaz<sup>1</sup> & Miguel Vargas-Lombardo<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería de Sistemas y Computación – Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales  
– Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>CIDITIC-GISES – Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** Este artículo busca ampliar conocimientos sobre las vulnerabilidades y riesgos que trae consigo la automatización del hogar. Para lograr este objetivo, se analizaron diferentes elementos del estándar ZigBee: el funcionamiento de ZigBee como estándar de comunicación, la topología de red, la seguridad en el estándar (llaves criptográficas y manejo de las llaves), algunas de las vulnerabilidades que pueden ser encontradas en cada una de las capas del estándar, así como vulnerabilidades específicas propias del estándar.

**Palabras claves** Automatización, seguridad, riesgos, vulnerabilidades, ZigBee.

**Abstract** This article seeks to expand knowledge about the vulnerabilities and risks that comes with home automation. To achieve this goal, we analyzed different elements of the ZigBee standard: the ZigBee operation as communication standard, network topology, security in the standard (cryptographic keys and key management), some of the vulnerabilities that can be found In each of the layers of the standard, as well as specific vulnerabilities specific to the standard.

**Keywords** Automation, security, risks, vulnerabilities, ZigBee.

\* Corresponding author: miguel.vargas@utp.ac.pa

## 1. Introducción

Es importante mencionar que la proliferación de las comunicaciones inalámbricas y tecnologías de la información actual han alterado el estilo de vida y las interacciones sociales de los seres humanos [2].

Esta alteración se puede considerar tanto de manera positiva como negativa. Lo que nos lleva a destacar que la Tecnología trae consigo muchos beneficios, pero es importante conocer también que existen ciertos riesgos y vulnerabilidades a las que estamos expuestos si no manejamos adecuadamente la seguridad, sobre todo en dispositivos inteligentes relacionados con la automatización del hogar.

En muchas ocasiones, las implementaciones de comunicaciones en el hogar son normalmente de bajo costo y generalmente sin supervisión, lo que puede exponernos a una serie de ataques potenciales. Estos podrían ser ataques físicos, credenciales comprometidas, ataques de configuración o ataques a la red del hogar [3].

Esta investigación se agrupa en 5 secciones, en la sección 2 se realiza una breve descripción de los hogares inteligentes, seguidamente se presenta el estándar Zigbee caracterizado a los hogares inteligentes, luego se presentan las vulnerabilidades encontradas en el estándar mencionado anteriormente y finalmente, las conclusiones de esta investigación.

## 2. Hogares inteligentes

Un concepto que surgió desde el año 2004 es el de hogares inteligentes.

La definición de este término demuestra que los seres humanos nos adaptamos cada día más rápido al cambio y al ritmo de la tecnología [4].

Los hogares inteligentes se pueden definir como la introducción de la tecnología en el hogar para mejorar la calidad de vida de sus ocupantes, a través de la prestación de diferentes servicios, tales como la tele-salud, entretenimiento multimedia y la conservación de energía.

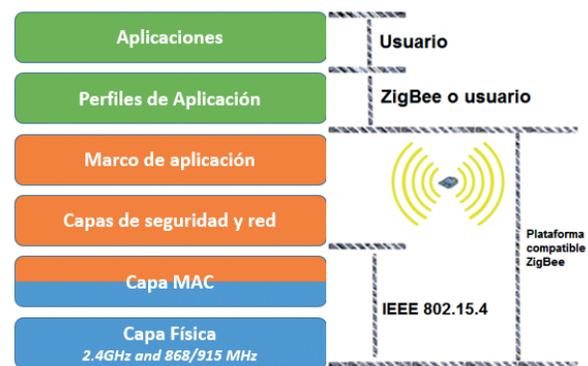
Para la realización de esta automatización, se define el estándar ZigBee. A continuación, se definen algunas características de este estándar.

## 3. ZigBee como estándar de comunicación

ZigBee es un estándar de comunicación inalámbrica, establecido por casi 200 compañías de gran renombre, con el objetivo de unificar tecnologías que permitan entre otras cosas la automatización del hogar. ZigBee fue construido bajo la norma estándar IEEE 802.15.4.

Los campos principales para los que se aplica este estándar son: control remoto, dispositivos de entrada, automatización de edificios, cuidado de la salud, servicios de telecomunicaciones, energía inteligente y automatización del hogar [5].

El estándar ZigBee está compuesto por 4 capas [6]: capa física (PHY), capa de control de acceso medio (MAC), capa de red (NWK), capa de aplicación (APL). La figura 1, muestra la división de las capas de este estándar.



**Figura 1.** División de las capas del estándar ZigBee [1].

Como se muestra en la figura 1, el estándar IEEE 802.15.4, se utiliza para las dos capas más bajas, la capa física (PHY) y la capa de control de acceso al medio (MAC). Las otras dos capas se definen propiamente por el protocolo ZigBee. Es importante destacar que desde una perspectiva de seguridad, la capa de red y la capa de aplicación son las de más alta relevancia [7].

Para una mejor comprensión del estándar, es importante describir el funcionamiento de las redes en las que se aplica este estándar y su topología de red.

### 3.1 Tipología de red utilizada por ZigBee

ZigBee permite 3 tipos de topologías de

red: malla, estrella o árbol. La automatización del hogar generalmente se desarrolla bajo la topología de malla, por tal motivo, a continuación, se explica con más detalle el funcionamiento de esta topología de red [6]:

Los fundamentos de esta topología de red se basan en que cada dispositivo se comunica con otro dispositivo dentro de la red a través de caminos de comunicación separados [7].

### 3.1.1 Roles de los nodos

Como se muestra en la figura 3, según su disposición, los nodos dentro de la red ZigBee, pueden asumir 3 roles o responsabilidades distintas [6]:

**Coordinador:** este rol tiene la responsabilidad, distribuir el tráfico a través de la red. Esto requiere que el nodo tenga suficiente memoria y gran capacidad de comunicación, debido a que actúa como centro de confianza.

Este centro de confianza representa para el resto de dispositivos, el origen de confianza encargado de realizar la distribución de las claves de seguridad utilizadas en el cifrado de las comunicaciones [7].

**Router o enrutador:** tiene como tarea, gestionar las rutas de comunicación que existen entre los dispositivos de la red. En una red ZigBee, puede existir más de un router o enrutador.

**Dispositivo final:** se les llama a aquellos dispositivos que actúan únicamente como dispositivos finales, los cuales pueden comunicarse con un nodo padre (coordinador o router).

A continuación, se profundiza un poco en el modelo de seguridad que maneja ZigBee.

## 3.2 Modelo de seguridad en el estándar ZigBee

ZigBee fue construido bajo la norma estándar IEEE 802.15.4. Por lo tanto, implementa también su modelo de seguridad. Este modelo proporciona en su diseño tres mecanismos de seguridad muy importantes [8]:

Mecanismo de control de acceso de los dispositivos a la red (autenticación).

Mecanismo de cifrado de la información (utilizando criptografía de clave simétrica, específicamente AES).

Mecanismo de integridad, para asegurar la integridad del mensaje, esto verificando que las tramas transmitidas no han sufrido manipulación (MIC).

A continuación, se describen las llaves criptográficas que utiliza el estándar.

### 3.2.1 Llaves criptográficas

Existen 3 tipos de llaves criptográficas utilizadas por el estándar ZigBee, como se muestra a continuación [7]:

**Llave maestra:** es la llave a través de la cual se generan diferentes llaves de enlace para que otros dispositivos se conecten a la red. Por su alta importancia, se debe tener en cuenta que la misma debe obtenerse por medios seguros (preinstalación o transporte. Más adelante, se definen se definen estos términos).

**Llave de enlace:** es la llave encargada de cifrar las comunicaciones punto a punto a nivel de aplicación. Parte importante de esta llave es que sólo es conocida por los dispositivos que participan en dicho enlace, y varía para cada pareja de dispositivos. La idea de esta llave, es minimizar los riesgos de seguridad que se relacionen con la distribución de la llave maestra.

**Llave de red:** esta llave, a diferencia de las otras dos, es utilizada a nivel de red y conocida por todos los elementos pertenecientes a la red [6].

### 3.2.2 Gestión y manejo de las llaves criptográficas

Los mecanismos para la gestión y manejo de las llaves criptográficas son los siguientes:

**Preinstalación:** este método solo es aplicable para las llaves maestras, debido a que proviene de la fábrica, donde, el fabricante del dispositivo, le incorpora una llave maestra dentro del propio dispositivo.

**Transporte de llave:** en este método, el dispositivo realiza una petición a un centro de confianza para que le envíe la llave. Este centro de confianza tiene dos modos de operación [9]:

- **Modo comercial:** en este modo, el centro de confianza es quien mantiene una lista de las llaves maestras, dispositivos, llaves de enlace y llaves de red. Un punto importante es que el espacio de memoria que se requiere para el correcto funcionamiento del centro de confianza va a depender de la cantidad de dispositivos asociados a la red.
- **Modo residencial:** en este modo, en el centro de confianza solo se mantiene la llave de red, quien es la responsable de controlar el acceso a la red. El resto de la información, se almacena en cada nodo. En este modo, no se realiza ningún control para verificar si algún intruso modificó el número de secuencia.

**Establecimiento de llaves sin comunicación:** este es un método que se utiliza localmente para generar llaves de enlace a partir de la llave maestra para dos dispositivos sin la necesidad de comunicarlos. Para esto, ZigBee se basa en el protocolo SKKE (Symmetric-Key Key Establishment). El único requisito es que ambos dispositivos involucrados en la comunicación, deben tener la llave maestra, la cual debió ser obtenida por los métodos antes mencionados (preinstalación o transporte de llave).

## 4. Vulnerabilidades encontradas

A continuación, se describen las vulnerabilidades encontradas en cada una de las capas.

### 4.1 Capa física

#### 4.4.1 Acceso no autorizado a las etiquetas

Debido a la falta de mecanismos de autenticación correcta en un gran número de sistemas de RFID, las etiquetas pueden ser accedidas por algún atacante sin autorización. El atacante no puede leer los datos, pero los datos pueden ser modificados o incluso eliminados [10].

#### 4.4.2 Clonación de etiquetas

Dado que las etiquetas se implementan en diferentes objetos que son visibles, sus datos pueden ser leídos y modificados con algunas técnicas de hacking. Por lo tanto, pueden ser

fácilmente capturados por cualquier atacante que puede crear una réplica de la etiqueta y confundir al lector, debido a que no puede distinguir entre el original y la etiqueta clonada o comprometida [11].

#### 4.4.3 Espionaje

Debido a las características inalámbricas del RFID, se hace muy fácil para el atacante ver donde se encuentra la información confidencial, como contraseñas o cualquier otro dato que se derivan de la etiqueta [12].

#### 4.4.4 Spoofing

Se habla de este ataque cuando un atacante difunde información falsa en los sistemas RFID y la hace ver como de la fuente original. De esta manera, el atacante tiene acceso completo al sistema, lo que lo hace vulnerable [13].

## 4.2 Capa de control de acceso medio

### 4.2.1 Acceso no autorizado

La capa de control de acceso proporciona diferentes interfaces para las aplicaciones y las instalaciones de almacenamiento de datos [14]. El atacante puede fácilmente causar daños en el sistema mediante la prohibición del acceso a los servicios relacionados con la automatización, mediante la supresión de los datos existentes. Así que un acceso no autorizado, podría ser fatal para el sistema.

### 4.2.2 Ataque DDOS

Este ataque consiste en saturar el sistema a través de peticiones. La idea final del ataque es apagar el sistema. Esto da como resultado, la falta de disponibilidad de los servicios.

## 4.3 Capa de red

### 4.3.1 Ataque de privación del sueño

Los nodos de sensores en la red de sensores inalámbricos son alimentados con baterías con no tan buen ciclo de vida, por lo que los nodos están obligados a seguir las rutinas de

sueño para extender su vida útil. La privación del sueño es el tipo de ataque que mantiene los nodos despiertos, lo que resulta en un mayor consumo de la batería y, como consecuencia la duración de la batería se reduce al mínimo [15].

#### 4.3.2 Inyección de código malicioso

Este es un tipo grave de ataque en el que un atacante compromete un nodo para inyectar código malicioso en el sistema que incluso podría dar lugar a un cierre completo de la red o en el peor de los casos, el atacante puede obtener un control completo de la red [16].

#### 4.3.3 Ataque de hombre en el medio

Esta es una forma de escucha ilegal que tiene como objetivo de ataque interceptar el canal de comunicación, sin que ninguna de las dos partes se dé cuenta que el canal ha sido violado o interceptado [17].

### 4.4 Capa de aplicación

#### 4.4.1 Inyección de código malicioso

Este ataque consiste en inyectar código malicioso a través de técnicas de hacking y de esta forma, utilizando el usuario final del sistema como entrada, robar información confidencial o incluso, datos del usuario [18].

#### 4.4.2 Ataque de denegación de servicios

Los ataques de denegación de hoy en día, son más sofisticados. Ofrecen al atacante una cortina de humo para llevar a cabo ataques para romper el sistema defensivo y los datos de privacidad del usuario, mientras que engañan a la víctima haciéndole creer que el ataque real está sucediendo en otro lugar [7].

#### 4.4.3 Ataque de *phishing*

Se trata de un ataque de suplantación de correo electrónico en el que la víctima, generalmente un alto cargo, es inducido a abrir el correo electrónico a través del cual el atacante gana acceso a las credenciales de la víctima y luego a información más sensible [14].

#### 4.4.4 Ataque de *sniffing*

Un atacante puede forzar un ataque contra el sistema mediante la introducción de una aplicación sniffer en el sistema, lo que podría obtener información de la red que da como resultado, la corrupción del sistema [19].

### 5. Conclusiones

A lo largo del desarrollo de esta revisión, se pudo entender más a fondo el funcionamiento del estándar ZigBee, descubriendo así, las vulnerabilidades y riesgos a los que se enfrenta. Algunos de los puntos importantes a resaltar con la culminación de esta investigación son los siguientes:

- Las redes ZigBee, enfocadas específicamente para la automatización, utilizan la topología de red de malla. En esta topología, cada uno de los nodos puede realizar cualquiera de estos tres roles: coordinador, enrutador o dispositivo final.
- ZigBee, en cuanto a seguridad de la información, utiliza tres llaves criptográficas: llave maestra, llave de enlace y llave de red. Estas llaves pueden ser adquiridas a través de una preinstalación, transporte de llaves o el establecimiento de llaves sin comunicación.
- ZigBee se encuentra dividido en 4 capas: capa física, capa de control de acceso medio, capa de red y capa de aplicación. Cada una de estas capas posee ciertas vulnerabilidades específicas, que pueden ser aprovechadas por los atacantes. Es por esta razón que parte importante de la seguridad en este estándar se basa en la forma de configuración de la red.

### REFERENCIAS

- [1] B. Yang, "Study on Security of Wireless Sensor Network Based on ZigBee Standard," in International Conference on Computational Intelligence and Security, Estados Unidos, 2009, pp. 426-430.
- [2] P. Kumar, A. Gurtov, J. Iinatti, M. Ylianttila, and M. Sain, "Lightweight and Secure Session-Key Establishment Scheme in Smart Home Environments," IEEE Sensors Journal, vol. 16, pp. 254-264, 1 septiembre 2016.

- [3] Y. Zhang, R. Yu, S. Xie, W. Yao, Y. Xiao, and M. Guizani, "Home M2M networks: architectures, standards, and QoS improvement," *IEEE Communications Magazine*, vol. 49, pp. 44-52, 2011.
- [4] M. Corporation. (2016, 25 de octubre). The home of the future is finally here. Available: <https://news.microsoft.com/stories/people/easydom.html>
- [5] Richardson, "ZigBee White Paper," AMX, Ed., ed, 2006, p. 9.
- [6] I. N. d. Ciberseguridad. (2016, 27 de octubre). Seguridad en comunicaciones ZigBee. Available: <https://www.certi.es/blog/seguridad-comunicaciones-zigbee>
- [7] T. Zillner and S. Strobl, "ZigBee Exploited—The good, the bad and the ugly," *Proceedings of the DeepSec Conferences*, p. 6, 2015.
- [8] S. Choudhury, P. Kuchhal, and R. Singh, "ZigBee and Bluetooth network based sensory data acquisition system," *Procedia Computer Science*, vol. 48, pp. 367-372, 2015.
- [9] L. World. (2014, octubre 2016). Security in 802.15.4 and ZigBee networks. Available: <http://www.libelium.com/security-802-15-4-zigbee/>
- [10] M. R. Uttarkar and R. Kulkarni, "Internet of Things: Architecture and Security," *International Journal of Computer Application* vol. 3, pp. 12-19, 2014.
- [11] M. Burmester and B. De Medeiros, "RFID security: attacks, countermeasures and challenges," in *The 5th RFID Academic Convocation, The RFID Journal Conference*, Orlando, Florida, 2007.
- [12] B. Khoo, "RFID as an Enabler of the Internet of Things: Issues of Security and Privacy," in *Internet of Things (iThings/CPSCoM), 2011 International Conference on and 4th International Conference on Cyber, Physical and Social Computing*, Dalian, China, 2011, pp. 709-712.
- [13] A. Mitrokotsa, M. R. Rieback, and A. S. Tanenbaum, "Classification of RFID attacks," *Gen*, vol. 15693, p. 14443, 2010.
- [14] M. Farooq, M. Waseem, A. Khairi, and S. Mazhar, "A critical analysis on the security concerns of internet of things (IoT)," *International Journal of Computer Applications*, vol. 111, p. 6, 2015.
- [15] T. Bhattachali, R. Chaki, and S. Sanyal, "Sleep deprivation attack detection in wireless sensor network," *arXiv preprint arXiv:1203.0231*, 2012.
- [16] P. S. Fulare and N. Chavhan, "False data detection in wireless sensor network with secure communication," *International Journal of Smart Sensors and AdHoc Networks (IJSSAN)*, vol. 1, pp. 66-71, 2011.
- [17] R. P. Padhy, M. R. Patra, and S. C. Satapathy, "Cloud computing: security issues and research challenges," *International Journal of Computer Science and Information Technology & Security (IJCSITS)*, vol. 1, pp. 136-146, 2011.
- [18] S. Majoul, M. Richard-Foy, A. Agirre, A. Pérez, and A. Kung, "Enforcing trust in home automation platforms," in *Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2010 IEEE Conference on*, 2010, pp. 1-6.
- [19] J. Suomalainen, S. Moloney, J. Koivisto, and K. Keinänen, "OpenHouse: a secure platform for distributed home services," in *Privacy, Security and Trust, 2008. PST'08. Sixth Annual Conference on*, 2008, pp. 15-23.

# Evaluación de un sistema biofiltro humedal de remoción de nitrato de material fijo inerte de flujo vertical ascendente a escala de laboratorio

## Evaluation of a wet biofiltro system of nitrate removal of ineffectuated fixed material from vertical flow up to laboratory scale

Elisa Alemendas<sup>1</sup>; Kambip Chiari<sup>1</sup>; Miguel Hernández<sup>1</sup>, Christel Herrera<sup>1</sup>;

Edilberto Valdés<sup>1</sup> & Erick Vallester<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Ambiental – Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Licenciatura en Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** Este artículo proporciona información acerca de la evaluación de un sistema biofiltro de un humedal artificial, de flujo vertical ascendente y material inerte, el cual tiene como objetivo remover los niveles de nitrato de un agua sintética en base nitrato de potasio, metanol, bisulfito de sodio (regular el oxígeno) y difosfato de potasio (regular el pH). Estos son sistemas pasivos de depuración en los que se imitan los procesos físicos, químicos y biológicos típicos de un humedal natural, en un espacio confinado. En la construcción del prototipo de laboratorio, se utilizó como reactor un cajón de acrílico, como medio de soporte un relleno de grava y arena (lecho filtrante), una especie de planta acuática *Typha angustifolia* (crecimiento de microorganismos formados en la película biológica de las raíces) y agua sintética. Además, se utilizó una lámpara simulando la función del sol (proporciona calor). Con el objetivo de conocer la eficiencia del sistema se realizaron mediciones de muestras de entrada y salida del sistema de parámetros como DBO, DQO, temperatura, salinidad, potencial de hidrógeno, ORP, nitrato, turbidez, caudal y análisis microbiológicos.

**Palabras claves** Agua residual, bacterias, filtro; humedal, remoción.

**Abstract** This article provides information on the evaluation of a biofilter system of an artificial vertical ascending flow and inert material wetland, which aims to eliminate the nitrate levels of a synthetic water based on potassium nitrate, methanol, bisulfite Of Sodium (oxygen regulator) and potassium diphosphate (PH regulator). These are passive systems of purification in which the physical, chemical and biological processes of a natural wetland are imitated in a confined space. In the laboratory construction, an acrylic drawer was used as a medium for a gravel and sand filling (filter bed), a kind of aquatic plant *Typha angustifolia* (upgrowing of microorganisms formed in the biological film of the Roots) and synthetic water. In addition, a lamp that simulates the function of the sun was used. In order to know the efficiency of the system, measurements were made of input and output samples of the system parameters such as BOD, COD, temperature, salinity, hydrogen potential, ORP, nitrate, turbidity, flow and microbiological analysis.

**Keywords** Wastewater, bacteria, filter, wetland, removal.

\* Corresponding author: erick.vallester@utp.ac.pa

## 1. Introducción

A pesar del amplio conocimiento de los efectos de la contaminación sobre la salud humana y el medioambiente, producto de las severas condiciones económicas imperantes, la disposición final de las aguas residuales, en algunos casos, se realiza sin ningún tipo de tratamiento; en unos, debido al alto costo que implican las tecnologías convencionales y avanzadas, en otros, debido a la falta de conciencia en cuanto al peligro que esto representa para la naturaleza y, por tanto, para la humanidad.

Por ello, se hacen necesaria la búsqueda de técnicas de bajo coste de inversión y bajo consumo energético que solucionen de forma óptima este problema. [1]

Como alternativa a las costosas técnicas convencionales de tratamiento de aguas residuales, se han desarrollado una serie de sistemas basados en los mecanismos de depuración existentes en la naturaleza, denominados por esta causa sistemas de tratamiento naturales.

Estos sistemas requieren la misma cantidad de energía por cada kilogramo de contaminante degradado que las tecnologías convencionales, sin embargo, esta fuente es tomada de la naturaleza como energía solar, energía cinética del viento, la energía química acumulada en la biomasa y en el suelo, etc. [1].

En esta experiencia recrearemos un humedal como sistema de tratamiento secundario de aguas residuales, utilizando sus elementos básicos como los son; un reactor, un soporte fijo (lecho filtrante), como especie de planta se utilizó la *Typha angustifolia* y se creó un agua sintética a base de nitrato simulando el contaminante a remover. Todos estos no son más que ecosistemas en los que juegan un papel importante determinadas plantas y microorganismos, cuya acción biológica y eficiente simbiosis permiten la eliminación de las cantidades excesivas de nutrientes esenciales, materia orgánica, trazas de metales

pesados y agentes patógenos presentes en las aguas residuales.

## 2. Metodología y materiales

El proyecto surgió a raíz del curso de Tratamiento de Aguas Residuales, de la carrera de Ingeniería Ambiental. En el desarrollo del proyecto se utilizaron las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica y de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de Panamá.

### 2.1 Metodología

Para este proyecto se creó una solución de agua sintética mezclada en un depósito la cual, se bombeaba a otro depósito con mayor altura (función de dosificador continuo del agua sintética), luego por efecto de la gravedad, este líquido descende por la siguiente tubería, en este tramo se encuentra una válvula la cual regula el flujo, poco más adelante se utiliza un dosificador la cual está unido a la tubería con la función de agregarle al agua sintética una solución de bisulfito de sodio y difosfato de potasio, otra válvula que se encuentra más adelante se utiliza para tomar muestra (punto de muestreo de la entrada), luego el líquido llega hasta segmento de entrada del reactor de acrílico para formar parte del filtro.

El muestreo no es más que el procedimiento de escoger parte de un elemento, el cual debe ser representativo del mismo, para ser analizado. Para el proyecto se tomaron dos puntos de muestreos, uno para el afluente (muestra antes de entrar al sistema) y otro para el efluente (muestras de salida del sistema).

Los parámetros de medición con frecuencia de una vez por semana fueron: los correspondientes al análisis microbiológico y DBO<sub>5</sub>.

Los parámetros de medición con frecuencia de dos veces por semana fueron: DQO, temperatura, salinidad, potencial de hidrógeno, ORP, nitrato, turbidez, sólidos y caudal

Se realizó también una prueba de granulometría. En los Cuadros a continuación se detallan los equipos y métodos utilizados en las diferentes experiencias.

**Cuadro 1.**

Equipos y métodos de análisis microbiológicos

Equipo y método de análisis	Parámetros medidos
Método - Tinción de Gram	Tinción, formas y arreglo
Método - Coliformes totales (Filtro de membrana)	Número de colonias
Equipo - Microscopio	Identificación de microorganismos

**Cuadro 2.**

Equipos y métodos de análisis físico-químicos

Equipo y método de análisis	Parámetros medidos
Método de Winkler (A través de oxígeno disuelto)	DBO5
Método - Digestión por dicromato de potasio	DQO
Equipo – Multiparámetro Pro DSS	Temperatura; salinidad; potencial de hidrógeno; ORP; Nitrato
Equipo – Espectrofotómetro DR/2010	Turbidez
Método volumétrico	Caudal

**2.2 Materiales**

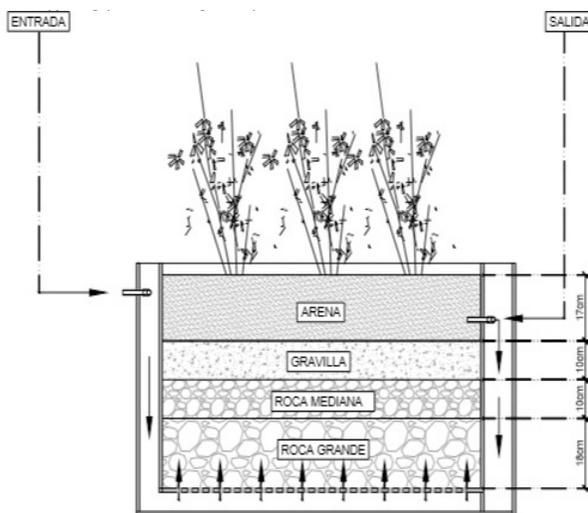
Los humedales artificiales contienen, básicamente, agua, relleno sólido y plantas emergentes. Como prototipo de laboratorio, se utilizó un cajón de acrílico como reactor, como material de soporte un relleno de grava y arena (lecho filtrante), la especie de planta acuática utilizada fue la *Typha angustifolia*, y un agua sintética compuesta de una solución acuosa a base de nitrato de potasio. Adicional, se utilizó la luz de una lámpara simulando la función del sol (usado para proporcionar calor). Este sistema en su totalidad fue diseñado por la Lic. María Núñez.

**2.2.1 El Reactor**

El reactor utilizado es un cajón de acrílico que alberga el material del filtro y las plantas, este con un volumen de 0.29m<sup>3</sup> como se muestra en la figura 1.

**2.2.2 Material de soporte**

El material de soporte que se utilizó como



**Figura 1.** Esquema del sistema Biofiltro-Humedal.

medio filtrante fue de arena y grava, distribuido en varias capas dentro del sistema. La distribución de las capas fue de la siguiente manera:

- Capa de arena: 17 cm
- Capa de gravilla: 10 cm
- Capa de grava mediana: 10 cm
- Capa de grava grande: 18 cm

**2.2.3 Planta (*Typha angustifolia*)**

La *Typha angustifolia* es una hierba acuática, de hojas muy largas y lineales perteneciente a la familia *Typhaceae* conocida de forma común como anea o junco (ver figura 2).

Originaria de América del Norte y Central, puede llegar a alcanzar tres metros de altura.

Por su fácil desarrollo en soportes con textura arenosa y empapada, se eligió para el humedal. Esta se obtuvo en la Laguna de La Arenosa en La Chorrera.

**2.2.4 Agua sintética**

El agua sintética dentro del sistema fue creada a base de metanol y nitrato de potasio, a la cual se agregó bisulfito de sodio (con el fin de regular oxígeno a niveles bajos) y difosfato de potasio (con el fin de regular el pH).

Para llegar a una concentración de 60 mg/L de nitrato, se vertió en un tanque 900 mL de nitrato de potasio y 12.5 mL de metanol.



Figura 2. *Typha angustifolia* dentro del sistema.

### 3. Resultados

#### 3.1 Microbiología

Parte importante del proceso de estudio del humedal, fue el de determinar los microorganismos que este presentaba, ya que ellos se encargan de realizar el tratamiento biológico.

Para ello se tomaron muestras de la película bacteriana formada en las raíces de la *Typha angustifolia*. También se observaron muestras de agua y raíz utilizando el microscopio.

##### 3.1.1 Tinción de Gram

En los análisis de tinción de gran se encontraron como resultados bacterias Gram positivos y Gram negativos, de diferente morfología, como cocos, bacilos y según su arreglo, se encontraron diplocos, diplobacilos, estreptobacilos y estafilococos.

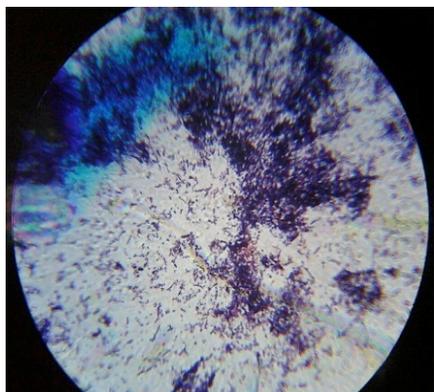


Figura 3. Fotografía de la prueba de tinción de Gram, resultados: Gram positivos, cocos en cadena.

#### 3.1.2 Observación de microorganismos

En el transcurso del proyecto se observaron microorganismos de distintos puntos de muestreos, agua de la zona de entrada, película bacteriana de las raíces y agua de la zona de la salida.

En las observaciones se identificaron los siguientes microorganismos:

**Bacterias:** son protistas unicelulares. Tiene la función dentro del sistema de degradar la materia orgánica disuelta.

**Rotíferos:** son multicelulares, aeróbicos, heterotróficos, los cuales son muy eficiente consumiendo bacterias dispersas y floculadas, así como partículas pequeñas de material orgánico.

La presencia de rotíferos dentro del sistema, indica una alta eficiencia en el proceso aeróbico de purificación. [2] (ver figuras 4 y 5).



Figura 4. Fotografía de un *Proales smilis* (rotífero) presente en el humedal.



Figura 5. Fotografía de un *Euchianis* (rotífero) en el humedal.

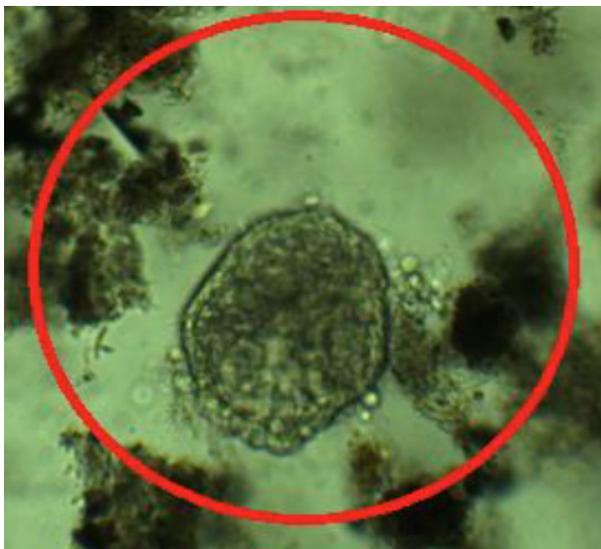
30

Algunas de las características de estos rotíferos son: el *Proales similis*, es un microorganismo acuático, fundamental en la cadena trófica alimentaria de estos ecosistemas y la *Euchlanis* es un microorganismo indicador de aguas poca contaminada, son muy útiles para metabolizar alimentos sólidos [3].

**Protozoos:** son protistas microscópicos que por lo regular son unicelulares y que además poseen movilidad. La mayoría de los protozoarios son aeróbicos heterotróficos, aunque algunos de ellos son anaeróbicos.

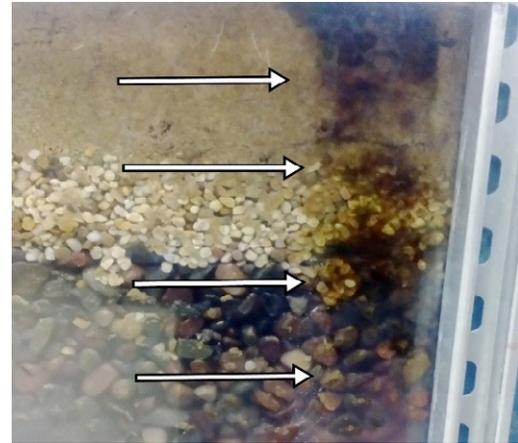
Son capaces de eliminar las bacterias suspendidas en el agua evitando la turbidez, lo cual es beneficioso para el sistema del humedal artificial [3].

En la figura 6 se presenta una fotografía de los protozoos en el humedal.



**Figura 6.** Fotografía de un protozoo presente en el humedal.

**Algas:** son protistas unicelulares, autótrofos y fotosintéticos. La presencia en las aguas es indeseable ya que producen malos olores y sabores en el agua de consumo, sin embargo, para el fin del sistema biofiltro, constituye un indicador de la eficiencia de remoción de nitrato, debido a que las mismas utilizan para su reproducción principalmente material inorgánico: nitrógeno y fósforo (ver figura 7).



**Figura 7.** Fotografía de una franja de algas adheridas al reactor presente en el humedal.

### 3.2 Parámetros físicos - químicos

#### 3.2.1 DBO<sub>5</sub>

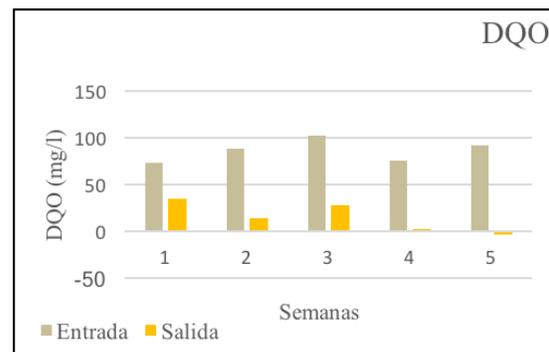
Entre los parámetros estudiados se encuentra la demanda biológica de oxígeno (DBO); la cual es la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación aeróbica biológica de los sólidos orgánicos del agua.

La eficiencia del sistema estuvo en un rango entre el 50% y 90%. Siendo un sistema de tratamiento secundario con alta remoción de DBO.

La Tasa de Remoción obtenida tuvo un promedio de  $Tr = 0.0070 \text{ mg/L min de DBO}_5$

#### 3.2.2 DQO

La prueba de DQO, mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar químicamente la materia orgánica. En la figura 8 se presentan los resultados obtenidos.



**Figura 8.** Relación entre entrada y salida de DQO.

Se pudo concluir que la DQO en la salida del sistema es menor que la de la entrada, y es porque los microorganismos que están alojados en las raíces de las plantas utilizan gran parte del oxígeno.

Los valores de la salida son menores a 100 mg/LI, es decir que cumple con el rango establecido de la COPANIT-35-2000 [4].

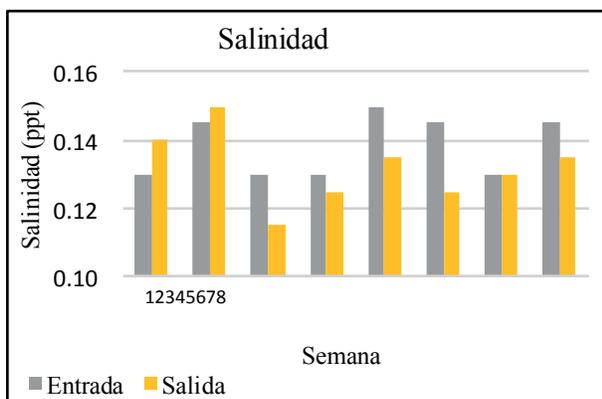
La eficiencia del sistema fue de 82.03%. Siendo un sistema de tratamiento secundario con alta remoción de DQO. La Tasa de Remoción obtenida tuvo un promedio de  $Tr = 0.019 \text{ mg/l min de DQO}$ .

### 3.2.3 Temperatura

Determina el desarrollo de la actividad bacteriana cuyo rango óptimo es entre 25 °C a 35°C. Cuando la temperatura se acerca a 50°C los procesos de digestión aerobia y nitrificación bacteriana se detienen [5].

### 3.2.4 Salinidad

La salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en agua. La salinidad y la conductividad están relacionadas porque la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de ambas [6]. En la figura 9 se presentan los resultados obtenidos en la experiencia realizada.



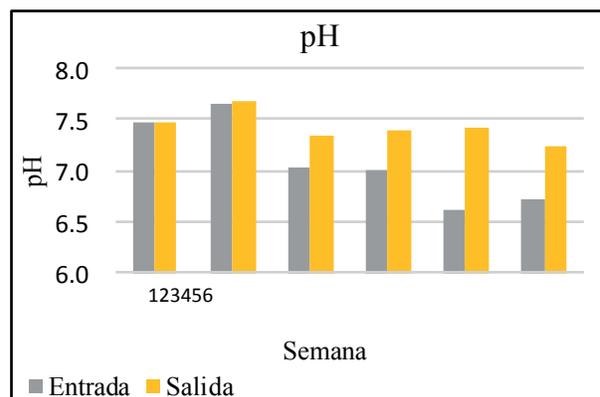
**Figura 9.** Relación entre resultados de entradas y salida de salinidad.

### 3.2.5 pH

Para obtener un pH óptimo en sistema de remoción de nitrato debe estar entre 6.5 a 8.5.

El pH indica la concentración de iones de

hidrógeno en una disolución [5]. En la figura 10 se presentan los resultados obtenidos.



**Figura10.** Relación entre resultados de entradas y salida de pH.

Como se puede observar los resultados de la entrada en las últimas semanas son más bajos que la salida y por debajo de 7. Los resultados que son importantes, en un sistema de remoción, obtuvimos que está en un pH óptimo, el sistema.

### 3.2.6 Potencial de Óxido - Reducción (ORP)

El potencial de óxido reducción (ORP), es un parámetro de control utilizado con la finalidad de ver la capacidad que tienen los microorganismos de degradar la materia orgánica (en nuestro caso, descomponer los contaminantes), entre más baja esté, hay más energía [7].

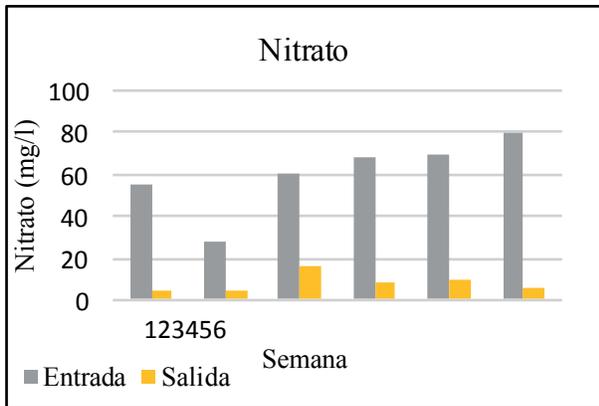
### 3.2.7 Nitrato

La contaminación por nitratos en la actualidad, es un problema generalizado y creciente que afecta tanto a la calidad de las aguas superficiales como a las subterráneas [8-9].

La eficiencia del sistema en función del nitrato estuvo en un rango entre 75% a 90% con una tasa de remoción de 0.015 mg/min (ver figura 11).

### 3.2.8 Sólidos

Como parte de los parámetros a evaluar están los sólidos presentes en el agua, los mismos se dividen en:



**Figura 11.** Relación entre entradas y salidas de nitrato.

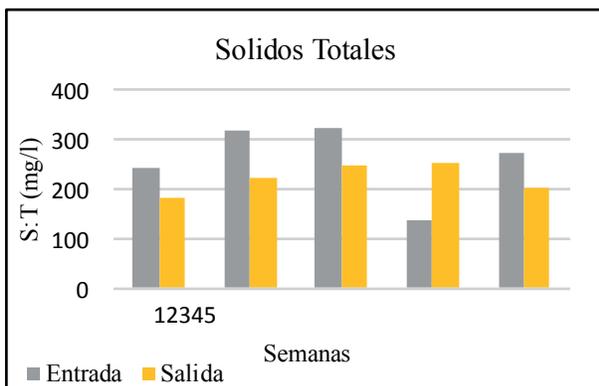
**Sólidos Totales:** son la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a una temperatura entre 103 °C y 105 °C hasta que se evapore.

**Sólidos Suspendedos:** fracción de sólidos que quedan retenidos por el filtro.

**Sólidos Filtrables:** fracción de sólidos que pasan a través del filtro de membrana.

**Sólidos Suspendedos Volátiles:** fracción de sólidos presentes en el agua filtrada que se volatilizan a temperaturas de 500-550 °C. [10]

Estos resultados se obtuvieron en el laboratorio dos veces por semana, obteniendo resultados generalmente favorables y los resultados se presentan en la figura 12.



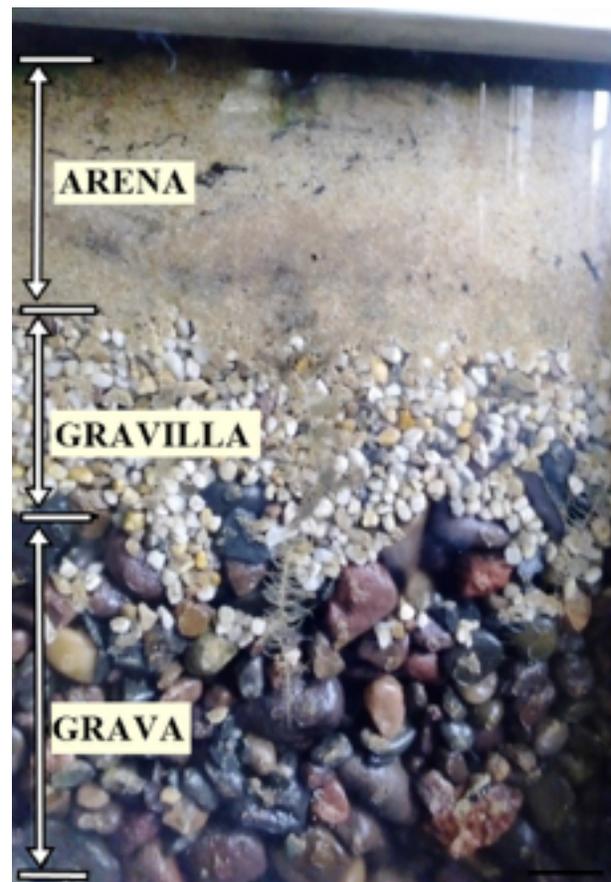
**Figura 12.** Relación entre entradas y salidas de S.T

El % de eficiencia osciló entre 25%-38%, debido a que el humedal no ejerce la función de sedimentador se puede observar que la remoción

de sólidos no es tanta. Además, en la tercera y cuarta semana de octubre los sólidos salieron más altos en la salida, debido al aumento de caudal.

### 3.3 Prueba de granulometría

A través de una prueba de granulometría se conocieron las características del lecho filtrante tomando una muestra representativa de la misma de capa base (arena + grava) y arena (ver figura 13).



**Figura 13.** Fotografía de un segmento visible del filtro. De abajo hacia arriba, capa de grava, capa de gravilla y capa de arena.

#### 3.3.1 Capa base (muestra de grava + arena)

El 76% de la muestra de capa base, corresponde a la Grava dentro de la cual el 61% es catalogada como Grava Media con un rango de diámetro entre 19.1 mm y 9.52 mm y una porosidad eficaz del 30%.

En la tabla 1 se presentan las características del lecho filtrante.

**Tabla 1.** Características del lecho filtrante

Características	Grava	Arena
D 60 (mm)	14	0.79
D 30 (mm)	10.5	0.70
D 10 (mm)	10	0.475
Coefficiente de uniformidad Cu	17.5	1.7
Coefficiente de curvatura Cc	9.8	1.3
Porosidad eficaz n (%) (Asumido)	30	25

#### 4. Análisis de resultados

Dentro del sistema se encontró una gama amplia de microorganismos, de los cuales se encontraron tanto anaeróbicos como aeróbicos proporcionando al sistema un balance de reacciones ocurridas tanto en zona aeróbica como anaeróbica.

La mayoría de los microorganismos se encontraron en el biopelícula de las raíces de la planta.

Los resultados obtenidos en los análisis físico-químicos fueron satisfactorios ya que la gran mayoría de concentraciones disminuían en el área de muestreo de salida, los cuales nos indica que el sistema estuvo funcionando de manera eficaz, filtrando las concentraciones de contaminante y purificando el agua.

Las concentraciones de nitrato disminuyeron en un rango de 75% a 90% en promedio. Esto debido a la gran acción de las plantas, microorganismos y el lecho filtrante.

El efecto del bisulfito de sodio de reducir el oxígeno tuvo una gran influencia para la remoción de nitrato.

Los parámetros de control como la temperatura, se mantuvieron estables al largo

de todo el periodo de duración del proyecto, se notó también una gran disminución de Demanda Bioquímica de Oxígeno y de la Demanda Química de Oxígeno.

#### 5. Conclusiones

Como resultados finales concluimos que el biofiltro humedal artificial es un sistema eficiente, ya que remueve de manera eficaz los niveles de nitrato y DBO según los resultados obtenidos en este sistema a nivel de laboratorio, otra de las ventajas es que utiliza tanto microorganismos anaeróbicos como aeróbicos. Además, se encontraron pocos microorganismos patógenos, lo cual indica una calidad del agua aceptable.

El mantenimiento de la misma es muy sencillo y el costo de producción muy bajo, ya que no requiere energía eléctrica. Por ende, la catalogamos como una excelente opción como tratamiento secundario.

Todos los microorganismos involucrados en este proceso de tratamiento requieren una fuente de energía y carbono para la síntesis de nuevas células, como también otros nutrientes; para que se dé un tratamiento íntegro.

A nivel de macro proyecto, es una excelente opción de tratamiento de aguas crudas debido a su bajo costo y podría ser utilizado en comunidades de escasos recursos.

El tratamiento biológico que se da por parte de los microorganismos alojados en las raíces de las plantas (*Typha angustifolia*) de nuestro sistema humedal artificial, tiene una eficiencia muy buena a la hora de disminuir concentraciones de contaminantes, en este caso el nitrato; sería bueno poner a prueba este sistema para tratar aguas de un sitio en específico, ya que en Panamá este tipo de tratamiento casi no se utiliza; sería un tratamiento de bajo costo a comparación de otras plantas de tratamiento de aguas residuales.

#### Agradecimiento

Especial agradecimiento a la Universidad Tecnológica y al profesor José Luis Chávez

*Alemendas (et al): Evaluación de un sistema biofiltro humedal de remoción de nitrato de material fijo inerte de flujo vertical ascendente a escala de laboratorio.*

quien nos apoyó en los procesos de distintas pruebas físicas, químicas y biológicas.

## REFERENCIAS

- [1] Javier M. Sanz – Depuración de Aguas Residuales con Humedales Artificiales.
- [2] Bitton G., Wastewater Microbiology, Wiley-Blackwell, Hoboken N.J., 2011.
- [3] Metcalf & Eddie, Ingeniería de aguas residuales, Mcgraw-Hill, España, 1995.
- [4] COPNAIT-DGNTI-35-2000 “Descarga de efluentes líquidos directamente a cuerpos y masa de agua superficial y subterráneas.”
- [5] Delgadillo, O.; Camacho, L.; Pérez, L. & Andrade, M. Online Available: [http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion\\_de\\_aguas\\_residuales\\_por\\_medio\\_de\\_humedales\\_artificiales.pdf](http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf)
- [6] Online Available: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-salinidad.pdf>- University of Puerto Rico, Mayagüez Campus.
- [7] Online Available: <http://www.ozono21.com/actualidad-interna/agua-ozono-orp/372/>
- [8] Oscar Delgadillo, Alan Camacho. Depuración de Aguas Residuales por medio de Humedales Artificiales.
- [9] Online Available: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2009/06/02/119366>
- [10] American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington : s.n., 18th edition, 1992.

# Implementación de las TIC'S en la gestión de inventario dentro de la cadena de suministro

## Implementation of ICTs in inventory management within the supply chain

Katylhuska Becerra-González<sup>1</sup>; Víctor Pedroza-Barreto<sup>1</sup>;  
Julissa Pinilla-Wah<sup>1</sup> & Miguel Vargas-Lombardo<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería de Sistemas y Computación – Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales  
– Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>CIDITIC-GISES – Universidad Tecnológica de Panamá

36

**Resumen** El artículo presenta un enfoque general de la cadena de suministro, la gestión de inventarios y almacenes en una organización, vinculándolo con las tecnologías, ya que ofrecen mecanismos y procedimientos que permiten controlar *stock* de mercancía, así como la ubicación y almacenamiento de estas que forman parte de la operación de una empresa. Se hace una revisión que clasificamos de la siguiente manera: (2) Cadena de Suministro, (3) Evolución de las TIC'S en la Logística Interna, (4) TIC'S actuales en la logística interna, (5) TIC'S logísticos verdes y (6) Caso de Estudio: VKY Logistic. En cada uno de los puntos describimos la importancia, principales características, además de incluir imágenes, y ejemplos. Se hace especial énfasis en los errores y problemas en la gestión de inventario y almacenamiento que tienen organizaciones, y en las diferentes tecnologías que conllevan un gran impacto en el desarrollo económico y organizacional, ocasionando que las empresas se encuentren en la vanguardia con mejores procesos y generando satisfacción a sus clientes.

**Palabras claves** Gestión de inventario, TIC'S -Tecnologías de Información y Comunicación -, almacén, cadena de suministro, logística.

**Abstract** The article presents a general approach about supply chain, the inventory management and storage in an organization, linked with the technologies (TIC'S) because they offer mechanisms and procedures for controlling stock of merchandise as well as the location and storage of these, which are part of the active operation of the company. We do a review scheme that we classify as follows: (2) Supply Chain (3) Evolution of TIC'S in the Internal Logistics, (4) TIC'S current's in internal logistics, (5) TIC'S green logistics and (6) Case Study: logistic VKY. In each of the points, we described the importance, main features, besides including images and examples. Special emphasis on problems and errors in inventory management and storage in the organizations, and in the different technologies that carry a major impact on economic and organizational development, causing the companies are in the forefront, generating customer satisfaction with better processes.

**Keywords** Inventory management, TIC'S - Information and Communication Technologies -, warehouse, supply chain, logistics.

\* Corresponding author: miguel.vargas@utp.ac.pa

## 1. Introducción

Hoy en día para que una empresa sea exitosa debe contar con el apoyo de las tecnologías de información y las comunicaciones (TIC'S); son un factor clave en el desarrollo empresarial, en su continua evolución; han pasado de ser una herramienta de trabajo, a ser estratégicas y competitivas, llegando a generar nuevos modelos de negocios.

Las empresas han sido forzadas a evolucionar de manera drástica en los últimos años, para adaptarse a diferentes e importantes cambios de su entorno.

Los principales problemas en las pequeñas y grandes empresas se basan la mayoría de las veces en la gestión de inventarios, con el desarrollo del comercio nacional e internacional y el crecimiento de los fabricantes; se necesita un incremento en la rotación, tipos y cantidades de materiales en los almacenes de inventarios tanto de entrada y salida.

Las medianas y grandes empresas optan por construir grandes almacenes a altos costos en fin de satisfacer las demandas del mercado sin hacer un estudio de qué es lo que se necesita en realidad, si mayor capacidad o un sistema que apoye en la gestión de flujos de información.

Muchas empresas no implementan TIC'S por falta de información, desconocimiento o capacidad de inversión. Las empresas que deciden hacer la implementación deben saber que no solo es importante tener en mente el material de control, sino que también se debe examinar el tipo y/o la forma de almacén más ventajoso para la organización.

Se debe considerar aspectos de información tales como la solicitud, rasgos de los clientes, tipo de productos, la unidad de almacenamiento, locación geográfica, características de los productos, los precios de operación, los elementos y/o equipos de manipulación, y las TIC'S disponibles para la identificación y ubicación de productos.

Para este artículo se han considerado 5 secciones. La segunda sección expone el estado del arte de la cadena de suministro, seguidamente

en la tercera sección presenta la evolución de las TIC'S en la logística interna; la cuarta sección las TIC'S actuales en la logística interna.

Se continúa con la sección quinta TIC'S logísticos verdes, luego la sección sexta presenta un caso de estudio sobre los problemas de VKY Logistics. Finalmente, se presentarán las conclusiones y trabajos futuros de esta investigación.

## 2. Cadena de suministro

La cadena de suministro engloba los procesos de negocios, personas, la organización, la tecnología y la infraestructura física que permite la transformación de materia prima en productos terminados que son ofrecidos y distribuidos a los consumidores para la satisfacción de la demanda [18].

La cadena de suministro se ha convertido en un concepto fundamental para que las empresas mejoren las relaciones con los clientes y proveedores, y alcancen una ventaja competitiva. Por lo tanto, la cadena de suministro propone la integración y coordinación de las actividades y procesos internos de la empresa con los procesos externos, para alcanzar un mejor aprovechamiento de los recursos y minimizar costos de operación [9].

Adicional, la gestión de la cadena de suministro es definida como la coordinación sistemática y estratégica de las funciones de negocio tradicional y las tácticas utilizadas a través de esas funciones de negocio, al interior de una empresa y entre los diferentes procesos de la cadena de suministro, con el fin de mejorar el desempeño en el largo plazo tanto de la empresa individualmente como de toda la cadena de suministro en general [18].

También la gestión de la cadena de suministro es un medio para que la empresa mejore la competitividad y genere valor a los clientes. Por el cual, una empresa que reduce costos y satisface las necesidades de los clientes, depende de una cadena de suministro bien gestionada, integrada y flexible que se maneja en tiempo real y fluye información de manera eficiente [19].

Por lo tanto, una efectiva gestión de la cadena de suministro implica el intercambio de información y bienes, entre proveedores y clientes, incluyendo fabricantes, distribuidores, y otras empresas que participan en el funcionamiento de la cadena de suministro [7].

Actualmente la cadena de suministro se ha convertido en un medio para que las empresas aumenten su productividad y competitividad. La gestión de almacenes es un proceso crítico dentro de la cadena de suministro debido a que se encarga de la administración de los inventarios y, en la mayoría de los casos, gestiona las necesidades de los clientes de la empresa [10].

## 2.1 Gestión de almacenes o Centros de Distribución (CEDIS)

Los principios para la gestión óptima de los almacenes se consideran según [10], entre las siguientes:

- La coordinación con otros procesos logísticos,
- El equilibrio en el manejo de los niveles de inventario,
- Adaptarse a los cambios de un mundo empresarial globalizado.

Una buena gestión en los centros de distribución o almacenes de una empresa depende del conocimiento que las directivas tengan del tipo de estructura para el almacenamiento que posee la empresa; esto es principalmente conocer si la compañía tiene un centro de distribución (CEDI), o si tiene un almacén o una bodega. El Centro de Distribución (CEDI) se puede definir como el lugar físico (SKU'S: Stock Keeping Units) donde una o varias empresas almacenan diferentes tipos de mercancías o materias primas, ya sean fabricadas por ellas o adquiridas a un tercero. En estos espacios, o SKU'S, se manejan dimensiones que pueden ir desde muy grandes (pallets con mercancía), hasta unidades sueltas.

Normalmente los centros de distribución no se encuentran en las propias instalaciones

de la empresa, sino fuera de ellas, en áreas de fácil acceso y preferiblemente cerca de autopistas, aeropuertos o puertos; esto facilita un rápido recibo y despacho de la mercancía que administran [12].

Adicional, muchas empresas multinacionales en Panamá prefieren utilizar los servicios de operadores logísticos para el almacenamiento de sus productos e insumos.

Siendo así que desde la empresa se tiene la ventaja del ahorro en costos, en administración, compra o alquiler de almacén y de personal. Sin embargo, también hay empresas que prefieren contar con su propio almacén pero algunas de ellas aún tienen malas prácticas o procesos no establecidos para el inventario y el almacenamiento de sus insumos o productos para la venta lo cual sería una desventaja desde este punto de vista, pero con la ventaja de administrar y de ver a ciencia cierta lo que ocurre con sus productos.

### 2.1.1 Sistema de almacenamiento

De acuerdo [10] buscan la combinación de métodos y equipos para optimizar el almacenamiento de productos. Lo que quiere decir, es que estos buscan en mantener un orden específico de los productos de acuerdo a: tamaño, tipo de material y tipo de utilización.

Esta automatización facilita la ubicación, distribución y buena operatividad a la hora de realizar una búsqueda y/o adquisición del producto.

La necesidad de contar con espacio horizontal y vertical se limita con el crecimiento de la producción y las diversidades de productos que se almacenan y manipulan. Por ello, los especialistas en ingeniería de almacenamiento desarrollan nuevos sistemas en donde el tiempo de almacenar y recuperación son valiosos y el espacio aéreo cada vez es más accesible con los sistemas de almacenamiento automatizado [8].

### 2.1.2 Reglas para el almacenamiento

De acuerdo [13] Los inventarios son bienes tangibles que se tienen para la venta en el curso

ordinario del negocio o para ser consumidos en la producción de bienes o servicios para su posterior comercialización.

Por consiguiente podemos decir que la base de toda empresa comercial es la compra y venta de bienes o servicios; de aquí la importancia del manejo del inventario FIFO, LIFO o FEFO por parte de la empresa.

Este manejo contable permitirá a la empresa mantener el control oportunamente, así como también conocer al final del período contable un estado confiable de la situación económica basada en existencia física de inventarios de la empresa, por su puesto este valor físico de existencias afectaría el valor final o utilidad neta de la empresa.

La explicación de cada una de estas reglas de inventarios es la siguiente:

- FIFO (*First in, first out*) primero en entrar, primero en salir. Se aplica para evitar que los productos queden obsoletos, es decir el primer producto que sea almacenado en la bodega, es el primero en ser despachado o entregado al cliente.
- LIFO (*Last in, first out*) último en entrar, primero en salir. Este proceso no es más que las últimas existencias físicas que ingresen a la bodega para ser almacenadas serán las primeras en ser entregadas.
- FEFO (*First expired, first out*) primero en caducar primero en salir. Esta regla se utiliza basando en fechas de vencimiento es decir se revisa la fecha de expiración de cada producto y se organiza en orden más próximo a vencer.

**2.2 Gestión de inventario**

De acuerdo a [11], la gestión de inventario se deriva de la importancia que tienen las existencias para la empresa y, por lo tanto, la necesidad de administrarlas y controlarlas.

Su objetivo consiste fundamentalmente en mantener un nivel de inventario que permita, a un mínimo de costo, un máximo de servicio a los clientes.

Los motivos básicos para crear inventarios son: protegerse contra incertidumbres, permitir

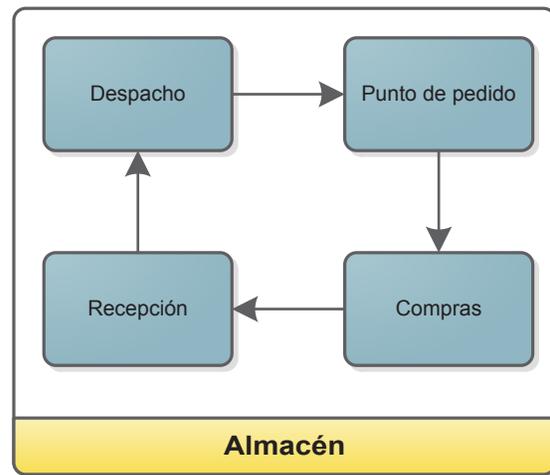
la producción y compra bajo condiciones económicamente ventajosas, cubrir cambios anticipados en la demanda y la oferta y mantener el tránsito entre los puntos de producción o almacenamiento.

**2.2.1 Planeación de las necesidades y el abastecimiento**

Según [15], en términos generales la cadena de abastecimiento es la red de proveedores, fabricantes y distribuidores responsables de fabricar y proveer productos terminados al mercado, es decir, a los consumidores finales, sean estos individuos u organizaciones.

Por lo tanto el abastecimiento surge de la necesidad de una empresa por un producto para proveer a sus clientes.

A medida que existe una necesidad en una empresa hay una interacción con el almacén, desde el momento del pedido, hasta el despacho de la solicitud (ver figura 1).



**Figura 1.** Ciclo de un pedido.

Todas las áreas funcionales de una empresa tienen necesidades de insumos y productos lo que conlleva a que tengan interacción con compras, logística y el almacenamiento, por eso es importante para una empresa contar con personal capacitado; en los que se puedan apoyar en términos logísticos y que puedan implementar técnicas de decisiones en lo que respecta a la cadena de suministro, porque para

Llevar un abastecimiento óptimo es importante que fijen lo que se quiere determinar, qué pedidos se debe hacer para mantener los niveles de stock óptimo, establecer los puntos de pedido, sistema de gestión a utilizar para automatizar los procesos y sobre todo la planificación que permita tener un mejor control al recibir la mercancía en el almacén de modo de utilizar las mejores técnicas de almacenamiento de acuerdo al tipo de producto, embalaje y tamaño.

Sin embargo, a pesar que las organizaciones pueden implementar procesos y sistemas para automatizar y gestionar de una mejor forma su inventario físico en el almacén muchas veces sucede que los reportes no coinciden, lo cual puede afectar en pérdidas monetarias a la empresa.

Este tipo de fallas pueden estar estrechamente ligadas tanto en la gestión del inventario como en el almacén con la mercancía física almacenada, pero daremos más detalles sobre estos errores en el siguiente punto.

### 2.3 Errores comunes en la administración de inventario

En [14] el inventario es uno de los principales factores en el desempeño de las empresas y en la manera que se obtienen ganancias.

Su control y óptima gestión son claves para la eficiencia de la organización. Por ende, hay factores que impiden una buena gestión del mismo. Los cuales podemos mencionar:

- No considerar el tiempo de reabastecimiento de tus proveedores.
- Gestionar muchos códigos de productos.
- Administrar todos los productos de la misma manera.
- No predecir acertadamente la demanda esperada.
- Falta de automatización.
- Personal con entrenamiento inadecuado.
- Sistemas ineficientes de control de almacenes e inventarios.

A continuación se describen los puntos anteriormente mencionados:

**No considerar el tiempo de reabastecimiento de tus proveedores:** la empresa al tomar en cuenta una demanda de productos solicitados por sus clientes y que no cuenten con una buena organización en el tiempo a nivel de entrega de los proveedores, puede perder ventas y más aún pueden hasta llegar a perder la relación con el cliente, ocasionado por la mala imagen y poca seriedad en compromisos de entrega. Por eso se debe evaluar bien los tiempos de entrega de los proveedores.

**Gestionar muchos códigos de productos:** toda organización que tenga un crecimiento de productos lógicamente aumenta la generación de códigos. Pero hay que tener cuidado ya que tanta generación de códigos puede causar un conflicto en el orden de almacenamiento y búsqueda. Ya que se asignan códigos a productos de poco volumen y que no tienen tanta importancia como productos que generan gran valor a la organización.

**Administrar todos los productos de la misma manera:** una tarea importante es tener una visión clara en la distribución de los productos. Es decir, tener claro el tipo de productos y que es una visión limitada en mantener todos los productos de igual forma (estandarizado) ya que no todos tienen el mismo trato tales como: en ventas, rotación y distribución.

**No predecir acertadamente la demanda esperada:** la planeación de la demanda de los productos es de vital importancia ya que hay que organizarse y mantener claro en adquirir productos que realmente tengan una demanda continua. Pero hay que hacer una buena distribución, ya que gran cantidad de inventario lo que puede causar es que tanta mercancía guardada, puede dañarse y pasar al estado obsoleto, ocasionando pérdida de dinero y utilidad de la empresa. Por eso hay que mantener el inventario con productos que realmente tienen un tiempo finito de adquisición y basado en ese tiempo volver a surtir tu stock de productos.

**Falta de automatización:** punto importante a

la hora de gestionar almacenes, ya que gran parte de los inventarios son controlados manualmente a nivel de hojas de cálculo o simplemente en hojas de papel. Lo que hace tedioso a la hora de hacer una buena distribución en venta o compra de material, ocasionando que se pierda el control de stock y no permite la mejora continua de almacenamiento.

**Personal con entrenamiento inadecuado:** mantener personal con ningún tipo de entrenamiento y que no tenga una idea clara de cómo se administra o gestiona un inventario es un error común que muchas de las organizaciones comenten. Ya que debido a esto el inventario llega ser poco confiable y a su vez entran en una continuidad de errores para mantener buena información de stock. Ahora no es lo mismo mantener un inventario automatizado que ahorre tiempo y que el equipo de trabajo tome tiempo en visualizar en todo momento las mejoras que pueden irse implementando para una mejor y constante mejora en el inventario.

**Sistemas ineficientes de control de almacenes e inventarios:** un sistema ineficiente a la hora de controlar un inventario causa muchos problemas en la administración del mismo, cuando hablamos de sistemas se incluye tanto mecanismo de tecnología, capital humano e infraestructura, ya que las combinaciones de estas influyen en la buena o mal distribución de un inventario. Si estos factores se emplean ineficientemente no va haber una mejora continua en gestión de inventario.

### 2.4 Tecnología de información en la gestión de Inventario

Refiriéndonos a sistema de información en la logística la seguridad y calidad de procesos se garantiza por medio de la información y el acceso siendo que la normalización en el manejo de la información es uno de los recursos más útiles para empresas, ya que permiten que los distintos eslabones como en el proceso de compras, ya sea desde la solicitud del pedido, adquisición y la recepción del producto en conjunto con los proveedores logísticos, puedan

interactuar y comunicarse con un mismo lenguaje integrando a todos los actores en la administración de inventario hasta la entrega y distribución del producto hasta el cliente final.

La utilización de normas o políticas de información para facilitar la interacción entre los usuarios y el sistema permite visualizar el proceso de inventario en su totalidad, generando registros que permite establecer una línea clara que facilita el seguimiento de un proceso, producto o servicio basado en información.

En la figura 2 se puede ver un esquema general de una empresa y la interacción con su sistema desde el momento en que surge la necesidad de un producto y lo que sucede cuando llega a un almacén.

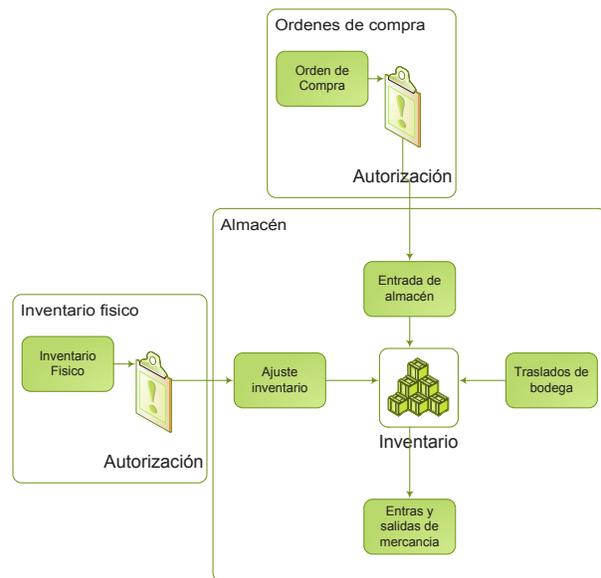


Figura 2. Diagrama simplificado del flujo de un pedido en TIC's.

### 3. Evolución de las TIC's en la logística interna

La logística de operaciones (interna o de producción), puede entenderse como aquella actividad de la logística que se encarga del movimiento y almacenamiento de materiales, componentes y productos intermedios a lo largo del proceso productivo, con el fin de permitir el cumplimiento de objetivos de continuidad, orden y cadencia de la función productiva, que

necesariamente redundarán en resultados más eficaces frente a los objetivos [5].

Según lo expuesto anteriormente y al crecimiento gradual en la necesidad de las tecnologías para el desarrollo de las actividades en las empresas; podemos explicar que desde la aparición de las primeras computadoras, los sistemas de información se han ido introduciendo en las empresas, como una potente herramienta para optimizar y mejorar su gestión.

Esta introducción de los sistemas de información, ha sido progresiva, evolucionando los sistemas de información en función de su área de aplicación en la empresa y de la tecnología existente en cada momento [17].

### 3.1 Control de stocks

Tras ello, el desarrollo de *software* para la empresa, centró sus esfuerzos de investigación y desarrollo en el área de control de *stock*, apareciendo así los sistemas ICS (*Inventory Control Systems*).

Con estos sistemas, se podía conocer el *stock* de cada producto existente en almacén, los consumos realizados en los diferentes periodos, y por supuesto, su valoración, algo imprescindible en la empresa actual.

De nuevo, la integración con el resto de aplicaciones informáticas de la empresa (contabilidad y administración) se revelaron como un factor muy importante en la optimización de los procesos [17].

### 3.2 Material Requirements Planning (MRP)

A finales de los años 60 y principios de los 70, aparecen los primeros sistemas MRP (*Materials Requirements Planning*). Estos sistemas, surgen como evolución de los ICS, mediante la utilización de las BOM (*Bill of Materials*)

La característica fundamental de los sistemas MRP es que aplican un enfoque jerárquico a la gestión de inventarios, permitiendo básicamente la elaboración del plan de materiales a partir de tres elementos fundamentales:

- El Programa Maestro de Producción (PMP).
- La lista de materiales (BOM).
- El fichero de registro de inventarios (FRI).

Los MRP alcanzan notables avances, entre

los que destacan la reducción de inventarios, la reducción de tiempos de proceso y suministro y el incremento de la eficiencia. Sin embargo, para alcanzar estos beneficios es necesaria una gran exactitud en el PMP.

Pero el principal problema de los MRP es que pasa por alto las restricciones de capacidad y las técnicas de gestión de talleres [17].

### 3.3 Manufacturing Requirement Planning (MRP II)

Los sistemas MRP II son una evolución natural de los Sistemas MRP que surgen durante los años 80. En esta nueva fase en la evolución de los sistemas de información para la gestión, se tienen en cuenta tanto las necesidades de gestión y planificación del material, como las de recursos y capacidades necesaria para la fabricación [17].

Aunque las siglas de estos nuevos sistemas de información (MRP II) son las mismas que en el caso de sus antecesores (MRP), no significan lo mismo. MRP II representa las palabras *Manufacturing Resources Planning*, y se añade el "II" para diferenciarlos claramente de los MRP tradicionales, que se centran exclusivamente en la gestión de materiales.

Este tipo de sistemas, como su nombre indica, están centrados en el área de producción, si bien es cierto, que tratan de integrarse con otras aplicaciones que gestionen otras áreas de la empresa.

Continuando con esta evolución, a los sistemas MRP II se les integran nuevas funcionalidades para cubrir otras áreas de gestión dentro de la empresa, como ingeniería, recursos humanos, gestión de proyectos, logística, etc.

Como consecuencia de ello, se incorpora el nuevo término ERP: Enterprise Resources Planning, o Planificación de Recursos Empresariales, que define más claramente el concepto de sistema de información integrado de gestión de empresas [17].

## 4. TIC's actuales en la logística interna

Según [16], las TIC'S se han convertido en un medio para agilizar, flexibilizar y mejorar

el intercambio de información y operaciones utilizadas en la gestión de almacenes.

En la figura 3, se presenta la aplicación de las TIC'S en los procesos. En esta figura se observa que el ERP es la tecnología fundamental para poder integrar y controlar los demás TIC'S en los procesos de gestión de almacenes.

Las principales TIC's aplicadas a esta logística interna, son: el ERP (*Enterprise Resource Planning*), WMS (*Warehouse Management System*), LMS (*Labor Management System*), Pick to Light-Voice, OMS (*Order Management System*), YMS (*Yard Management System*), Código de Barras, RFID (*Radio Frequency Identification*), SCE (*Supply Chain Execution*).

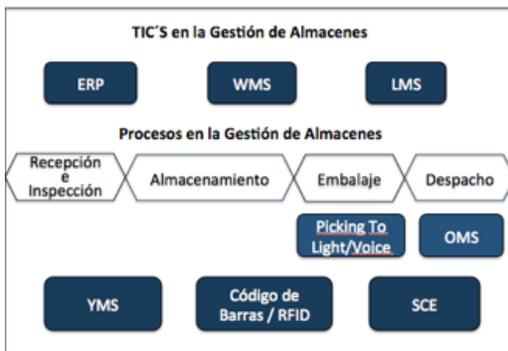


Figura 3. TIC's en la gestión de almacenes.

#### 4.1 ERP (*Enterprise Resource Planning*)

Planificación de recursos de la empresa, es un programa de *software* concebido para gestionar de forma integrada las funciones de la empresa [2].

Para SAP, principal proveedor en el mundo de ERP, lo define como una arquitectura de *software* empresarial que facilita e integra información [9] (ver figura 4).



Figura 4. Sistema Integrado de la Gestión Fuente: <http://ciberconta.unizar.es/leccion/introduc/450>. HTM

Las ventajas de los ERP residen principalmente en la utilización de una única base de datos, lo que facilita la comunicación e intercambio de información entre los departamentos de la empresa y evita la redundancia y duplicidad de la información.

#### 4.2 WMS (*Warehouse Management System*)

De acuerdo a [6], es un subsistema de información que ayuda en la administración del flujo del producto y el manejo de las instalaciones en la red logística. También permite un control adecuado del *stock*.

El WMS permite una adecuada gestión de la cadena de suministro, debido que facilita la optimización de los recursos, lo cual reduce costos y genera una mejora en la prestación del servicio debido a que se reduce la actividad de *picking*.

#### 4.3 LMS (*Labor Management System*)

Tiene como objetivo controlar las actividades de los operadores del almacén, lo cual, lo convierte en un complemento para el WMS [1].

Los sistemas LMS en su mayoría traen incluidas buenas prácticas para la realización de tareas en el almacén e indicadores para medir su rendimiento [4].

Por esta razón su aplicación en las operaciones de recepción y despacho se enfocan en controlar y medir el buen desempeño del personal y la utilización de los recursos lo cual permiten aumentar la eficiencia y eficacia de estas operaciones teniendo en cuenta que son el filtro de los productos antes de entrar o salir de la empresa.

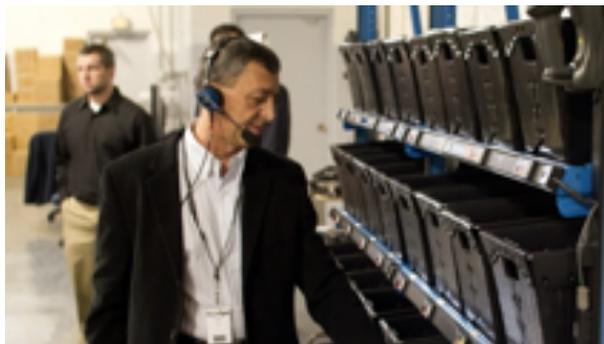
#### 4.4 *Pick to Light-Voice*

Son sistemas de *picking* que no utilizan papeles, sino que se basan en redes luminosas y sistemas de voz, respectivamente.

*Pick to Light* tiene como componente básico una serie de indicadores luminosos que guían al operario tanto en términos de ubicaciones de *picking*, como cantidades a recoger, y una vez realizada la operación pulsa un botón de

confirmación y el *stock* se actualiza en tiempo real [3].

Mientras en el *Picking to voice*, el operario del almacén lleva un receptor y un auricular donde puede recibir, transmitir y enviar mensajes cortos acerca de la operación de *picking* que está realizando (ver figura 5).



**Figura 5.** Sistema *Pick to Light- Pick to Voice*. Fuente: <http://mhlnews.com/technology-amp-automation/light-and-voice-combine-pickup-picking-s-pace>

#### 4.5 OMS (*Order Management System*)

Esta tecnología presenta funcionalidades relacionadas con la gestión de las órdenes en diferentes procesos logísticos tales como son la recepción, despacho, pedidos, ruteo y trazabilidad.

Generalmente, estos sistemas se encuentran en tiempo real e incluyen información de los productos y sus especificaciones, inventario disponible, información de los clientes entre otros. Lo cual puede facilitar las operaciones de recepción y despacho debido que suministrar información de los productos a entrar o salir respectivamente en tiempo real, lo cual puede disminuir los errores y aumentar la eficiencia en las operaciones [1].

#### 4.6 YMS (*Yard Management System*)

Es un sistema de administración de patios, que permite controlar los muelles de recepción y despacho, el rastreo y seguimiento del movimiento de los camiones a través de tecnología de localización en tiempo real [13].

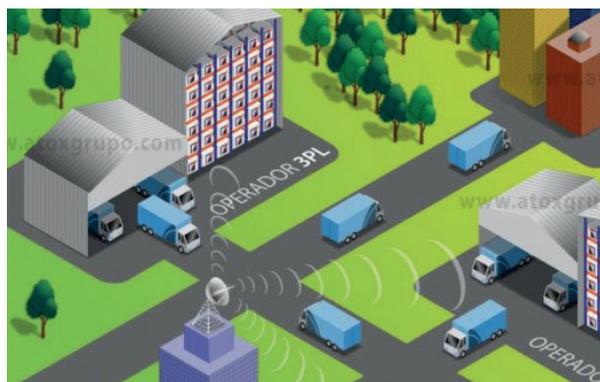
El impacto de esta tecnología en los procesos de recepción y despacho se ve reflejada al facilitar planeación y asignación de recursos

para la ejecución de las operaciones, debido que si se conoce el muelle y los productos que esperan ser cargados/ descargados se pueden eliminar tiempos muertos, minimización de riesgos de robos y mejor utilización de los recursos de la empresa, monitoreo de los camiones en los patios, medición de tiempos de espera, monitoreo de inventario en medios de transporte entre otros.

#### 4.7 Código de Barras, RFID (*Radio Frequency Identification*)

El código de barras es una tecnología de codificación que permite capturar información relacionada con los números de identificación de artículos, unidades logísticas y localizaciones de manera automática e inequívoca en cualquier punto de la Red de Valor [9].

Actualmente, es el mayor medio de identificación de productos, pero su existencia se encuentra amenazada por la identificación con radiofrecuencia, debido que este supera las limitaciones, y ofrece mayor flexibilidad y agilidad en la administración de la cadena de suministro (ver figura 6).



**Figura 6.** Identificación por radio frecuencia. Fuente: <http://www.consultralogistics.com/identificacioacuten-por-radiofrecuencia.html>

El RFID es un término genérico para denotar todas las tecnologías que usan como principio ondas de radio para identificar productos de forma automática, esta involucra el uso de etiquetas especiales o TAGS que emiten señales de radio a unos dispositivos llamados lectores, encargados de recoger las señales.

RFID no solo proporciona información, sino que puede almacenar permanentemente nuevos datos. Y ello sin escáner, sino simplemente a través de ondas electromagnéticas.

Se puede organizar el almacenamiento, la carga, el transporte y la entrega de mercadería electrónicamente, sin contacto físico entre el módulo RFID y el sistema correspondiente de recepción de datos.

#### **4.8 SCE (*Supply Chain Execution*)**

Según [10], es una tecnología que se enfoca a la optimización de movimientos de materiales entre el centro de distribución y los otros agentes de la cadena de suministro. Este sistema es la integración de otras herramientas de ejecución y visibilidad de la gestión de almacenamiento, tales como: LMS, WMS, entre otros.

Los beneficios potenciales al utilizar el SCE son:

- Optimizar los procesos logísticos.
- Cumplimiento de pedidos a tiempo y sin errores.
- Visibilidad del estado del pedido a través de la cadena.
- Uso óptimo del inventario disponible.
- Reducción de actividades en el centro de distribución.

### **5. TIC's logísticos verdes**

Durante los últimos años, la preocupación ambiental y las consecuencias que el vertiginoso despliegue de las nuevas tecnologías pueda producir en el medio ambiente, ha hecho que se adopten un conjunto de buenas prácticas y acciones concretas que permitan el uso eficiente de los recursos minimizando el impacto ambiental y maximizando su viabilidad económica [20].

Son aquellos sistemas y herramientas basados sobre todo en la informática, cuya aplicación en los recursos tecnológicos contribuyen a una reducción del impacto medioambiental de nuestra sociedad desarrollada [8].

El reto de nuestra sociedad de cara al futuro pasa por ganar en eficiencia, ahorrar dinero, reducir gastos energéticos y nuestra emisión

de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Las TIC pueden ser un aliado nuestro y responder a este reto social de manera eficiente [8].

#### **5.1 Contribución de los TIC'S logísticos a la sostenibilidad**

Según [8] es solamente si nos servimos de ellas para lograr una reducción del consumo de CO<sub>2</sub>, es decir, desarrollando sistemas que puedan contribuir a una reducción generalizada de la demanda energética.

La cadena de suministro no ha sido ajena al impacto de las TIC, las cuales han influido positivamente en su funcionamiento debido a que operan en un ambiente globalizado y altamente cambiante, donde la información oportuna y de calidad se convierte en el mejor aliado

La utilización de las TIC se ha intensificado gracias a su rápido desarrollo y aplicabilidad en los procesos logísticos. Además, si se considera la cantidad y complejidad de los procesos y actividades que implica la cadena de suministro, se hace casi obligatoria la utilización de las TIC para el tratamiento y posterior análisis de la información.

Utilizar TIC'S en la logística conlleva a la reducción de costos y a la mejora del flujo de bienes a través de la cadena de suministro.

Las TIC en la SCM pueden proporcionar ventajas potenciales como la reducción de tiempos de ciclo, reducción de inventarios, minimizar el efecto del látigo, y mejorar la efectividad de los canales de distribución

Actualmente existe gran variedad de TIC para aplicar en los procesos logísticos de la cadena de suministro.

Entre las TIC más comunes aplicadas a la logística de entrada se encuentra el EDI (*Electronic Document Interchange*), VMI (*Vendor Managed Inventory*), CRP (*Continuous Replenishment Program*), el *e-procurement* y *e-sourcing*.

Mientras para la logística interna se considera el ERP (*Enterprise Resource Planning*), MRP I (*Material Requirement Planning*), MRP II, WMS (*Warehouse Management System*).

Por último para la logística de salida se considera el TMS (*Transportation Management*

*System*), EDI, EPC (*Electronic Product Code*), entre otros.

Al día de hoy podemos hablar de tres tecnologías fundamentales:

Tecnologías que optimizan el uso de la energía haciendo los procesos existentes más eficientes.

Tecnologías que ahorran energía cambiando hábitos de gestión.

Tecnologías que transforman los modelos de negocios.

El cambio de cultura de gestión a través de las TIC, sobre todo, apoyándonos en la virtualización y las ventajas de la llamada “Nube” de Internet, que se conoce como “Oficina sin papel”.

Gestión que evita el consumo de la energía derivada de la producción de toneladas de papel, el consumo de impresoras, tinta, tóner, fotocopadoras, etc. La oficina sin papel puede estar compuesta únicamente por una mesa, una silla y un ordenador conectado a la red. Los usuarios almacenan, recuperan y utilizan solamente documentación digital que se guarda localmente o se envía a través de la red corporativa o de internet.

datos central en la que se pueda grabar toda su información (bienes, inventarios, venta, etcétera).

Hay una necesidad de un gran repositorio de datos centralizada con una interfaz de PC con el fin de almacenar, mantener, y procesar todos los bienes, descripciones, cantidades, y las órdenes de compra de manera eficiente y colectivamente.

La gestión del inventario y el seguimiento deben ser alterados drásticamente. El sistema actual es una exportación de WMS a una hoja de cálculo Excel que luego debe ser transferido manualmente de nuevo en el sistema de WMS.

## 6.2 Situación actual en VKY Logistic

Se plantea el caso de una empresa distribuidora que ha perdido liderazgo en el nivel empresarial y competitividad por la entrada de competidores internacionales. Los puntos identificados para mejoras son los siguientes:

- Problema en la gestión de aprovisionamiento.
- Procesos inadecuados y gestión de la información logística.
- Cambios en la estructura organizacional.
- Cambios en los procesos previamente homologados con el sistema de información.
- Confiabilidad de la información por captación manual de datos.

## 6.3 Posible solución para VKY Logistic

Como diagnóstico la posible solución se plantea de la siguiente manera comenzando con la estrategia seguido con las alternativas de las áreas de procesos como parte central, ver figura 7.

### 6.3.1 Reingeniería de procesos

En este punto se debe redefinir todo el proceso logístico, ya sea desde el aprovisionamiento hasta la expedición de la mercancía, y así eliminar todas las fallas que se producen cuando los procesos se cruzaban.

Se redefinieron en los siguientes subprocesos:

- Gestión de compras.

## 6. Caso de estudio

En esta sección plantaremos una situación real en la gestión de la logística de almacenes, utilizando tecnologías de información.

### 6.1 Objetivos de VKY Logistic

El objetivo de este estudio es el de analizar y mejorar la gestión de almacenamiento y la gestión de *stock* de los productos en cuanto a su ubicación, descripción y cantidades para remediar las principales causas del problema.

#### 6.1.1 Descripción del problema en VKY Logistic

En la empresa se ven afectados por el desconocimiento de las cantidades de los inventarios, ubicación y descripción del *stock*, por lo cual se desea eliminar la incertidumbre de *stock* y la ubicación, y tener una base de

- Gestión de almacenes y *stock*.
- Gestión de expediciones.



**Figura 7.** Estrategias propuestas para VKY Logistic.

Se debe implantar el concepto de líder de cada proceso de modo que puedan gestionar cada proceso a través de todos los departamentos y así plantear una estructura organizacional que pueda dotarse de más eficiencia a los procesos y subprocesos.

Además de la reingeniería también se debe formar al personal en técnicas de mejora continua para lograr que la empresa vaya ganando eficiencia y eficacia con el avance del tiempo y el desarrollo de los procesos y no perder lo logrado con el avance del tiempo (ver figura 8).



**Figura 8.** Propuesta de mejora continua en los procesos para VKY Logistic.

### 6.3.2 Gestión de la información

En el caso de la problemática en la fiabilidad

y disponibilidad de la información se implantó un sistema de captación de datos móviles integrados con el sistema de información WMS empleado en la empresa. Esta solución asegura la fiabilidad y disponibilidad de los datos y permite disminuir en gran medida los costes de gestión.

El dispositivo también debe tener la capacidad para proporcionar listas de lo que los elementos del sistema es esperando, no lo que se ha contado.

Si un artículo no se ha escaneado antes de salir de una habitación, el programa debe evitar el análisis o la selección de otra sección hasta que la totalidad del inventario esperado ha tenido en cuenta.

El programa debe tener la opción de escanear códigos de números de las secciones, códigos de número de parte de la empresa, o paletas para obtener una vista de todo el inventario en ese ambiente a la vez.

El programa debe rechazar la entrada y advertir al empleado que no existe en el caso de que la entrada no está en la lista de los lugares o elementos preaprobados.

Seguridad en el dispositivo funcionará en tres niveles: solo lectura, editar, y el administrador. Los usuarios administradores y editar tendrán los mismos derechos, pero en el escritorio, solo los administradores pueden añadir nuevos usuarios.

### 6.4 Requerimientos para la instalación del sistema de gestión

La aplicación para PC debe tener capacidades para extraer automáticamente datos a mano desde el dispositivo y compilar que en el sistema, una vez que la mano entra en su carga / soporte de sincronización.

Los datos de cada sitio deben mantenerse separados de los otros sitios.

El empleado debe ser capaz de gestionar la información de escritorio para cada artículo de inventario. Esto implica la adición de datos, analizarla, o eliminarlo, para hacer espacio para las nuevas importaciones.

Los datos deben ser fáciles de clasificar, filtro, y el informe usando una interfaz gráfica de usuario optimizada (GUI).

El programa de escritorio debe ser capaz de mantener los niveles de inventario separado (para cada habitación separada) del mismo artículo.

### 6.5 Implementación del sistema de gestión

Una implementación de la Fase I del nuevo sistema de gestión de inventario requiere la colaboración entre consultores y la empresa.

Las responsabilidades de los consultores incluyen:

- La instalación de la administración de inventario de *software* de aplicaciones de acceso a personalización *ScanSmart*.
- Incluye la instalación de la versión de escritorio de un PC en un sitio piloto del proyecto y la configuración del programa.
- Incluye la instalación de aplicaciones de mano en ocho y cincuenta y siete dispositivos portátiles basados en Windows Mobile en el sitio piloto del proyecto y la configuración.
- Capacitación en el correcto funcionamiento de los portátiles y de escritorio aplicaciones para personal de la empresa.
- Prueba de toda la aplicación y sus procesos para asegurar el funcionamiento correcto. Responsabilidades de la empresa en la implementación de la solución incluyen:
- Asegurarse de que el código de barras o etiquetas sean los correctos en todos los artículos de inventario o la ubicación de los artículos del inventario.
- Tomar una exportación de inventario del sistema WMS para todo el inventario en el sitio piloto guardar en formato específico a los nuevos requerimientos del sistema (.csv o .xls).
- Asegurarse de que todos los equipos se están ejecutando una nueva versión de programa suficientes y que un administrador del sistema está presente para instalar en todos los equipos.

Después de todas estas medidas se han adoptado para garantizar un proceso de

implementación sin problemas, tanto AB&R (Consultora) y la empresa trabajarán juntos para poner a prueba todo el sistema recién instalado a fondo, con el fin de garantizar un funcionamiento perfecto.

La mayoría de los costos de implementación viene de la creación del *software* a la medida, su instalación, los servicios en toda la tecnología proporcionada por AB&R, y dispositivos móviles resistentes.

## 7. Resultados

Con la implementación, la compañía disfrutará de una manera más óptima de manejar su negocio:

No existirá la incertidumbre de *stock* nivel y ubicación, realizar el control de inventario rápido, fácil, e informativo.

El sistema de gestión de inventario personalizada se integra con una base de datos central en la que grabar toda la información vital - activos, inventarios, ventas - y tiene una interfaz de PC para almacenamiento y tratamiento de todos los bienes, descripciones, y cantidades.

El tiempo dedicado a la transferencia de información de forma manual desde el papel a una base de datos ineficiente se guarda con un sistema central en el que se introduce y se almacena toda la información.

Los pedidos de los clientes se automatizan, por lo tanto, mejorará la precisión y el tiempo de cumplimiento de la orden. Se ahorrará tiempo con la aplicación y será un negocio más eficiente con esta inversión.

Mejora de los costes de los procesos administrativos.

Mayor satisfacción de los clientes debido a la mejora en el servicio. Aumento de la satisfacción del equipo humano gracias a tener procesos colaborativos, claramente definidos, comunicados e implantados.

## 8. Conclusiones

Hemos realizado una revisión sistemática sobre la cadena de suministro y la importancia en la gestión de los almacenes e inventario en

conjunto con las TIC'S en ésta, podemos concluir a través de esta investigación que todos estos conceptos representan una ventaja competitiva para la gestión de cualquier empresa.

Enmarcamos importantes temas tales como: Gestión de inventario, *stocks* de mercancía, fallas en los inventarios, gestión de almacenes y Tecnologías de información; cada uno relacionado con la logística interna a través de la operación, distribución, almacenamiento y gestión de recursos.

A partir de los temas descritos en el artículo se identificaron un conjunto de TIC'S aplicadas a la administración de la logística interna, los cuales cuentan con diferentes características acordes a las necesidades de una empresa u organización, incluso ayudan a la reducción de costos y facilitan el flujo de información por medio de procesos sistemáticos y la sincronización de los mismos.

De acuerdo a este artículo identificamos un caso de estudio sobre la empresa VKY Logistic en la cual validamos la importancia del uso actual de las TIC'S en la gestión logística de cualquier empresa para mejorar los procesos ya sea en la administración de inventario, almacenes o centros de distribución.

## REFERENCIAS

- [1] E. Frazelle & E. Frazelle, *World-class warehousing and material handling* vol. 280: McGraw-Hill New York, 2002.
- [2] J. Berenguer & J. Ramos, *Negocios digitales: competir utilizando Tecnologías de Información*, Navarra, España: Universidad de Navarra (EDUNSA), 2003.
- [3] J. A. Tompkins & D. A. Harmelink, *The supply chain handbook*: Tompkins Press, 2004.
- [4] R. Elsevier, *Labor management systems improve warehouse productivity, but users slow to adopt. The United States: Manufacturing Business Technology*. 14 P, 2006.
- [5] D. M. C. Aguirre & A. J. U. Rodríguez, *Logística de Operaciones: integrando las decisiones estratégicas para la competitividad*, Ingeniería Industrial, vol. 28, p. 6, 2007.
- [6] R. H. Ballou, *Business Logistics/Supply Chain Management*, 5/E (With Cd): Pearson Education India, 2007.
- [7] A. Gunasekaran, K.-h. Lai, & T. E. Cheng, *Responsive supply chain: a competitive strategy in a networked economy*, Omega, vol. 36, pp. 549-564, 2008.
- [8] W. H. C. Miramira, C. C. Contreras, & L. R. R. Guevara, "Sistemas de almacenamiento logísticos modernos," *Industrial Data*, vol. 12, pp. 037-040, 2009.
- [9] A. Correa Espinal & R. A. Gómez Montoya, "Tecnologías de la Información en la Cadena de Suministro," *Dyna*, vol. 76, pp. 37-48, 2009.
- [10] A. A. C. Espinal, R. A. G. Montoya, & J. A. C. Arenas, *Gestión de almacenes y tecnologías de la información y comunicación (TIC)*. Estudios Gerenciales, vol. 26, pp. 145-171, 2010.
- [11] C. A. C. Zuluaga, M. C. V. Gallego, & J. A. C. Urrego, *Clasificación ABC Multicriterio: tipos de criterios y efectos en la asignación de pesos*. Iteckne, vol. 8, 2011.
- [12] J. G. Arrieta Posada, *Aspectos a considerar para una buena gestión en los almacenes de las empresas (Centros de Distribución, CEDIS)*, *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, vol. 16, pp. 83-96, 2011.
- [13] R. F. Oltra Badenes, *Sistemas Integrados de Gestión Empresarial: Evolución histórica y tendencias de futuro*, 2012.
- [14] Y. Durán, *Administración del inventario, Visión Gerencial*, 2012.
- [15] A. V. Contreras, *Costos transaccionales y cadena de abastecimiento: un asunto de competitividad*, *Revista EAN*, pp. 62-81, 2013.
- [16] A. P. Bacca, *Gestión de almacenamiento: vinculación y utilización de los sistemas de almacenamiento en la cadena de abastecimiento*, 2015.
- [17] G. E. V. Camacho, N. P. Vasquez, & L. T. Ramos, *Tecnologías de Información aplicadas en la Gestión Logística en Gamarra, Information Technology Applied to Logistics management in Gamarra*.
- [18] PILOT, *Claves de la Supply Chain*. Available: [http://www.aragonempresa.com/descargar.php?a=50&t=paginas\\_web&i=391&f=0056036a047adb428cbd8ff1a7da532f](http://www.aragonempresa.com/descargar.php?a=50&t=paginas_web&i=391&f=0056036a047adb428cbd8ff1a7da532f) [Citado 30 de marzo de 2016].
- [19] PRICEWATERHOUSECOOPERS. *Manual Práctico de Logística*. Available: [http://www.aragonempresa.com/descargar.php?a=50&t=paginas\\_web&i=390&f=478c757ef7e3f646fcbdd1c277e5a330](http://www.aragonempresa.com/descargar.php?a=50&t=paginas_web&i=390&f=478c757ef7e3f646fcbdd1c277e5a330) [Citado 02 de abril de 2016].
- [20] J. M. Giner & Y. R. Rincón, *Nuevas tendencias en tecnologías verdes-Green IT para la Gestión en Organizaciones*.

## Evaluación de un sistema biológico de lodos activados a escala de laboratorio

### Evaluation of a biological system of laboratory scale activated sludge

50

Jeanie Alpírez<sup>1</sup>; Karla Avilés<sup>1</sup>; Helena Castillo<sup>1</sup>; Ivana Pinzón<sup>1</sup>; Rosa Mary Poveda<sup>1</sup> & Erick Vallester<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Ambiental – Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Licenciatura en Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** Se evalúa el funcionamiento y la eficiencia de un sistema de lodos activados, a partir de un reactor a escala de laboratorio completamente mezclado, alimentado con agua residual y bajo condiciones controladas como el pH. El sistema cuenta con un caudal promedio de 9.77 mL/min y un tiempo de retención hidráulico de 29.3 horas (1.2 días). Posee una carga orgánica promedio de DBO en el afluente de 0.12 kg DBO5/m<sup>3</sup>\*día. Las mediciones se realizaron en un período aproximado de tres meses, en los cuales se obtuvo como resultado una remoción de DQO de 54%, de sólidos suspendidos de 70% y de DBO de 83%, lo que indica que es un sistema apto para la reducción de materia orgánica.

**Palabras claves** Eficiencia, lodos activados, microorganismos, tratamiento de aguas residuales.

**Abstract** This study evaluates the performance and efficiency of an activated sludge system, from a completely mixed laboratory scale reactor, fed with waste water and under controlled conditions such as pH. The system has an average flow rate of 9.77 ml / min and a hydraulic retention time of 29.3 hours (1.2 days). It has an average organic load of BOD in the influent of 0.12 kg BOD5 / m<sup>3</sup>-day. The measurements were carried out over a period of approximately three months, resulting in a removal of COD of 54%, suspended solids of 70% and BOD of 83%, indicating that it is a system suitable for reduction of organic matter.

**Keywords** Efficiency, activated sludge, microorganisms, wastewater treatment.

\* Corresponding author: erick.vallester@utp.ac.pa

## 1. Introducción

Los lodos activados son un proceso biológico empleado en el tratamiento de aguas residuales convencional, que consiste en el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculos en un depósito agitado, aireado y alimentado con el agua residual, que es capaz de metabolizar como nutrientes los contaminantes biológicos presentes en esa agua. Este estudio consiste en el monitoreo y evaluación del funcionamiento de un sistema de lodos activados. El reactor cuenta con una zona de aireación y una zona de sedimentación.

La zona de aireación tiene como objetivo introducir oxígeno a este y mantenerlo en movimiento para que se den las condiciones para el desarrollo y crecimiento de las bacterias dentro del sistema.

La zona de sedimentación, es el lugar en donde se depositan los lodos (separación sólido – líquido) formados durante el proceso como producto de la metabolización, que es llevada a cabo por las bacterias de la materia orgánica presentes en el agua, mediante la utilización de oxígeno (proceso aeróbico).

Para la evaluación se midió parámetros como sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos volátiles, pH, temperatura, caudal, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto, DQO y DBO, que nos permitieron evaluar las condiciones y eficiencias del tratamiento de las aguas residuales por medio del sistema biológico de lodos activados.

## 2. Materiales y metodología

El trabajo experimental se realizó en los laboratorios de Hidráulica y Sanitaria de la Facultad de Ingeniería Civil. El proyecto duró aproximadamente dos meses durante el desarrollo del segundo semestre del año 2016.

### 2.1 Materiales

El sistema consiste en un reactor completamente mezclado. Una vez que las partículas ingresan al reactor, inmediatamente se homogenizan y como consecuencia todas las partículas tienen las mismas características.

El reactor está dividido en una zona de aireación

y en una zona de sedimentación. El volumen de agua de la zona de aireación es de 12.20 litros y de la zona de sedimentación es 5.00 litros, teniendo un volumen total de 17.20 litros.

Previo a la entrada del agua al sistema, se le adicionó difosfato de potasio ( $K_2HPO_4$ ) para el control del pH. El agua residual ingresa al reactor por gravedad mediante un tubo de 3/4 pulgadas.

Una vez integrada el agua residual se inicia un proceso de introducción de aire a través de una bomba Tetra Whisper 60 que suministra oxígeno al sistema.

### 2.2 Metodología

Para la evaluación del sistema se realizaron pruebas dos días a la semana (martes y jueves) desde finales de agosto a finales de octubre. Se colectaron muestras de agua en la entrada y la salida del sistema para dichas pruebas.

#### 2.2.1 Análisis de pruebas microbiológicas

Para las pruebas microbiológicas se evaluaron aspectos como diferenciación bacteriológica por medio del método de Tinción Gram, el cual se realizó dos veces durante la ejecución del estudio; Coliformes Totales mediante el método de filtro de membrana, se realizaron cada quince días y la identificación de la presencia de microorganismos, a través de la observación en el microscopio.

#### 2.2.2 Análisis de pruebas fisicoquímicas

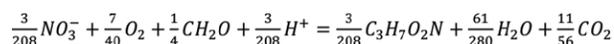
Los análisis físicos realizados durante estos meses de pruebas consistieron en mediciones por medio del Equipo Multiparámetro Digital Profesional Series YSI. Además, se ejecutaron otros análisis para determinar la Demanda Química de Oxígeno (DQO) mediante el método de Digestión por Dicromato de Potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), realizando las lecturas mediante un espectrofotómetro HACH DR/2010. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) se midió mediante la diferenciación de oxígeno consumido ( $O_2$ ), este último determinado a partir del método de Winkler.

Las mediciones de las concentraciones de sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos volátiles fueron realizadas mediante el análisis gravimétrico.

### 2.2.3 Mediciones adicionales

Para una mejor eficiencia en el sistema de lodos activados se realizaron procesos adicionales como la adición de glucosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) como fuente de carbono y energía, en donde la dosis suministrada fue de 4.25 gramos dos veces a la semana a partir de la cuarta semana del mes de septiembre.

La ecuación estequiométrica para dicho sistema es la siguiente:



A partir de la primera semana de octubre hubo cambios en el funcionamiento del sistema, colocándose un temporizador programado para que cada cuatro horas se apagara o se encendiera, obteniendo así intervalos de activación del sistema aireador y periodos en donde el reactor no se encontraba aireado. Convirtiendo el sistema en un Reactor Biológico Secuencial (SBR).

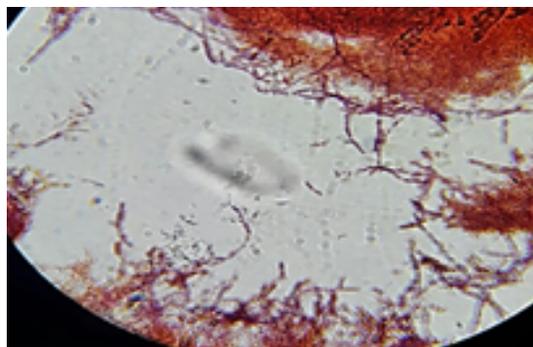
Además, se hicieron mediciones de caudal periódicamente mediante el método volumétrico. Los coeficientes  $k$  de remoción de los parámetros de eficiencia fueron determinados por el método gráfico y para un orden reacción de uno.

## 3. Resultados y discusión

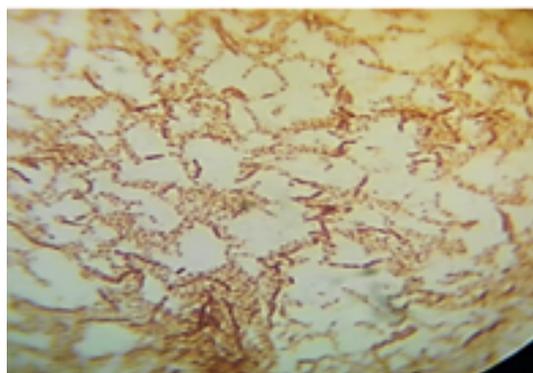
### 3.1 Resultados microbiológicos

#### 3.1.1 Tinción de Gram

Las coloraciones de las bacterias con formas alargadas tipo bacilos en todos los análisis hechos resultaron de color rojizo (ver figuras 1 y 2), lo que nos indicó presencia de bacterias Gram negativas, las cuales están relacionadas con una alta carga de alimento. [1]



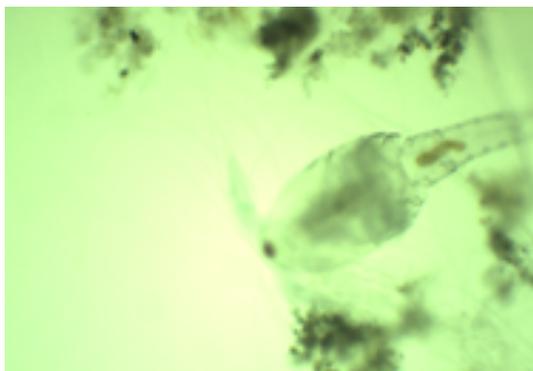
**Figura 1.** Tinción de bacterias (Gram negativas en el afluente). Observado con objetivo 10x.



**Figura 2.** Tinción de Bacterias (Gram negativas en el efluente). Observado con objetivo 10x.

#### 3.1.2 Observación de microorganismos

En las siguientes imágenes se muestran los diversos microorganismos [2-3] encontrados durante el período de evaluación, los cuales son indicadores del buen funcionamiento y eficiencia dentro del sistema de sedimentación (figuras 3 y 4) y aireación (figuras 5, 6 y 7).



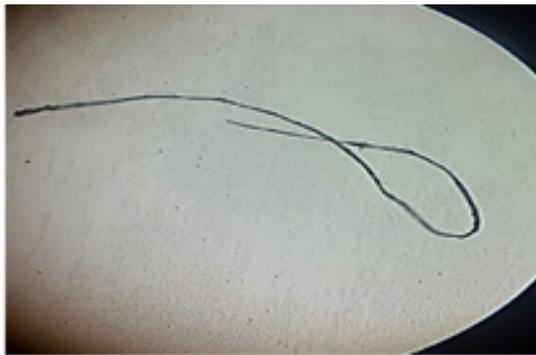
**Figura 3.** Microorganismo Cyclops Sp. Observado con objetivo 10x.

### 3.1.3 Coliformes totales

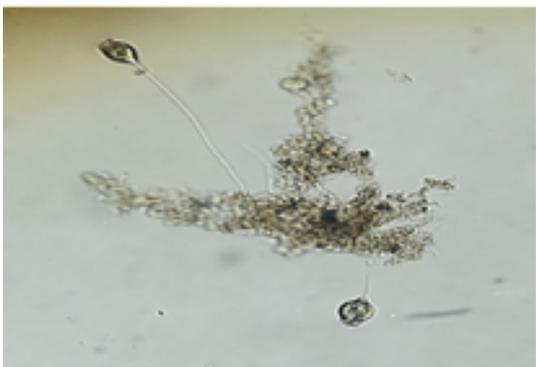
En la tabla 1, a partir de la semana en que se inició la utilización del temporizador la cantidad de unidades formadoras de colonias (UFC) aumentó en la salida del sistema, sin embargo, dicha situación no se presentó en la entrada, debido a que el lugar donde se tomaron estas muestras no se encontraba dentro del reactor.



**Figura 4.** Microorganismo *Cocconus*, observado con Objetivo 10x.



**Figura 5.** Microorganismo *Oedogonium*, observado con objetivo 10x.



**Figura 6.** Microorganismo *Epistylis Plicastilis*. Observado con objetivo 10x.



**Figura 7.** Microorganismo *Epistylis Plicastilis*. Observado con objetivo 10x.

**Tabla 1.** Resultados de coliformes

Período UFC/100mL (entrada) UFC/100mL (salida)

Período	UFC	UFC/100mL
Día 23	80	160
	40	50
	80	60
Día 30	5	5
	7	10
	0	12
Día 14	0	430
	0	> 333
	0	200

### 3.2 Resultados fisicoquímicos

#### 3.2.1 Potencial de hidrógeno (pH)

Se obtuvo un valor promedio en el afluente de 6.65 unidades con una desviación de 0.57 y en el efluente de 7.57 con una desviación de 0.40.

Ya que el potencial de hidrógeno se mantuvo dentro del rango de 4.0 a 9.0 unidades, se puede considerar que no hubo efecto del mismo sobre el crecimiento de los microorganismos [4].

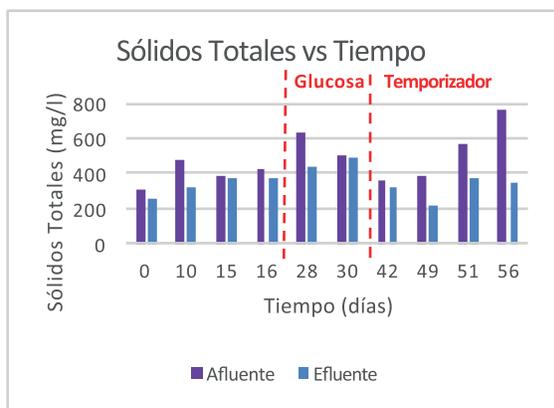
Esto se debe a que durante la evaluación se controlaron las condiciones de potencial de hidrógeno.

#### 3.2.2 Sólidos Totales (ST)

En promedio se obtuvo una concentración de 480.55 mg/L con una desviación estándar de 136.62 mg/L en el afluente, indicado valores relativamente bajos [5].

En el efluente se obtuvo una concentración promedio de 352.9 mg/L con una desviación estándar de 80.48 mg/l.

Tal como se presenta en el gráfico de la figura 8, las concentraciones de sólidos totales aumentaron una vez se empezó a añadir la glucosa y luego de iniciar el funcionamiento con el temporizador las concentraciones en el efluente disminuyeron.



**Figura 8.** Gráfico de la variación de concentraciones de sólidos totales en el afluente y efluente del sistema.

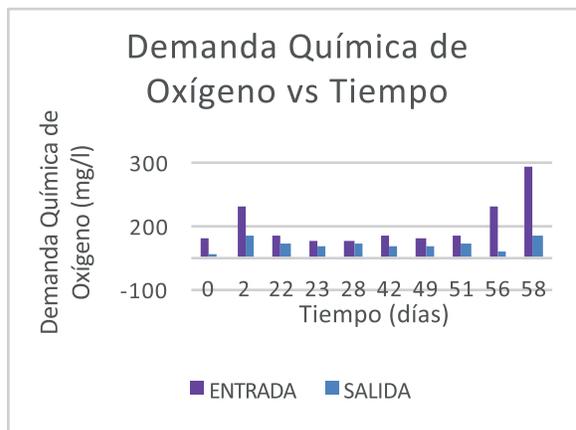
### 3.2.4 Sólidos Volátiles (SV)

El sistema presentó una concentración promedio de sólidos volátiles en el afluente de 227.44 mg/L ± 103.40 mg/L y en el efluente de 141.07 mg/L ± 46.26 mg/L.

### 3.2.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se obtuvo una concentración media en el afluente de 93.53 mg/L ± 73.13 mg/L y en el efluente de 39.2 mg/L ± 17.14 mg/L.

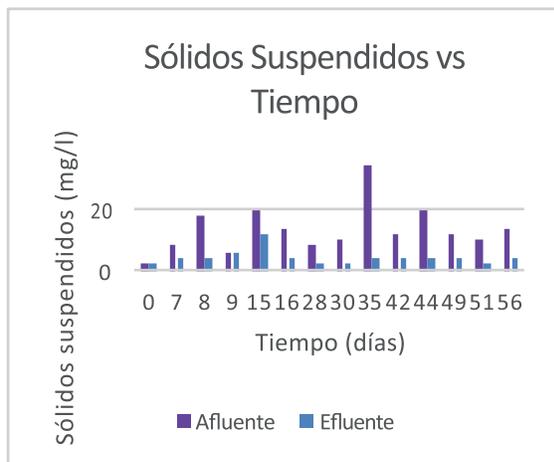
Los niveles de DQO en el efluente fueron más estables a partir de la adición de la glucosa y además tendieron a disminuir a través del tiempo tal como se muestra en el gráfico de la figura 10. En los últimos días se dio un aumento en aumento significativo en las concentraciones tanto del afluente como el efluente, por la alteración de la composición del agua en procesos previos.



**Figura 10.** Gráfico de la variación de los niveles de demanda química de oxígeno en el afluente y efluente del sistema.

### 3.2.3 Sólidos Suspendedos (SS)

La concentración promedio de sólidos suspendidos en el afluente fue de 13.43 mg/L ± 7.86 mg/L y en el efluente de 4.14 mg/L ± 2.54 mg/L. En ambos se encuentran en concentraciones bajas en comparación con una composición típica de agua residual [4] (ver figura 9).



**Figura 9.** Gráfico de la variación de concentraciones de sólidos suspendidos en el afluente y efluente del sistema.

### 3.2.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

Las concentraciones promedio de DBO5 en el afluente del sistema fue de 56.33 mg/L ± 22.14 mg/L siendo esta una concentración baja. [4].

En el efluente se obtuvo un valor medio de 13.98 mg/L ± 7.92 mg/L. En la última medición también se presentó un aumento significativo en las concentraciones de DBO5.

54

### 3.3 Cálculos y resultados adicionales

#### 3.3.1 Características del sistema

Tomando en cuenta un caudal promedio de 9.77 mL/min se obtuvo un tiempo de retención hidráulico medio de 29.3 horas (1.2 días), que está dentro del rango para los sistemas de lodos activados de aireación prolongada (18-36 horas) [4] [6-7].

La carga orgánica volumétrica promedio del afluente del sistema se determinó en 0.12 kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>\*día, resultando dentro del rango aceptable para los sistemas de aireación extendida (0.1-0.4 kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>\*día) [4].

El sistema contó con una carga hidráulica de 0.24 m/día. Además, se determinó que la relación F/M es elevada ya que se obtuvo en promedio 2.00 kg DBO/kg SSVLM\*día en comparación con los valores típicos para los procesos de aireación extendida y de mezcla completa (0.05 -0.15 Kg DBO/Kg SSVLM-día) [4] [6] [8].

Lo que se traduce a que no existe un equilibrio entre alimento y la generación de biomasa o microorganismo dentro del sistema. Se obtuvo un coeficiente *k* de consumo de oxígeno de 0.6556/día.

Se determinó que el índice volumétrico de lodos (IVL) es de 193 mL/g.

Este se encuentra en un rango mayor que 150 mL/g por lo que representa que el sistema tiene una pobre compactación y sedimentación de los lodos [9].

Por lo tanto presenta una baja velocidad de sedimentación del sistema fue de 4.16 cm/min (2.50 m/h), ya que se espera un lodo fácilmente sedimentable con una velocidad de 6 m/h. [10]

#### 3.3.2 Coeficiente (k) y tasas de remoción

En la tabla 2 se presentan los coeficientes *k* de remoción de los parámetros de demanda química de oxígeno (DQO) y de los sólidos suspendidos.

Estos coeficientes se determinaron para un orden de reacción uno (n=1).

**Tabla 2.** Coeficientes de remoción del sistema

Parámetro	Coefficiente de remoción <i>k</i> (/día)
DQO	0.0234
Sólidos suspendidos	0.0355

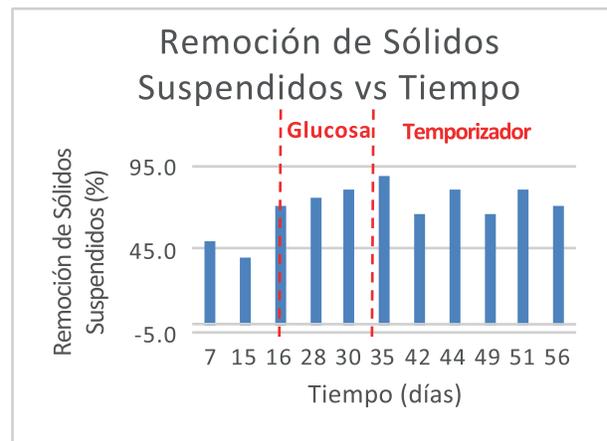
El sistema presentó una tasa de remoción para la demanda química de oxígeno de 1.32 mg/L\*hora con una desviación de 2.22 mg/L\*hora.

Para la demanda bioquímica de oxígeno de 4.28 mg/L\*hora con una desviación estándar de 4.48 mg/L\*hora y finalmente para los sólidos suspendidos de 0.36 mg/L\*hora con una desviación estándar de 0.28 mg/L\*hora.

#### 3.3.3 Eficiencia de remoción

Los gráficos de las figuras 11 y 12 muestran el porcentaje de remoción que obtuvo el sistema a lo largo del período de evaluación para los sólidos suspendidos.

El sistema de lodos activados alcanzó un valor promedio de remoción de 70.0%, por debajo de lo presentado en la teoría [4].

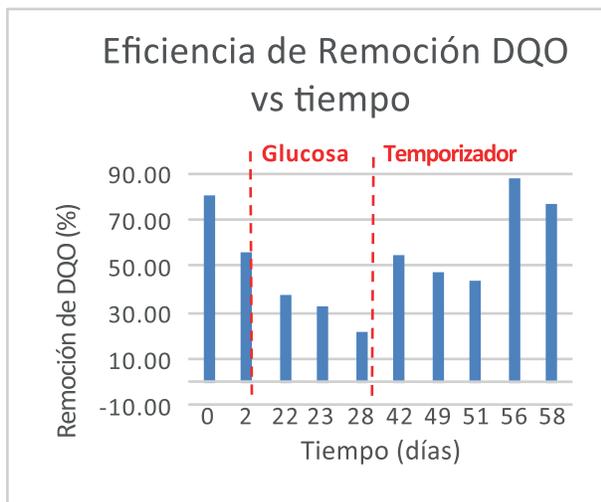


**Figura 11.** Gráfico del rendimiento de eliminación de sólidos suspendidos en porcentaje.

El sistema contó con una eficiencia media de remoción de DQO de 54%.

En el gráfico de la figura 12 se muestra el porcentaje de eficiencia a lo largo del período de evaluación. La eficiencia disminuyó a partir

de cuando se añadió la glucosa en el reactor, pero registró un aumento a partir del día 35, donde comenzó a operar el temporizador.



**Figura 12.** Gráfico del rendimiento de eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO).

Se determinó que la eficiencia promedio de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) fue de 83%, lo cual representa una alta eficiencia del sistema de lodos activados, la cual cumple con los valores encontrados en la teoría [4].

#### 4. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en la evaluación del sistema de lodos activados queda demostrada la eficiencia de este, en donde se alcanzó un 83 por ciento de eficiencia de DBO5. Esto indica que todos los procesos en conjunto cumplen con los objetivos de remoción de materia orgánica, es decir, es un sistema efectivo para el tratamiento de aguas residuales de diferentes procedencias.

El sistema de lodos activados se mantuvo constantemente en condiciones aeróbicas, por medio de dos elementos aireadores que proporcionaron el nivel de oxígeno necesario para la subsistencia de los microorganismos habitantes.

El sistema de lodos activos presentó las siguientes tasas de remoción promedio: de DQO 1.32 mg/L\*h, de DBO 4.28 mg/L\*h y de sólidos suspendidos 0.36 mg/L\*h.

El índice volumétrico calculado, 193 mL/g se encuentra en un rango >150 resultando con una pobre compactación y sedimentación de los lodos activados, que se puede deber a la presencia de microorganismos filamentosos; en donde el crecimiento de estos microorganismos se debe a las variaciones y la composición del agua residual.

Otros factores del sistema también influirán en el desarrollo de los microorganismos filamentosos como lo son las aguas residuales con altos niveles de carbohidratos, en nuestro caso la glucosa.

Los microorganismos identificados en el sistema de lodos activados son indicadores del buen funcionamiento de este. La población microbiana dentro del sistema se mantuvo dentro de los niveles (población) apropiados para su desarrollo, pues se controlaron ciertos parámetros como la temperatura, pH y salinidad. Además, a los microorganismos se le suministró glucosa como fuente de energía para su crecimiento y desarrollo.

#### 5. Recomendaciones

Mejorar las condiciones de los procesos adicionales en la dotación de la glucosa se considera establecer un mejor método para dosificar la glucosa con el fin de que sea más eficiente y poder así propiciar el buen desarrollo de los microorganismos existentes en el reactor.

Mejorar las técnicas de los métodos de análisis. La realización de los análisis de demanda química de oxígeno (DQO) se debe realizar en recipientes que no estén reutilizados, pues pueden interferir en la alteración de los resultados finales.

Obtención de la muestra de entrada al sistema de lodos activados. Se debe corregir la forma de obtención de la muestra entrante al sistema de lodos activados para que las características con que cuentan las mismas se aproximen realmente a las concentraciones del afluente en el reactor con el fin de que los análisis de los diferentes parámetros resulten con menores errores.

#### REFERENCIAS

- [1] F. Hirthammer. Schwimmschlamm - Mikrobiologie und Gegenmaßnahmen, Verlag, Alemania, 2000.

*Alpírez (et al): Evaluación de un sistema biológico de lodos activados a escala de laboratorio.*

- [2] L. Méndez, V. Miyashiro, R. Rojas, M. Cotrado, N. Carrasco, “Tratamiento de Aguas Residuales Mediante Lodos Activados a Escala de Laboratorio”, Revista B del Instituto de Investigación FIGMMG, vol. 7, no. 14, pp 1-10, 2004.
- [3] Online Available: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloI/5Microbiologiadelodosactivados.pdf>
- [4] Metcalf, Eddy, Ingeniería de aguas residuales, Volumen 1, Tratamiento, vertido y reutilización, Tercera Edición, Mc Graw Hill, España, 1991.
- [5] J. Borrero, A. Torres & A. Baquero, Estudio de tratabilidad de las aguas residuales en Bogotá con lodos activados, Primera edición, Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Colombia, 2015.
- [6] W. Lozano-Rivas, “Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales”, Syllabus, Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Antonio Nariño, Bogotá D.C., Colombia, Febrero de 2012.
- [7] D. Orhon, N. Artan, Modelling of activated sludge systems. Technomic Press, U.S.A., 1994.
- [8] Online Available: [https://www.google.com/url?sa=t&rc=t=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjX84j\\_177QAhVBJCYKHcWQDWMQFfguMAI&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffile.PostFileLoader.html%3Fid%3D552b2123f15bc798698b45ea%26assetKey%3DAS%253A273755610255361%25401442279831218&usg=AFQjCNEtCdDqblM57erox7ZqclettiTmDg&sig2=UAAEeljiF9-rmFUfne\\_3ySA&bvm=bv.139782543,d.eWE](https://www.google.com/url?sa=t&rc=t=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjX84j_177QAhVBJCYKHcWQDWMQFfguMAI&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffile.PostFileLoader.html%3Fid%3D552b2123f15bc798698b45ea%26assetKey%3DAS%253A273755610255361%25401442279831218&usg=AFQjCNEtCdDqblM57erox7ZqclettiTmDg&sig2=UAAEeljiF9-rmFUfne_3ySA&bvm=bv.139782543,d.eWE)
- [9] L. Grady, G. Daigger, & H. Lim, Biological Wastewater Treatment, 2nd ed., Marcel Dekker, Inc. New York, 1999.
- [10] R.S. Ramalho, Tratamiento de aguas residuales, Segunda Edición, Reverté S.A., 1990.

# Evaluación del funcionamiento de una barrera activa, para remover nitratos a escala de laboratorio

## Evaluation of the functioning of an active barrier, to remove nitrates at laboratory scale

58

Ángel Aguilar<sup>1</sup>; Danelis Almendra<sup>1</sup>; Luis Carvajal<sup>1</sup>; Yara González<sup>1</sup>; Marianela Isaza<sup>1</sup> & Erick Vallester<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Ambiental – Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** Este proyecto consiste en un sistema de aguas subterráneas, dividido en tres zonas: zona de arena, zona de tusas de maíz (barrera activa) y zona de arena y grava. Para realizar los estudios necesarios se utilizan químicos como: nitrato de potasio, bisulfito de sodio (regula el oxígeno disuelto) y difosfato de potasio (regula el potencial de hidrógeno). Se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos para la evaluación de la eficiencia de remoción de nitratos, para estos se obtuvieron datos de pH, caudal, potencial de óxido-reducción, concentración de nitrato, sólidos totales, coliformes totales, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, entre otras. Las bacterias descomponen el nitrato en nitrógeno y oxígeno molecular y obtienen su fuente de carbono por medio de las tusas de maíz.

**Palabras claves** Bacteria, barrera activa, nitrato, tusas de maíz.

**Abstract** This project consists of a groundwater system, divided into three zones: sand, corncob area (active barrier) and sand and gravel area. To perform the necessary studies chemicals are used as potassium nitrate, sodium bisulfite (regulates dissolved oxygen) and potassium diphosphate (regulates the potential of hydrogen). Physico-chemical and microbiological analysis for assessing the efficiency of nitrate removal were conducted for these acquired saw pH data, flow, potential redox, nitrate concentration, total solids, total coliforms, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, among others. Bacteria decompose the nitrate into nitrogen and oxygen and molecular carbon source obtained through the corncobs.

**Keywords** Bacterium, active barrier, nitrate, corncob.

\* Corresponding author: erick.vallester@utp.ac.pa

## 1. Introducción

El nitrato es encontrado naturalmente en el suelo y agua, pero en muy bajas concentraciones.

Actualmente los fertilizantes usados en la agricultura son ricos en nitrógeno, ya que estos contribuyen en el crecimiento de las plantas.

A través de la lixiviación estos nutrientes pueden llegar a las aguas subterráneas y contaminarlas [1].

Para encontrar una solución a la contaminación se usan diferentes técnicas, entre ellas está la desnitrificación, que es un proceso biológico de reducción del nitrato a nitrógeno molecular, en condiciones anóxicas, por la acción de bacterias heterótrofas.

Este proyecto tiene como objetivo remover la mayor cantidad de nitrato a través de una barrera activa, mediante un modelo a escala de laboratorio, que simula un cuerpo de agua subterránea, utilizando la técnica antes mencionada, para esto se utilizaron desechos orgánicos de la agricultura específicamente la tusa de maíz.

El comportamiento del sistema se verificó mediante pruebas de laboratorios.

A continuación, se muestra la metodología utilizada en el proyecto, los resultados obtenidos y por último un apartado con la conclusión, recomendaciones y referencias bibliográficas.

## 2. Materiales y métodos

En esta sección se muestran los materiales y la metodología utilizada en la elaboración de la barrera activa.

En esta etapa se abarcan las fases más importantes para la elaboración del sistema, que constituyen la parte fundamental para el desarrollo y funcionamiento del mismo.

Antes del desarrollo del proyecto se realizó una revisión bibliográfica de distintas fuentes, publicaciones y sitios web aplicados y referentes al tema, mediante la cual se aplican estos conceptos teóricos y toda la información recopilada para diseñar y dimensionar de manera apropiada el modelo.

### 2.1 Selección de los materiales

La barrera activa está compuesta por material orgánico reutilizado, en este caso la tusa de maíz,

con un diámetro aproximado de 20 mm, ya que esta posee las características y propiedades necesarias como fuente removedora de nitrato. El sistema se elaboró con láminas de acrílico, con una altura de 300 mm, espesor de 300 mm y una longitud de 910 mm.

El modelo a escala de laboratorio simula el flujo del agua subterránea, el cual se ha clasificado en tres secciones: zona de arena, zona de tusa de maíz y una zona de grava y arena.

La zona de tusa de maíz (barrera activa) comprende un volumen de  $8 \times 10^6$  mm<sup>3</sup> del volumen total del sistema. Además, este cuenta con una entrada y salida, con un recorrido de flujo ascendente a través de las zonas mencionadas y con tres pozos de recolección, dos (2) en la entrada (antes de la barrera activa) y uno (1) en la salida (después de la barrera activa), que son tubos de pvc con un diámetro de 32 mm cada uno, la zona de tusa de maíz se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Barrera activa.

El agua residual que alimenta el sistema, se elaboró de manera sintética, con las propiedades necesarias que se requieren, mediante la adición de químicos como: nitrato de potasio, bisulfato de sodio (regula el oxígeno disuelto) y difosfato de potasio (regula el potencial de hidrógeno).

El caudal del tanque de abastecimiento se mantiene con un caudal de 8 mL/min.

### 2.2 Análisis granulométrico de la arena y grava

El proceso de estudio de la granulometría de

la arena y la grava se realizó mediante la prueba de tamices.

Para llevar a cabo esta prueba se necesitó que el material estuviera completamente seco, se introdujo 24 horas en el horno [2].

Mediante esta prueba se obtuvo datos importantes tales como: el coeficiente de uniformidad y curvatura, la porosidad y el tipo de suelo, este último se obtuvo mediante el método de sistema unificado de clasificación de suelos, dando como resultado para la arena, una arena mal graduada y para la grava con arena, una grava mal graduada con arena.

### 2.3 Evaluación preliminar

La eficiencia del sistema en la remoción de nitratos, se determinó a partir de la medición de ciertos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Estos análisis se llevaron a cabo tanto en la entrada como en la salida del sistema, a partir de los datos obtenidos durante el período de pruebas iniciado desde el 24 de agosto hasta el 1 de noviembre.

En cada una de las muestras se evaluaron los parámetros que se presentan en el cuadro 1, indicando la frecuencia con la que se realizan las pruebas a la semana o al mes según sea el caso.

Todos los métodos utilizados en el presente estudio para evaluar el funcionamiento de la barrera activa se basan en aquellos establecidos en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2000).

**Cuadro 1.** Frecuencia para evaluar los parámetros en el sistema

Período	UFC/100mL (entrada)	UFC/100mL (salida)
Día 23	80	160
	40	50
	80	60
Día 30	5	5
	7	10
	0	12
Día 14	0	430
	0	> 333
	0	200

El caudal define el tiempo de retención hidráulico. Para mantener el caudal constante, se manipula la válvula para aumentar o disminuir la entrada al sistema.

Es importante señalar que al tanque de abastecimiento se le realiza un mantenimiento y llenado cada vez que el sistema así lo requiera (2 veces a la semana aproximadamente).

### 2.4 Evaluación y comparación de resultados

Los resultados obtenidos mediante las pruebas de laboratorio realizadas se analizan para:

- Comparar la eficiencia de remoción de nitratos utilizando la tusa de maíz como fuente de energía para las bacterias degradadoras, así como el funcionamiento y operación del mismo.
- Las posibles ventajas y desventajas del sistema.
- Obtener las condiciones favorables adecuadas de operación y mantenimiento que garanticen el adecuado desempeño y funcionamiento.

Como complemento adicional se realizan observaciones microbiológicas, para conocer de manera detallada la microfauna presente en el sistema de tratamiento, siendo esta una parte informativa del proyecto.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Parámetros medidos del material de arena y grava

La arena tiene un coeficiente de uniformidad de 1,64, se clasificó como arena mal graduada.

La grava tiene un coeficiente de uniformidad de 2.9 y se clasificó como grava mal graduada con arena. La porosidad de la arena es de 25% y de la grava 40%.

### 3.2 Parámetros generales del sistema

El tiempo de retención del sistema es de 1 día, con un caudal promedio de 8 ml/min, la carga orgánica es de 3 kg DBO/m<sup>3</sup> y la carga hidráulica de 42,2 L/m<sup>2</sup>\*d.

El sistema bajo condiciones ideales se comporta como un reactor de flujo tipo pistón, con un orden de reacción (n) uno (1). Las constantes

de reacción (k) para el nitrato (NO<sub>3</sub>) y demanda química de oxígeno (DQO) son respectivamente, 0.0057 d<sup>-1</sup> y 0,0291 d<sup>-1</sup>.

Para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) no se obtuvo la constante de reacción, debido a que no se contaba con una cantidad de datos suficientes que permitiera un análisis consistente.

La tasa promedio de remoción de nitrato fue de 0.11 g/L\*d. Este valor puede compararse con otros estudios que se han realizado en base a los posibles funcionamientos en la capacidad de remoción que tenga las tusas de maíz, para así establecer un significado ideal para este resultado [3].

### 3.3 Parámetros fisicoquímicos

En la tabla 1 se muestran los valores promediados de temperatura, pH, potencial de óxido reducción, oxígeno disuelto, conductividad y salinidad.

Los parámetros arriba mencionados fueron medidos durante los dos meses para conocer el comportamiento del sistema, que permitiera controlar el desarrollo factible de los microorganismos y por ende la eficaz actividad de remoción.

**Tabla 2.** Valores promediados de los parámetros fisicoquímicos medidos en la entrada y salida del sistema

Entrada						
	T (°C)	pH	ORP (mV)	OD (mg/L)	C (µs/cm)	S (ppt)
Media	24.2	6.7	40.1	4.0	455.2	0.2
Estándar Desviación	1.1	0.3	92.3	3.2	59.2	0.03
Rango	22.7	6.1	42	0.1	392.5	0.2
	a	a	a	a	a	a
	25.6	7.1	154.7	7.7	578	0.3
Salida						
	T (°C)	pH	ORP (mV)	OD (mg/L)	C (µs/cm)	S (ppt)
Media	24.3	6.6	-6.3	3.1	444.1	0.2
Desviación Estándar	1.1	0.5	62.4	1.7	107.4	0.05
Rango	22.9	4.8	-111.4	1.3	358.6	0.2
	a	a	a	a	a	a
	25.4	7.1	-154	6.4	477.8	0.5

### 3.4 DQO, DBO y SSV

En la tabla 2 se muestran los resultados de los análisis realizados durante cuatro semanas, para determinar la DBO, al igual que la DQO y los sólidos suspendidos volátiles (SSV).

A diferencia de los sistemas de lodos activados la DBO debe mantenerse baja en el afluente, ya que este es anóxico y requiere que los microorganismos demanden más oxígeno en la salida para lograr la eficiencia de remoción del nitrato.

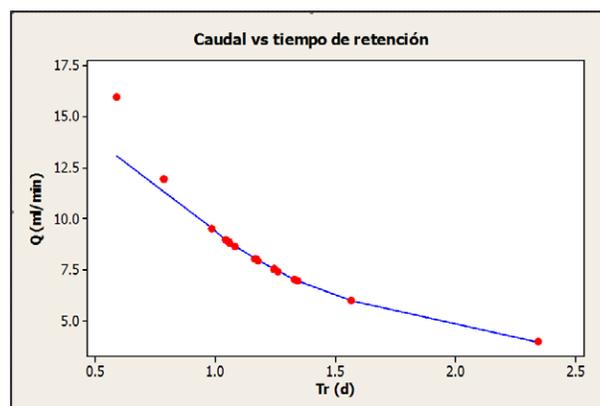
**Tabla 2.** valores de dqo, dbo y ssv

Entrada	05/10/16	13/10/16	19/10/16	27/10/16
DBO (mg/l)	5.5	2.3	1.1	-
DQO (mg/l)	7	3	13	2
SSV (mg/l)	16	34	12	44
Salida	05/10/16	13/10/16	19/10/16	27/10/16
DBO (mg/l)	31	72	66	230
DQO (mg/l)	36	84	83	269
SSV (mg/l)	58	48	88	166

### 3.5 Análisis de resultados

#### 3.5.1 Caudales y tiempo de retención

En la figura 2 se presentan los resultados sobre el comportamiento del caudal en función del tiempo de retención.



**Figura 2.** Gráfico del comportamiento del caudal en función del tiempo de retención.

El tiempo de retención es mayor cuando el caudal se mantiene bajo (< de 6 ml/min), el

promedio es de 8 mL/min. El aumento del caudal en el sistema implica una falta de degradación del material, debido a que el sistema puede recibir más aeración.

Controlar la variabilidad del caudal es indispensable para la obtención de resultados eficientes, ya que el sistema necesita que este sea relativamente bajo (< de 10ml/min), para evitar que exista una aireación, que el material orgánico sea removido por la velocidad del mismo y para controlar también el tiempo de retención necesario para que ocurran las reacciones que darán paso a la acción degradadora de las bacterias.

### 3.5.2 Variaciones en concentración de nitrato

En la figura 3 se presentan los resultados sobre la concentración de nitrato en la entrada y en la salida de la barrera activa durante la evaluación del sistema.

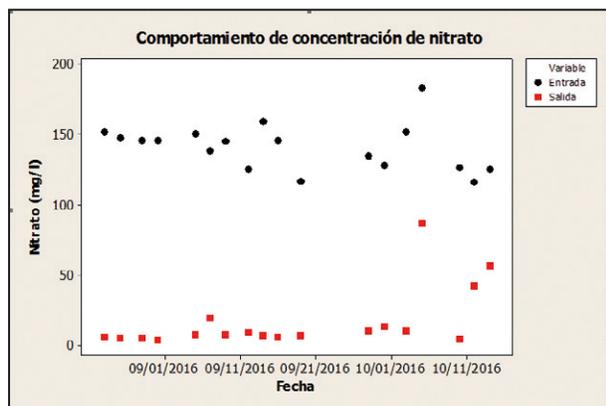


Figura 3. Gráfico de la concentración de nitrato en la entrada y salida durante la evaluación del sistema.

La concentración de nitrato en la entrada se mantenía entre 120 y 140 mg/L, esta concentración se obtenía de la elaboración del agua sintética preparada con nitrato de potasio, que funciona como el contaminante de este sistema.

La capacidad de depuración del sistema posibilitaba que la salida presentara concentraciones menores de 10 mg/l en su mayoría. En algunos días las concentraciones de entrada se elevaban, esto iba a depender de la exactitud con que se preparaba el agua sintética

del sistema, poca variación en la elaboración de la misma podría significar grandes cambios en los resultados, alterando el funcionamiento del sistema.

También la actividad microbiana para la depuración depende del nivel del pH contenido y la cantidad de oxígeno disuelto.

### 3.5.3 Relación entre eficiencia y oxígeno

En la figura 4 se presentan los resultados sobre el comportamiento de la eficiencia en función del oxígeno disuelto.

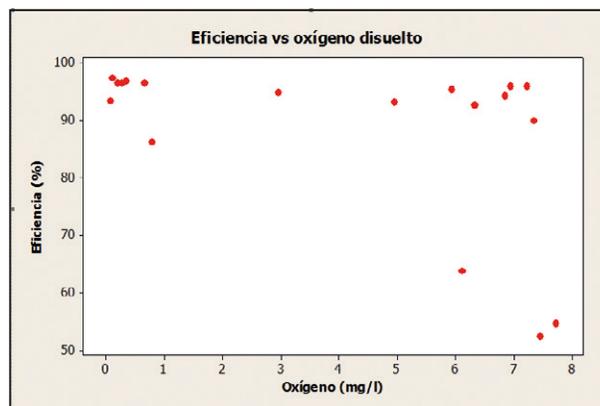


Figura 4. Gráfico del comportamiento de la eficiencia en función del oxígeno disuelto.

La eficiencia del sistema se relaciona directamente con el oxígeno disuelto. Esta tiende a disminuir cuando el oxígeno disuelto es mayor, debido a que los microorganismos optan por consumir ese oxígeno y no así el nitrato.

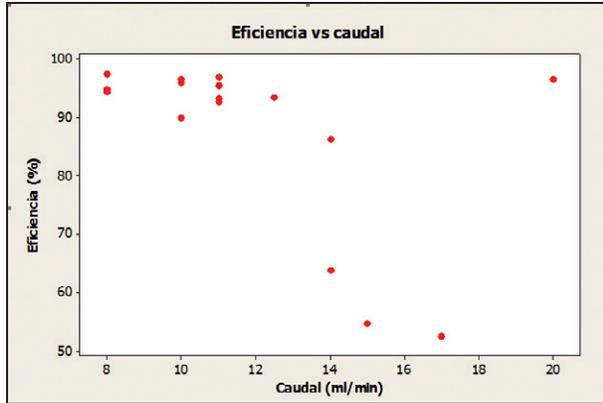
Para el sistema el comportamiento ideal depende de la cantidad de oxígeno disuelto en el mismo, ya que se debe mantener muy bajo (<2 mg/L) para que los microorganismos opten por consumir el nitrato y este pueda ser convertido en nitrógeno libre y cumplir con el objetivo de descontaminación.

### 3.5.4 Relación entre eficiencia y caudal

En la figura 5 se presentan los resultados sobre el comportamiento de la eficiencia de la barrera activa en función del caudal.

Se observa en la figura 5 que la eficiencia tiende a disminuir cuando los caudales aumentan. Por lo tanto, el caudal es un factor

62

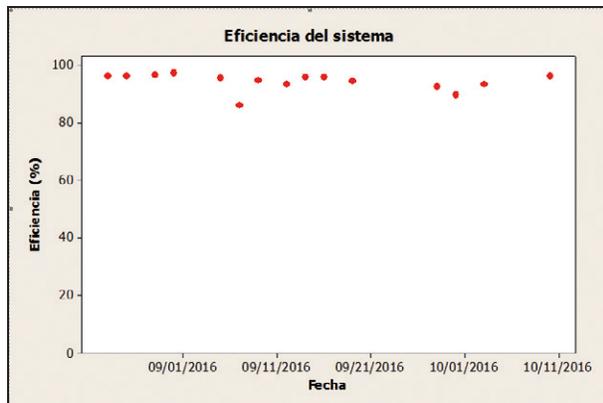


**Figura 5.** Gráfico del comportamiento de la eficiencia en función del caudal.

que puede disminuir o incrementar la capacidad de depuración que tiene el Sistema.

### 3.5.5 Relación entre eficiencia y oxígeno

En la figura 6 se presentan los resultados sobre el comportamiento de la eficiencia en función del tiempo.



**Figura 6.** Gráfico del comportamiento de la eficiencia en función del tiempo.

Finalmente, la eficiencia del sistema se mantuvo por encima de 80%, por lo cual se puede establecer que el sistema de remoción de nitrato de barrera activa compuesta por tusas de maíz es altamente eficiente para la depuración de aguas contaminadas con este ion. El estudio consecutivo de los diferentes parámetros establecidos debe ser consistente para asegurar una eficiencia mayor del 80% que contribuya a la descontaminación.

### 3.5.6 Microorganismos

Los microorganismos observados en el agua a través del microscopio fueron: Copepod, Cyclops, Order Ostracoda (1 mm).

Además de protozoos ciliados, bacilo bacterias (la presencia de esta bacteria en la salida del sistema puede suponer una descontaminación de este efluente). La Vorticella no es favorable para el sistema ya que se alimenta de las demás bacterias [2-3]. En las figuras 6 y 7 se muestran algunas de ellas.



**Figura 6.** Vorticella, observado en el microscopio objetivo 40x.



**Figura 7.** Bacilo, observado en el microscopio objetivo 40x.

## 4. Conclusiones

- Los resultados obtenidos muestran que las técnicas de desnitrificación empleadas en el modelo que simula un cuerpo de agua subterránea a escala de laboratorio, presentan una eficiencia de remoción que se mantiene por arriba del 80%, por lo cual se puede establecer que el sistema de barrera activa con el uso de desechos orgánicos agrícolas (tusas de maíz) es una solución para la remoción del nitrato presente en las aguas subterráneas.
- El nitrato a lo largo de la evaluación del sistema se mantuvo bajo en la salida del mismo, con valores menores de 10 mg/l en su mayoría.
- Los resultados obtenidos de DBO y DQO, muestran el buen funcionamiento del sistema esto gracias al consumo de oxígeno por las bacterias, que hace posible que la concentración del nitrato disminuya y se convierta en nitrógeno libre y oxígeno.
- Los microorganismos encontrados son indicadores de descontaminación en el sistema a diferencia de la Vorticella que es desfavorable ya que se alimenta de las demás bacterias.

## Agradecimiento

Agradecemos al profesor Cenobio Cárdenas y el profesor José Chávez por el apoyo en el laboratorio de sanitaria al momento de realizar todas las pruebas necesarias para el desarrollo de esa investigación.

A la profesora Mavis de Sedas por su colaboración en el laboratorio de suelos durante la realización de la prueba de granulometría.

## REFERENCIAS

- [1] APHA, 2000. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, DC: AWWA, WEF.
- [2] Towle, J. H. (1989). *Biología Moderna*. México: McGRAW-HILL.
- [3] Das, B. M. (1985). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*.
- [4] Cáceres, V. (s.f.). *Tecnologías alternativas en la gestión integral de las aguas residuales domésticas, con biofiltros en Nicaragua*. Nicaragua.
- [5] Anon., s.f. Agua. [En línea] Available at: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionHQ21.pdf> [Último acceso: 25 Octubre 2016]

## 5. Recomendaciones

- Se debe mantener un caudal en el sistema constante para evitar obtener variaciones considerables en los resultados de los parámetros medidos.
- El uso de este sistema de remoción de nitrato requiere una constante limpieza para evitar la proliferación de organismos no deseados. Además, se debe implementar el recubrimiento del sistema para evitar el desarrollo de vectores como los mosquitos.
- Se debe realizar la calibración de los equipos del laboratorio, dotarlo de insumos necesarios para llevar a cabo investigaciones similares que son de gran importancia para el desarrollo de los tratamientos de aguas.

# *Software* y métodos ópticos para la construcción de perfiles de análisis granulométricos de depósitos de materiales clásticos

## Optical methods and software for the construction of granulometric analysis profiles of deposits of clastic materials

Melanie Amores<sup>1</sup>; Dialis Aguilar<sup>1</sup>; Jony Chung<sup>1</sup>; María González<sup>1</sup>; Ariel Peña<sup>1</sup>;

Iván Pimentel & Alexis Tejedor De León<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Civil – Centro Regional de Veraguas – Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Departamento de Materiales y Metalurgia – Facultad de Ingeniería Mecánica – Centro Regional de Veraguas – Universidad Tecnológica de Panamá

65

**Resumen** Este proyecto corresponde a la materia de Geología, de la Licenciatura en Ingeniería Civil. En este proyecto se muestra cómo realizar análisis granulométricos de depósitos de materiales clásticos, depositados de forma natural, aplicando métodos tecnológicos alternativos. En este proyecto se utilizó *software* e imágenes fotográficas. Para este proyecto se seleccionó una elevación ubicada en el distrito de Santiago, con coordenadas 8°05'39.23"N; 80°57'05.84"O; elevación de 101msnm, provechando la exposición de materiales clásticos, los cuales fueron fotografiados utilizando para ello un dron. Para la determinación de la escala de la fotografía, se posicionó un objeto de dimensión conocida, una vez la imagen impresa se procedió a determinar su escala. Terminada la captura de las imágenes, las mejores de ellas fueron transportadas al *software* (AUTO-CAD 2016), y se analizó clasto por clasto para determinar su diámetro equivalente. El segmento estudiado tiene un perímetro total de 25.86 m y un área de 164.12 m<sup>2</sup>.

**Palabras claves** Clastos, dron, fotografía, granulometría, *Software* AUTO-CAD.

**Abstract** This project corresponds to the subject of Geology, of the Degree in Civil Engineering. This project shows how to perform granulometric analysis of deposits of clastic materials, deposits naturally, applying alternative technological methods. In this project software and photographic images were used. First of all we selected a localized elevation in the district of Santiago, with coordinates 8°05'39.23"N; 80°57'05.84"O; elevation de 101masl taking advantage of the exhibition of clastic materials, which were photographed using a drone. To determine the scale of the photograph, an object of known dimension was positioned; once the image is printed we proceed to determine its scale. After the images were captured, the best of them were transported to the software (AUTO-CAD 2016), we proceeded to analyze The clastic materials to determine its equivalent diameter. The segment studied has a total perimeter of 25.86 m and an area of 164.12 m<sup>2</sup>.

**Keywords** Clasts, drone, photogrannetry, granulometry, software AUTO-CAD.

\* Corresponding author: alexis.tejedor@utp.ac.pa

## 1. Introducción

No cabe duda que en el campo de la geología las tecnologías tienen su aporte con la diversidad de aplicaciones y herramientas que vienen a facilitar el trabajo de campo [1].

Con los equipos adecuados, las diferentes pruebas aplicables a los materiales clásticos [2] pueden realizarse sin mayores contratiempos, teniendo en cuenta que con los métodos ópticos [3] se facilita enormemente el trabajo de campo realizado.

Para la utilización de los métodos ópticos de análisis se necesitan *software* para digitalizar los datos levantados en campo, como el AutoCAD que es un *software* de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D.

Es un *software* reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D [4].

Para la captura de imágenes y métodos ópticos, los VAN (Vehículos Aéreos No Tripulados) mejor conocidos como drones son los más efectivos [5].

Estos dispositivos portátiles, se han convertido, en los últimos años, en unas herramientas de obtención de información muy útil y eficaz que ahorra tiempo, reduce los costes y genera resultados muy satisfactorios [5].

Los usos de un dron en geología pueden ser muy variados, entre esos esta la sustitución de la foto aérea que permite obtener imágenes tridimensionales mediante técnicas estereoscópicas [6].

Nuestro proyecto consiste en la utilización de la fotogrametría (herramienta básica para elaborar análisis geográficos y geológicos), que permite medir sobre fotografías. Con ello se puede determinar las propiedades geométricas de los objetos y las ubicaciones espaciales a partir de imágenes fotográficas, es decir, información bidimensional.

Se pretende clasificar los clastos por características sencillas como tonos o colores.

Para segmentar estas imágenes sería necesario, no obstante, basarse en características más complejas como textura, sombras y relieve, que la mayoría de los programas comerciales de análisis de imágenes no manejan.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Área de estudio

El área de estudio seleccionada para la realización del proyecto fue una elevación denudada por maquinarias para la nivelación del terreno. Esta elevación está ubicada en la Carretera Panamericana, ubicado frente a Santiago Mall de la Ciudad de Santiago de Veraguas; con coordenadas  $8^{\circ}05'39.23''N$ ;  $80^{\circ}57'05.84''O$ ; elevación de 101msnm. En la figura 1 se presenta una vista aérea de la región de estudio.



**Figura 1.** Imagen aérea de la región de estudio. Imagen de Google Earth®.

### 2.2 Materiales

Para obtener la muestra fotográfica de los depósitos clásticos utilizamos un dron DJI Phantom 3, una imagen se presenta en la figura 2.

Las fotografías tomadas fueron exportadas para procesarlas con la ayuda del *software* AutoCAD® 2016.



**Figura 2.** Imagen del dron DJI Phantom 3 utilizado en el estudio.

### 2.3 Obtención de imágenes

En la captura de las imágenes a procesarse y

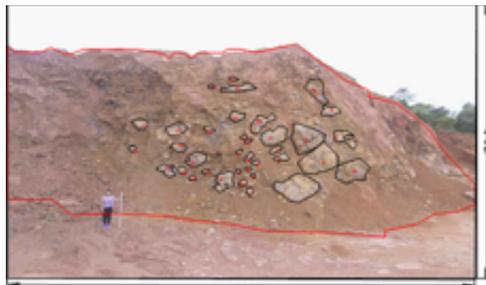
para el desarrollo del proyecto se seleccionó una región en donde se pudieran evidenciar materiales clásticos expuestos en la superficie, sin necesidad de realizar excavaciones. Como se mencionó el área seleccionada, está ubicado en el Distrito de Santiago y las imágenes fueron captadas con la utilización de un dron. En la figura 3 se muestran imágenes tanto del depósito como del dron en los trabajos de captura de imágenes.



**Figura 3.** Imágenes del depósito de materiales clásticos y del dron en la captura ortogonal de imágenes.

**2.4 Procedimientos de imágenes**

Las imágenes fotográficas fueron captadas con la ayuda de un dron y las mejores imágenes obtenidas fueron exportadas al *software* AutoCAD® 2016 para la determinación de las grandezas físicas requeridas. Antes de eso, fue necesario determinar las escalas de las fotografías captadas. Es necesario aclarar que en el lugar a fotografiarse se tenía una longitud de referencia conocida (1.56 m), esto para facilitar la determinación de la escala de la fotografía. (ver figura 4). Para la determinación de la escala de la fotografía, se procedió a la impresión de la misma.



**Figura 4.** Impresión de fotografía para la determinación de la escala. Obsérvese el tubo de longitud conocida como referencia.

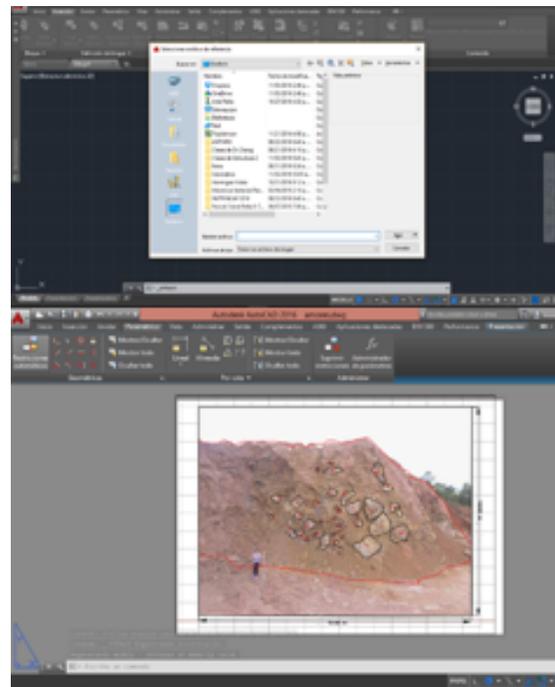
**3. Resultados y discusión**

**3.1 Escala de la fotografía**

Para obtener la escala de la fotografía se imprimió la imagen, se midió con una regla el tubo y se obtuvo una medida de 2.4 cm y sabiendo que la altura del objeto fue de 1.56 m, con una regla de tres se obtiene la escala. La escala obtenida en papel fue de 1: 0.65 m. Esta se tuvo que transformar a mm para poder trabajar en AutoCAD® 2016.

**3.2 Exportación de la fotografía al *software***

Una vez conocida la escala de la fotografía, se procedió a su exportación de forma digital al *software* AutoCAD® 2016 como se puede apreciar en la figura 5.



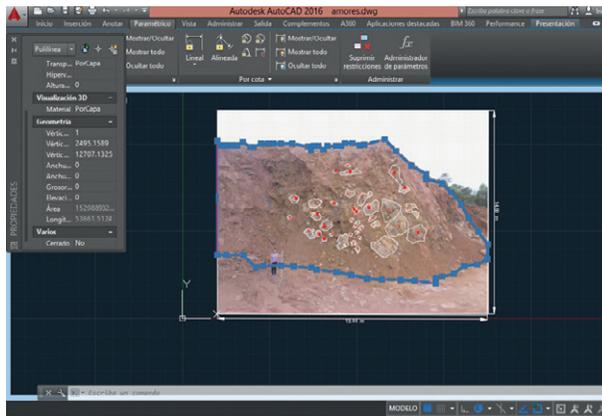
**Figura 5.** Imagen con los clastos expuestos exportada a AutoCad® 2016.

**3.3 Delimitación del área de estudio e identificación de los clastos**

Al importar la imagen al *software* se seleccionó toda la imagen con la opción de poli línea y se introdujo el valor de la escala, anteriormente determinada, con la intención de

medir la superficie desnuda del terreno o del tamaño de los clastos expuestos (ver figura 6).

También se determinó la posición de cada clasto en el terreno, en términos de una distancia horizontal de referencia y la altura o distancia vertical en que el mismo estaba posicionado en el terreno.



**Figura 6.** Identificación de la zona de estudio en imagen con los clastos expuestos exportada a AutoCad® 2016.

**Tabla 1.** Identificación y ubicación del material clástico

Clasto	Ø, m	A, m <sup>2</sup>	X, m	Y, m
1	0.87	0.59	6.5	3.9
2	0.35	0.096	7.4	4.0
3	0.35	0.097	7.6	3.5
4	1.53	1.85	9.1	3.6
5	1.51	1.79	10.0	4.8
6	0.06	0.0033	7.7	4.2
7	0.07	0.004	7.2	4.3
8	0.07	0.004	7.5	4.4
9	0.09	0.007	7.8	4.7
10	0.36	0.1	7.3	4.8
11	0.08	0.005	6.9	5.1
12	0.46	0.17	8.4	4.9
13	1.4	1.54	9.4	5.6
14	1	0.79	13.0	8.0
15	0.39	0.12	8.4	5.7
16	0.27	0.057	7.3	5.4
17	0.24	0.046	7.2	5.5
18	0.76	0.45	11.7	5.8
19	0.6	0.28	10	6.3
20	0.81	0.52	7.8	6.1
21	0.57	0.26	6.5	6.3
22	0.95	0.71	9.9	8.1
23	0.81	0.52	6.5	9.5
24	0.69	0.37	6.5	8.8
25	0.24	0.045	7.9	8.7
26	0.32	0.08	5.2	6.0
27	0.74	0.43	3.8	6.1
28	0.55	0.24	3.9	4.2
29	0.78	0.48	4.1	3.6
30	0.36	0.1	3.6	3.4
31	0.63	0.31	3.3	3.3
32	0.29	0.067	2.5	3.8
33	0.26	0.0044	4.03	6.01
34	0.29	0.052	3.7	2.2
35	0.028	0.068	3.1	2.1
36	1.23	1.2	8.1	5.6

**3.4 Identificación de los materiales clásticos**

Las rocas clásticas, también se conocen como rocas detríticas, mecánicas o fragmentadas y son un tipo de roca sedimentar, formado por fragmentos o pedazos llamados de clastos. Cuando una acumulación de clastos se encuentra consolidado, se acostumbra llamar de depósito.

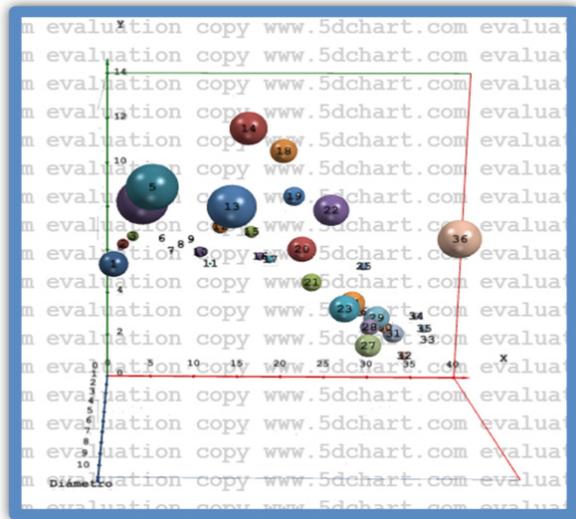
La zona de estudio seleccionada, evidenció la presencia de material clástico expuesto, de los cuales se seleccionaron 36 unidades pétreas para conocer su distribución granulométrica natural en el terreno.

A cada clasto se le determinó su diámetro equivalente, su área proyectada y su ubicación en el terreno (distancia horizontal y vertical), como se presenta en la tabla 1.

Al conocer las distancias horizontales y verticales para cada clasto identificado, se procedió a la elaboración de una gráfica tridimensional en función del área de cada una de las unidades pétreas. El gráfico obtenido se presenta en la figura 7.

En la gráfica en cuestión, se puede observar que los gráficos de mayor tamaño, es decir lo de mayor superficie se ubican más hacia la izquierda de la imagen, mientras que los clastos de menor tamaño se diseminan a lo largo de la sección derecha de la zona de estudio. Lo

anterior parece evidenciar que los clastos, transportados y sedimentados de forma natural, lo hicieron en función de su tamaño.



**Figura 7.** Gráfica 3D de la ubicación espacial de los clastos estudiados.

#### 4. Conclusiones

Con la ayuda del *software* AUTOCAD 2016 nos facilita la obtención de datos en este caso el área de las rocas de la sección del cerro que se estudió, además es muy eficaz y nos ahorra tiempo al utilizar este método.

La utilización de drones en este tipo de proyectos nos permite la obtención de resultados más precisos y similares a los objetos reales, así permitiendo un menor porcentaje de error.

Con los resultados obtenidos de la sección estudiada obtuvimos un Área total=164.12 m<sup>2</sup> y una Área de Tierra= 96.5 m<sup>2</sup>. También se hizo una selección de los clastos los cuales fueron unos 36 de diferentes tamaños.

Desde el punto de vista teórico los métodos ópticos pueden ser aplicados a cualquier escala. Sus limitaciones son más bien de orden práctico como la resolución de la imagen con respecto a la dimensión al objeto a medir y la calidad de la imagen que representan posible inseguridad.

Los trabajos fotogramétricos deben apoyarse sobre puntos visibles y localizados por métodos de triangulación topográfica.

#### REFERENCIAS

- [1] Leal-Ayo, I. (2013). Uso de las TIC para provocar el cambio de preconcepciones erróneas relacionados con la geología en la ESO. Disponible en: <http://reunir.unir.net/handle/123456789/1793>
- [2] Pizarro, D. (2011). Los pozos profundos perforados en Costa Rica: Aspectos litológicos y bioestratigráficos. *Revista Geológica de América Central*, (15).
- [3] Sarocchi, D., Macías, J. L., & Borselli, L. (2005). Construcción de perfiles granulométricos de depósitos piroclásticos por métodos ópticos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*,22(3), 371-382.
- [4] Dajud, G. A. B., Reyes, G. R., & Sampayo, R. R. Á. (2009). Diagnóstico sobre utilización del AUTOCAD® como software de apoyo en las áreas básica y aplicada de ingeniería civil en UNISUCRE. *Revista Educación en Ingeniería*, 4(8), 57-69.
- [5] Félez, E. A. (2013). Drones: una nueva era de la vigilancia y de la privacidad. *Red Seguridad: Revista Especializada en Seguridad Informática, Protección de Datos y Comunicaciones*, 60, 48-57.
- [6] De la Llata Romero, R., & Martínez, C. A. (1977). Proyecciones geológicas tridimensionales con una sola fuente luminosa. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 1(2), 225-229.

# Desarrollo de un sistema de gestión de eficiencia y ahorro energético para las instituciones del sector público

## Development of an efficiency and energy saving management system to institutions of the public sector

Anel Ruiz<sup>1</sup> & Edilberto Hall Mitre<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Eléctrica y Electrónica – Facultad de Ingeniería Eléctrica – Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Departamento de Potencia – Facultad de Ingeniería Eléctrica – Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** El alza del precio de los combustibles fósiles, la escasez de recursos y la creciente demanda eléctrica ha causado un incremento en el precio de la energía eléctrica, que ha ocasionado que ahorrar energía se convierta en una prioridad; no solo para disminuir gastos sino además, para ser más amigable con el medio ambiente, mejor administrando los recursos que poseemos, tener capacidad instalada disponible y reducir la importación de derivados del petróleo no existentes en el país. Los sistemas de gestión de la eficiencia y ahorro energético son una buena solución para disminuir el consumo energético en una edificación; estos se encargan de administrar la energía buscando que se consuma de la forma más eficiente posible, a la vez que promueve el uso de tecnologías más eficientes que ayudan a reducir el consumo energético. Esto debe hacerse bajo una adecuada supervisión, es decir, se debe monitorear el consumo para determinar si se están logrando los resultados esperados y replantear constantemente los objetivos y medidas para asegurar una mejora continua. Para las instituciones del sector público implementar un sistema de este tipo representa un desafío, pues estas cuentan con ciertas limitantes tales como: bajos presupuestos, rigidez de los procedimientos y muchas empresas no cuentan con edificaciones propias. Esto obliga a implementar un sistema de gestión sencillo, pero que aún así pueda lograr buenas reducciones de consumo energético en función a las inversiones propuestas. El presente trabajo plantea los conceptos teóricos sobre las diversas fases de la implementación de un sistema de gestión de la energía, y detalla el procedimiento que se realizó en el Edificio 1 del Campus Víctor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá. El objetivo final es la creación de un sistema de gestión de energía replicable con los pasos a realizar para instituciones del sector público.

**Palabras claves** Eficiencia energética, sistema de gestión de energía, ahorro energético.

**Abstract** The boosts of the price of fossil fuels, the shortage of resources and the growing demand of electricity has caused an increase in the price of the electric energy, that has triggered that to save energy is becoming a priority; not only to reduce costs but also to be more friendly to the environment, better at managing the resources we have, more available installed capacity and reduce the import of oil derivatives do not exist in the country. Efficiency and energy saving management systems are a good solution to reduce energy consumption in a building; these are in charge of managing the energy looking forward to consume as more efficient as possible, to promote the use of technologies more efficient that help to reductions. This should help to do a proper supervision, i.e., it should monitor the consumption to determine if there are achieving the expected results and review constantly the objectives and defined measures to ensure continuous improvements. For the institutions of the public sector to implement a system of this type represents a challenge because the institutions often deal with limitations such as: low budget, rigid management procedures, and in many occasions they do not own the buildings. This forces to implement a simple energy management system, but even so that can achieve good reductions of energy consumption as a function of the proposed investment. This work raises the theoretical concepts on the different phases of the implementation of an energy management system, and details the procedure that took place in Building 1 of the Campus Víctor Levi Sasso of the Universidad Tecnológica de Panamá. The ultimate goal is the creation of the steps to a replicable energy management system for institution of the public sector.

**Keywords** Energy efficiency, energy management system, energy saving.

\* Corresponding author: edilberto.hall@utp.ac.pa

### 1. Introducción

El incremento del precio de los combustibles fósiles, la escasez de recursos y la creciente demanda eléctrica ha causado un incremento en el precio de la energía eléctrica, esto ha ocasionado que ahorrar energía se convierta en una prioridad, no solo para disminuir gastos, sino además, para ser más amigable con el medio ambiente, mejor administrando los recursos que poseemos, hacer mejor uso de la capacidad instalada disponible y reducir la importación de derivados del petróleo no existentes en el país [1-2].

Para las empresas privadas y las instituciones públicas debe ser una prioridad reducir el consumo energético, pues así se reducen gastos en energía, permitiendo que la empresa o institución destine sus recursos monetarios a otro tipo de actividad, como: capacitar personal en eficiencia energética, crear una cultura de eficiencia energética en la institución y la ciudadanía e invertir en equipos y sistemas más eficientes.

Reducir el consumo energético también reduce la generación de dióxido de carbono que es el principal gas causante del efecto invernadero, esto beneficia al país, debido a que Panamá está comprometida con reducir las emisiones de este gas según lo acordado en el protocolo de Kyoto. Además, desde el punto de vista empresarial, mejora la imagen de la organización haciéndola ver amigable con el medio ambiente, lo que es un factor a considerar en estos días, ya que los gobiernos e inversionistas, además de un buen producto, buscan una empresa social y ambientalmente responsable.

Al reducir el consumo energético en una edificación se libera carga del sistema y se utilizan menos recursos para generar electricidad. En Panamá existe una gran dependencia de las plantas hidroeléctricas y una estrechez entre la demanda y la capacidad instalada, factores que se manifiestan con mayor fuerza durante la temporada seca, cuando escasea el recurso hidráulico, por lo que ahorrar energía nos ayudaría a conservar los recursos durante estos meses del año.

Solamente en estos meses se implementan medidas para ahorrar energía y se logra

una menor dependencia de las plantas hidroeléctricas, sin embargo, la cultura de ahorro energético debe ser una costumbre para las instituciones, empresas y la ciudadanía. Las medidas implementadas no forman parte de un plan para gestionarla adecuadamente, siendo la acción más común apagar los equipos de acondicionamiento de aire, lo que disminuye la eficacia y comodidad de las personas y va en contra de la definición de eficiencia energética.

El objetivo principal de la presente investigación es crear un sistema replicable para que las instituciones del sector público puedan implementar un sistema de gestión de energía sencillo y eficaz.

### 2. Sistemas de gestión de la energía

Un sistema de gestión de la energía es un conjunto de actividades que siguen los 4 pasos principales de la gestión (planear, hacer, verificar, actuar) para lograr de manera sostenida y continua una mejora en el desempeño energético de la organización [3]. El proceso de implementar un sistema de gestión de la energía consta de varias partes como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Diagrama para la implementación de un sistema de gestión de la energía.

La primera parte, la iniciativa consiste en la intención de ahorrar energía es el primer

paso para implementar un sistema de gestión de la energía, esta idea surge normalmente de la intención de la gerencia de disminuir los gastos de la institución y contar con un mayor presupuesto. Ahorrar energía no es una tarea fácil, abarca una gran cantidad de aspectos y necesita un gran compromiso de parte de las personas que toman las decisiones, una buena planificación y un equipo capaz de llevar a cabo el proyecto [4-5].

Luego que se tiene el equipo formado y el apoyo de los administradores, debe procederse con el diagnóstico energético, que consiste en una serie de inspecciones, auditorías y mediciones de todas las utilidades con el fin de determinar dónde y cómo se está consumiendo la energía y las posibilidades de reducción del consumo energético.

El diagnóstico energético consta de varias partes, primero debe hacerse un levantamiento electromecánico completo, donde se recorre toda la infraestructura para actualizar los planos e inspeccionar superficialmente las instalaciones, a la vez que se censan todos los equipos consumidores de energía. Posteriormente se hacen mediciones energéticas para determinar la potencia que consume cada equipo; que se complementa con entrevistas realizadas al personal que usa los equipos para estimar su uso y el consumo energético de cada equipo. Estas mediciones se realizan en todas las utilidades de la empresa y clasificándolas según su uso, por ejemplo: agua, iluminación, fuerza, aire acondicionado, combustibles, etc. [6].

Toda esta data debe ser ordenada y analizada para ser presentada por medio de reportes a la gerencia, junto con las mejores propuestas de ahorro y eficiencia energética. Las propuestas de ahorro y eficiencia energética son estándar basándose en cuatro principios: pagar menos por la energía, invertir en tecnologías más eficientes, hacer buen uso de la energía y maximizar la eficiencia desde el diseño.

La elección de qué medidas específicas se ejecutarán se basa en cuáles son aquellas que retornarán la inversión más rápido, basándose en la estimación de la cantidad de ahorro anual, según

la cantidad de energía consumida. En el cuadro 1 se presentan las posibles medidas de ahorro y eficiencia energética según el tipo de utilidad y el grado de inversión necesaria [7].

Las propuestas se presentan a los administradores quienes finalmente decidirán qué medidas se ejecutarán [8]. A la vez que se hacen las medidas seleccionadas, es importante que el equipo administrador energético incluya la participación de los demás miembros de la organización en el ahorro energético, ya que gran parte de las medidas involucran un buen uso de la energía por parte de ellos.

Para esto debe hacerse una campaña donde se difunda la data sobre el consumo energético de la organización junto con consejos de cómo lograr el ahorro, a la vez que se promueve el compromiso y la motivación para ahorrar energía [9].

**Cuadro 1.** Medidas de ahorro y eficiencia energética [10] [11] [12] [13] [14]

	Sin inversión	Baja inversión	Inversión programada
<b>Iluminación</b>	Buen uso. Iluminación natural. Mantenimiento.	Fotoceldas. Control de iluminación.	Focos más eficientes. Rediseño.
<b>Aire acondicionado</b>	Ajuste correcto. Fugas de aire. Ventilación natural. Mantenimiento.	Cortinas de aire. Ventanas eficientes. Puertas automáticas. Equipos eficientes.	Sistemas de volumen variables.
<b>Equipos</b>	Buen uso. Mantenimiento. Modo económico.	Temporizar. Equipos combinados.	
<b>Combustible</b>	Buen uso. Control. Mantenimiento.	Uso de gas en cocina. Uso de GPS en vehículos.	
<b>Agua</b>	Buen uso. Evitar fugas.	Estranguladores	Reciclaje
<b>Motores</b>	Buen uso. Mantenimiento.	Motores más eficientes. Variadores de frecuencia. Motores de dos velocidades.	
<b>Administrativo</b>	Gestión de la demanda. Negociar precios. Políticas internas.	Campañas de concientización.	
<b>Red eléctrica.</b>	Balance de fases.	Factor de potencia. Gran cliente.	Generación interna.

Un sistema de gestión de la energía consiste en un proceso de mejora continua, y para esto debe monitorearse constantemente el desempeño energético de la organización para determinar si las medidas que se han ejecutado están dando los resultados esperados y detectar nuevas oportunidades de mejora del desempeño energético [15].

Existen varias formas de hacer este monitoreo, la más sencilla consiste en dar seguimiento a las facturas, las cuales muestran una gran cantidad de información sobre el consumo; o pueden implementarse sistemas de medición que midan en tiempo real y almacenen toda la data de consumo energético para su posterior análisis. También pueden implementarse sistemas más sencillos, menos automatizados o sistemas parciales, que tengan la capacidad de brindar la data que el equipo administrador energético considere necesaria, lo cual va principalmente ligado al tamaño de la organización.

Debido a que un sistema de gestión de la energía involucre gran parte de la organización es importante que formalizar los procesos y responsabilidades de cada unidad con el fin de garantizar la máxima eficacia en el flujo de información.

El modelo propuesto consiste en que el equipo administrador energético se comporte como un auditor externo de la organización, que recaba la información que necesita, la analiza y la presenta constantemente a los administradores junto con sus propuestas para que sea este quien haga la última decisión y las ejecute.

### **3. Políticas de ahorro y eficiencia energética**

Es importante que el sistema de gestión energético sea una prioridad de la institución sin importar los cambios de administración y que esté formalmente respaldado por los administradores, es por esto que es necesario crear una serie de políticas sobre ahorro y eficiencia energética que sean plasmados dentro del reglamento interno de la institución.

Estas políticas deben hacerse durante la etapa de inicial del sistema de gestión energética,

de tal manera que cuando se esté haciendo el diagnóstico energético haya completo apoyo por parte del personal.

Las políticas de ahorro y eficiencia energética varían de acuerdo a cada institución, pero se sugiere que como mínimo tengan los siguientes puntos:

#### **3.1 Generales**

- Contar con políticas de eficiencia y ahorro energético.
- Contar con el compromiso por parte de la gerencia.
- Tener un equipo administrador energético.
- Fijar objetivos y planificar cómo lograrlos.
- Monitorear el consumo energético en la institución.
- Reportar a la gerencia sobre el consumo energético en la institución.
- Documentar los aspectos más importantes.
- Revisar periódicamente el sistema y hacer las correcciones necesarias.
- Reportar los consumos a la Secretaría Nacional de Energía.

#### **3.2 Políticas de ahorro y eficiencia energética**

- Políticas sobre ahorro energético que debe cumplir el personal de la institución.
- Políticas sobre eficiencia energética, en la forma de índices mínimos de eficiencia energética para los equipos que se adquieren e indicadores de desempeño energético que la institución pretende lograr.
- Especificar procedimientos a seguir para diversas posibles situaciones.
- Especificar las funciones de los departamentos directamente relacionados con el consumo energético en cuestiones relacionadas al consumo energético.
- Especificar una estructura de trabajo y de cómo se relacionan los diferentes departamentos.

#### **3.3 Equipo administrador energético [16]**

- Reportar mensualmente a la gerencia sobre el consumo energético en la institución.
- Recomendar a la gerencia medidas de ahorro

y eficiencia energética, compra de equipos eficientes y acciones a tomar en caso de anomalías en la edificación.

- Instruir sobre ahorro y eficiencia energética al personal de la institución.
- Comunicar dentro y fuera de la institución la importancia del ahorro energético.
- Elaborar las políticas de eficiencia y ahorro energético.
- Revisar periódicamente los objetivos, procedimientos y políticas, y actualizarlos.
- Planificar y ejecutar las medidas de ahorro y eficiencia energética.

### 3.4 Gerencia

- Nombrar el equipo administrador energético.
- Facilitar los medios y herramientas para que el equipo trabaje eficientemente.
- Comunicar la importancia del ahorro energético.
- Dar el ejemplo cumpliendo las políticas de ahorro energético y eficiencia energética.
- Decidir las medidas y acciones a tomar según las recomendaciones del equipo administrador energético.

### 3.5 Objetivos y planificación

- Fijar objetivos de ahorro energético en la institución.
- Planificar los pasos, procedimientos y las medidas tomadas en el sistema de gestión de la energía.
- Elegir una línea base de consumo energético esperado en la institución.
- Elaborar índices mínimos de eficiencia energética de los equipos en la institución.
- Elaborar indicadores de desempeño energético esperados en la institución.

### 3.6 Monitoreo

- Desempeño de los equipos de mayor consumo, los que consuman más de 5 kW.
- Medición de energía y potencia en el interruptor principal.
- Medición de volumen de agua en la tubería principal de alimentación.

- Seguimiento de facturas de electricidad, agua y combustible.
- Recorrido semanal de la flota vehicular de la institución.

### 3.7 Reportes

- Capacitaciones realizadas al personal.
- Consumo energético mensual e histórico en la institución.
- Eventos realizados o por realizar.
- Logros en ejecución.
- Reporte de penalizaciones (alta demanda y bajo factor de potencia).
- Anomalías y fallas dadas, junto a la solución que se empleó.
- Indicadores de desempeño en la institución del mes.
- Comparación entre el consumo energético actual, el anterior y el que se desea alcanzar.

### 3.8 Documentación

- Políticas de ahorro y eficiencia energética.
- Reportes elaborados.
- Informes de anomalías, fallas y otras situaciones extraordinarias.
- Material didáctico sobre ahorro y eficiencia energética.
- Objetivos y planes.
- Datos técnicos sobre los equipos de mayor consumo, aquellos que consuman más de 5 kW.
- Currículum Vitae del personal administrador energético

### 3.9 Revisiones y actualización

- Políticas de ahorro y eficiencia energética.
- Medidas de ahorro y eficiencia energética tomadas.
- Procedimientos.
- Objetivos.
- Indicadores de desempeño energético e índices de eficiencia energética.

Es obligación del Estado asegurar que las instituciones cumplan con los requisitos establecidos, sin embargo, si no existe una autoridad encargada de velar por el

cumplimiento de la ley UREE y ningún tipo de sanción para quienes no las cumplan, lo más probable es que la situación no cambie. Lo que se sugiere es un revisado energético anual hecho por empresas certificadas por la Secretaría Nacional de Energía, donde se verifique que las instituciones cumplan con los requisitos mínimos establecidos en la Ley UREE.

El revisado energético debe asegurar que se cumplan las normas sugeridas en las leyes, tanto administrativas como técnicas. El revisado consistiría en una auditoría donde se verifica el desempeño eléctrico de la institución, la mentalidad del personal hacia el ahorro energético, la existencia de procesos y políticas de ahorro energético, la seguridad de las instalaciones y la implementación e inversión en tecnologías de eficiencia energética.

En el caso de la empresa privada el Estado debería promover el ahorro y la eficiencia energética facilitándole los medios para implementar eficazmente medidas y tecnologías de ahorro y eficiencia energética; pues es esta la que representa la mayor cantidad del consumo energético nacional.

#### 4. Conclusiones

Los sistemas de gestión no solamente se encargan de disminuir el consumo de energía eléctrica, sino que también buscan disminuir el consumo de agua, gasolina, diésel y gas.

Los sistemas de gestión representan una coordinación entre los aspectos administrativo, humano y técnico; si uno de ellos no trabaja adecuadamente no se logrará el ahorro energético deseado.

El compromiso de la gerencia es fundamental para la implementación del sistema de gestión de la energía, ya que, si esta no brinda los recursos y las herramientas necesarias, el equipo administrador energético no podrá realizar eficientemente su labor.

Cualquier medida de ahorro energético puede realizarse, sin embargo, solo algunas representan buenas oportunidades de ahorro energético y es en base al diagnóstico energético

que se determina cuales propuestas representan los mayores ahorros energéticos.

El análisis de las facturas energéticas (eléctrica, agua y combustibles) es una forma de monitorear el consumo sin costo, por lo que es obligatorio realizar este seguimiento.

Los indicadores de eficiencia energética representan una forma sencilla de comparar el consumo energético de la institución con otras instituciones y verificar la eficacia de las medidas tomadas.

La creación de las políticas de ahorro y eficiencia energética es clave, ya que son estas las que establecen las pautas entorno a la cual giran los procesos y prácticas implementados por los departamentos.

#### REFERENCIAS

- [1] Fawkes, Steven. *The History of Energy Management*. UK. Agosto, 2001.
- [2] Wulfinghoff, Donald. *The Modern History of Energy Conservation: An Overview for Information Professionals*. Energy Institute Press. USA.
- [3] Hall, Edilberto. "El Manejo de la Energía, más que una Alternativa, una Prioridad para la Gerencia de las Industrias de Hoy". *Prisma Tecnológico*, N°2, 2010, p. 28-30. Panamá.
- [4] Global Superior Energy Performance, Energy Management Working Group. *Knowledge and Skills Needed to Implement Energy Management Systems in Industry and Commercial Buildings*. 2013.
- [5] NIFES Consulting Group. *Building Energy Manager's Resource Guide*. Dublin.
- [6] Secretaría de Energía, Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. *Guía para Elaborar un Diagnóstico Energético en Inmuebles*. México, 2013.
- [7] Enocean Alliance. *Wireless Lighting Controls: A Total Cost Analysis*.
- [8] Sustainable Energy Ireland; Greer, Heather PhD. *Investing in Energy – A Practical Guide to Preparing and Presenting Energy Investment Proposals*. Dublin, 2004.
- [9] Blanchard, Ken; Bowles, Sheldon. *¡A la Carga! (Gun Ho!) Cómo aprovechar al máximo el potencial de las personas en su empresa*. Bogotá, Colombia: Norma, 1999.
- [10] Aghemo, C.; Virgone, J.; Fracastoro, J.V.; Pellegrino, A.; Blaso, L.; Savoyat, J.; Johannes, Kevyn. *Management and Monitoring of Public Buildings Through ICT Based Systems: Control Rules for Energy Saving with Lighting and HVAC Services*. Italy, 2012.

*Ruiz (et al): Desarrollo de un sistema de gestión de eficiencia y ahorro energético para las instituciones del sector público.*

- [11] ASHRAE. ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010 Energy Standard for Buildings except Low-Rise Residential Buildings.
- [12] Bulgaria Energy Efficiency for Competitive Industry Financing Facility. Energy Efficiency and Energy Management Handbook. Bulgaria.
- [13] Waraporn, Rattanongphisat; Wathanyoo, Rordprapat. Strategy for energy efficient buildings in tropical climate. Thailand, 2013.
- [14] Sustainability Victoria. Energy Efficiency Best Practice Guide Pumping Systems. Melbourne, 2009.
- [15] Russell-Walling, Edward. 50 Cosas que hay que Saber sobre Management. México: Ariel, 2014.
- [16] Asamblea Nacional. Ley 69 de 12 de octubre de 2012. Gaceta Oficial, No 27145-A. Panamá, 2012.

# Análisis de los paradigmas de inteligencia artificial, para un modelo inteligente de gestión de la energía eléctrica

## Analysis of paradigm of artificial intelligence, model for intelligent power management

Mauricio Martínez<sup>1</sup>; Edgardo Santana<sup>1</sup> & Nicholas Beliz<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería de Sistemas y Computación – Facultad de Sistemas Computacionales  
– Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Departamento de Simulación y Computación – Facultad de Sistemas Computacionales  
– Universidad Tecnológica de Panamá

77

**Resumen** El presente documento muestra la importancia del ahorro energético, así como la necesidad de diseñar modelos inteligentes que ayuden a dar un apoyo a la reducción del problema del consumo excesivo de la energía eléctrica. La herramienta principal para llegar a obtener un modelo inteligente son los paradigmas de inteligencia artificial, los cuales son modelos que se han diseñados para dar solución a muchos otros problemas de la ingeniería, en este caso se enfoca directamente en el tratamiento de datos y la visualización de un sistema para encontrar patrones que ayuden a hacer que el sistema se comporte de una manera adecuada, este comportamiento puede venir de datos previamente evaluados en auditorías eléctricas, o el modelo está diseñado para adquirir nuevos conocimientos de forma que al encontrar un patrón de consumo que no ponga en riesgo la estabilidad de la red eléctrica, este patrón puede ser consultado para hacer que el sistema se comporte igual en el futuro.

**Palabras claves** Paradigmas, inteligencia artificial, eficiencia energética, reglas, inferencia.

**Abstract** This document shows the importance of energy savings and the need to design intelligent models to help provide support for reducing the problem of excessive consumption of electricity. The main tool to arrive at an intelligent model are the paradigms of Artificial Intelligence, which are models that have been designed to solve many engineering problems, in this case focuses directly on data processing and visualization a system to find patterns that help make the system behave properly way, this behavior can come from data previously evaluated in electrical audits, or the model is designed to increase knowledge so as to find a pattern of consumption that does not jeopardize the stability of the grid, this pattern can be consulted to make the system behave likewise in the future.

**Keywords** Paradigms, artificial intelligence, energy efficiency, rules, inference.

\* Corresponding author: nicholas.beliz@utp.ac.pa

## 1. Introducción

Cuando se habla de energía eléctrica lo primero que se debe pensar es si se tiene la suficiente o se genera la suficiente energía eléctrica como para usar sin necesidad de prestarle atención, así como pensar que el agua nunca se acabará, pero cuando se enfrenta a sequías extremas se sabe que el agua se puede agotar y se debe ahorrar.

En este mismo contexto la energía eléctrica debe ser ahorrada y aprovechada en su totalidad y es por ello que nace el término de eficiencia energética, esta nueva tendencia busca que la energía eléctrica se ahorre para evitar faltas de suministro de electricidad y por ellos es importante, cuando los países se enfrentan a fenómenos, como la del Niño que genera sequías en algunas zonas y lluvias en otras, estar preparados ante este fenómeno, y nos ayuda a tener un país sostenible, por eso el ahorro es la tendencia que está de moda.

En los últimos años se han realizados sistemas de gestión energética, y entre ellos algunos incorporan paradigmas de inteligencia artificial como las redes neuronales, y es donde nace la idea de desarrollar un modelo inteligente para la gestión de la energía eléctrica el cual pueda ayudar a lograr los objetivos de ahorro y uso adecuado mediante la monitorización y la detección de alarmas tempranas a posibles fallos que se presenten en el sistema de distribución eléctrica.

La inteligencia artificial juega un papel importante en el desarrollo de la tecnología de nuestra actualidad, pues los sistemas inteligentes son potentes y ayudan a solucionar problemas que requieren un grado de inteligencia, y el ámbito interdisciplinar no se puede dejar que todo el peso recaiga sobre un área específica, este problema es de todo, por tanto se ha realizado análisis de los paradigmas de inteligencia artificial, en busca de un modelo que se pueda adaptar a las condiciones de una red de distribución eléctrica sin importar la cantidad de componentes que tengan sino solamente teniendo datos que permitan encontrar patrones de consumo en una red eléctrica para generar modelos de mundo real

que permitan ser seguido por este modelo inteligente que se diseñará, en este artículo se presentan los paradigmas relevantes que se tomaron para evaluar el diseño del modelo, mostrando la importancia de la participación de todas las áreas en este problema que se abarca.

## 2. Antecedentes

La necesidad de un modelo inteligente para la gestión de la energía eléctrica, nace del consumo excesivo de la misma, y de la falta de agua para las hidroeléctricas de la ciudad de Panamá que son la principal fuente de generación de esta energía. En la ciudad, el consumo se ha visto en mayor cantidad en los centros comerciales que se han construido, y en los últimos años en el inicio de operaciones del Metro de Panamá, el nuevo medio de transporte.

Lo primero que se contempla para el desarrollo de este modelo inteligente, es conocer el comportamiento del sistema, y para ello se considera el monitoreo a través de un sistema de visualización conocidos como SCADA por sus siglas en inglés (*Supervisory Control And Data Acquisition*) [7], el término se empezó a escuchar en la década de los 80 en conjunto con los avances tecnológicos de la época, este sistema de visualización pretende mostrarnos como es el funcionamiento del sistema eléctrico para poder tomar decisiones sobre el sistema cuando sea necesario. Este sistema está compuesto por tres subsistemas importantes que son:

- Sistema de adquisición y mando, este contiene los sensores y actuadores para captar los datos.
- Sistema de interconexión, este permite la comunicación a distancia con los dispositivos.
- *Software* SCADA, es la interfaz que comunica al usuario con el entorno y permite la visualización.

Este sistema de visualización nos provee de una base de datos, la cual es importante puesto que aquí es donde entra la inteligencia artificial para el tratamientos de datos, no se puede crear

un modelo inteligente a partir de nada, y es por ello que es necesario tener datos para saber cómo la inteligencia artificial podrá ayudar a gestionar el sistema eléctrico.

La inteligencia artificial es la ciencia que busca diseñar *hardware* y *software* que tengan un comportamiento inteligente, o que realicen actividades o tareas que necesiten un grado de inteligencia [2] [6].

En 1957, el término de inteligencia artificial fue utilizado por primera vez por John McCarthy durante la conferencia de Darmouth [2], sin embargo, desde antes ya se había intentado diseñar un modelo que simulara el comportamiento humano.

En 1943, con los trabajos realizados por Warren McCulloch y Walter Pitts, proponen el modelo de una red neuronal tomando como base la neurona biológica, siendo este el primer modelo que simula el comportamiento de un sistema biológico. En 1947, el célebre matemático Alan Turing propuso por primera vez la posibilidad de construir una máquina inteligente, y propuso también el test de Turing que busca descubrir si una máquina ha alcanzado un grado de inteligencia capaz de engañar a una persona.

### 3. Paradigmas de inteligencia artificial

La inteligencia artificial ha desarrollado diferentes modelos, técnicas, métodos o tareas que realiza esta ciencia para alcanzar que los sistemas se comporten de forma inteligente, a esto se le conoce como paradigmas, en esta sección se hablará de las técnicas relevantes así como las aplicaciones de inteligencia artificial que fueron analizadas para el desarrollo del modelo inteligente de gestión de la energía eléctrica, solo se mencionarán algunos, aquellos que dieron un acercamiento al modelo final.

#### 3.1 Técnicas

Las técnicas en inteligencia artificial se aplican a búsquedas en árboles, estas pueden ser informadas o no informadas, las búsquedas informadas se conocen como búsquedas heurísticas, estas reducen el tiempo en el que

se puede encontrar una solución, permitiendo de esta forma la optimización de los procesos que requieren encontrar la forma rápida de solucionar un problema [2] [5].

Para el modelo de gestión energética se consideró el uso de estas técnicas, sin embargo el sistema solo cuenta con datos numéricos, y estas variables no pueden controlarse, la cantidad de voltaje que se envía al sistema es constante lo que varía es el consumo por dispositivos eléctricos, luces y aires acondicionados. De esta forma las técnicas no fueron consideradas para un modelo inicial [2].

#### 3.2 Tareas

Las tareas que la inteligencia artificial realiza, son: diagnósticos, planificación y control, las cuales se discuten a continuación.

##### 3.2.1 Diagnósticos

Esta tarea busca mantener un sistema funcional el mayor tiempo posible, a través de conocimiento el sistema verifica si el sistema tiene un comportamiento adecuado o si este presenta alguna falla para notificar o si es posible tomar una decisión y actuar sobre el sistema.

Los principales sistemas que realizan estas tareas se encuentran en los sistemas basados en conocimientos, estos sistemas toman el conocimiento de un experto y lo estructura de forma que se puedan acceder a ellos para diagnosticar las fallas en el sistema, es muy similar al trabajo realizado por los doctores que de igual forma realizan un cuestionario para saber los síntomas que tiene un paciente que llega a sus consultorio, los sistemas basados en conocimientos pueden tener como entrada un cuestionario o tener datos que indiquen que el comportamiento esta fuera de lo considerado correcto en el sistema que se esté diagnosticando. Estos sistemas están compuestos por tres componentes los cuales son:

- Motor de Inferencia
- Base de conocimientos
- Interfaz de usuario

Donde la base de conocimientos contiene las reglas que se pueden aplicar para obtener un diagnóstico adecuado, o con un nivel de aceptación bastante alto, estas reglas son escritas mediante lógica de predicados [3] [6].

El concepto de diagnóstico fue considerado para el modelo final puesto que el sistema eléctrico se debe mantener en constante monitoreo para verificar si el comportamiento es adecuado, sin embargo el término de sistema basado en conocimiento no se consideró totalmente por el uso de la lógica de predicados, puesto que solo se trataban con datos numéricos.

### 3.2.2 Planificación

Esta tarea busca desarrollar algoritmos de control que le permitan sintetizar secuencias que le lleven a alcanzar sus objetivos.

La planificación requiere que se apliquen reglas o se ejecuten acciones para que el sistema tenga el comportamiento adecuado desde un estado inicial a un estado meta final [2].

La pregunta que nos lleva a tomar o no este paradigma es si este modelo inteligente para la gestión de la energía eléctrica puede ejecutar acciones de forma autónoma, y es donde nos encontramos con una limitante y es que no hay actuadores, sin embargo el sistema tendrá un operador y este puede tomar el rol de un agente inteligente, en donde el modelo inteligente muestra alarmas o notificaciones de fallos y notifica al operador para que este realice las acciones necesarias.

En este caso se consideró la planificación debido a que este cumple con una de las metas finales para el modelo inteligente, y es que se apliquen acciones sobre el sistema, que permitan verificar el estado actual del mismo, y notificar de algún tipo de fallo en este concepto la tarea de diagnosis y la tarea de planificación se tomaron en consideración debido a que ambos llevaron a idear que el sistema debía diagnosticar por medio del uso de reglas que fijaban límites para generar alertas.

### 3.2.3 Control

Controlar un sistema consiste en que este

se comporte de una manera deseada, es una de las tareas que la inteligencia artificial utiliza con frecuencia en sistemas cerrados, donde es posible controlar el flujo de variables y datos en el mismo.

Se pueden distinguir dos problemas de control que son:

- El problema de regulación, en donde el comportamiento deseado es mantener la salida de forma constante independiente de las perturbaciones que actúen sobre el sistema.
- Problema de seguimiento, cuando el comportamiento deseado consiste en hacer que la salida del sistema siga una referencia dada.

En el modelo inteligente de gestión de energía eléctrica, aplicar directamente este paradigma indicaría controlar las variables de entradas para reducir en consumo de la energía eléctrica, sin embargo como se mencionó en las técnicas las variables del sistema no se pueden controlar debido a la constante de voltaje, por tanto no se podría enviar un dato de entrada distinto al estándar porque esto podría generar problemas.

### 3.3 Sistema basado en reglas

La parte fundamental de estos sistemas son las bases de reglas, que contienen reglas que se aplican al sistema por medio de un motor de inferencia para que este tenga un comportamiento adecuado [3] [5].

De esta forma estos sistemas pueden trabajar con un modelo del mundo real y seguir dicho comportamiento.

Las partes que componen un sistema basado en regla son:

Base de hechos, que contiene lo que está ocurriendo o ha ocurrido en el sistema.

Base de reglas, que contiene las reglas aplicables al sistema.

Motor de inferencias, aplica las reglas necesarias hasta alcanzar un estado ideal.

Este sistema puede realizar las tareas de inteligencia artificial, permitiendo que los sistemas puedan ser monitoreados de una forma adecuada, y gracias a su base de reglas que pueden contener condiciones de tipo numéricas para límites de aceptación antes de generar

una alarma, hace posible que se pueda tomar cualquier dato que se esté recibiendo a través de un sensor y actuar mediante los límites que se definan en el sistema.

En la figura 1 se presentan los componentes del sistema basado en reglas donde la memoria de trabajo es la base de hechos del sistema.

### 3.4 Aprendizaje automático

Dentro de los modelos para aprendizaje automático, tenemos las redes neuronales [1] [4] que permiten identificar patrones en el sistema, y aprender su comportamiento para genera una salida adecuada.

Los sistemas de redes de neuronal [4] también están presentes en minería de datos, por el tratamiento de los mismos, es por esto que no se consideraron para el modelo inteligente a desarrollar, sin embargo es importante mencionarlos ya que para tareas de control necesarias estas redes pueden predecir el comportamiento del sistema y cambiar las variables ajustándolas a un valor aceptable que le permita evitar que el sistema presente fallos.

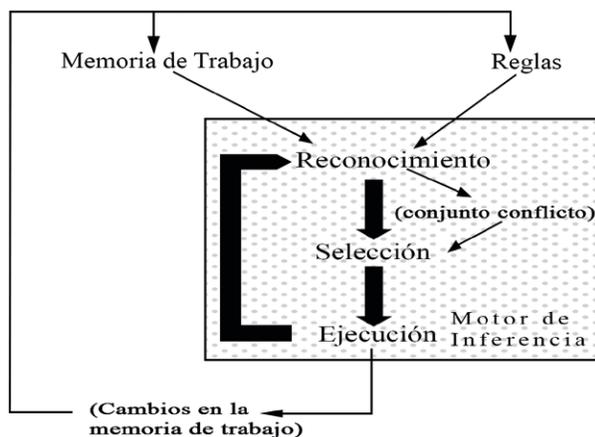


Figura 1. Diagrama de un sistema basado en reglas.

## 4. Resultados

Una vez se evaluaron estos modelos, tareas y técnicas, se toma la decisión de diseñar un modelo inteligente, basado en el sistema basado en reglas, pues este sistema nos permite conocer el entorno, es decir, como el sistema está actuando, como tenemos datos y no sensores pues los datos iniciales del sistema serán los que se encuentren

en la base de datos del sistema de visualización mencionado anteriormente en el punto 2, de esta forma se desarrollaran reglas que limiten al sistema comportarse dentro de un rango o intervalo adecuado al consumo eléctrico que no exceda los datos de auditoria realizados en el edificio donde se implementaría el modelo [2].

El modelo inteligente contara con los siguientes componentes necesarios:

- Base estática
- Base de hechos
- Base de reglas
- Nueva base de hechos
- Motor de inferencia
- Registro temporal de alarmas

Si bien los sistemas basados en reglas comprenden tres componentes, este modelo se le ha agregado dos componentes por separado, que son la nueva base de hechos, y el registro temporal de alarmas. A continuación se presentan la descripción de cada componente:

### 4.1 Base estática

La base estática contendrá los datos de consumo eléctrico que se hayan auditado, es decir, esta base de hechos contendrá el modelo a seguir por el sistema tomando en consideración que la auditoría que se realizó es con el consumo mínimo por los dispositivos electrónicos que se encuentren en el lugar donde el sistema será implementado.

El modelo aplicará reglas que indiquen que el comportamiento o consumo del sistema está fuera del rango permitido verificando siempre frente al modelo estático de datos, y alguna base nueva de hechos que se registre.

### 4.2 Base de hechos

Esta base debe presentar los datos del sistema de manera que el sistema pueda representar a través de él el comportamiento del mundo real del entorno que se está monitoreando.

Para el modelo inteligente la base de hechos, sería la base del sistema SCADA, la cual nos proporciona el estado del sistema, la idea de ver esta base de datos como una base de hechos, nace

de considerarla como fuente de información del entorno tal como la proporcionaría un sensor u otro dispositivo.

#### 4.3 Base de reglas

Se guardarán las reglas que verificarán el consumo eléctrico entre otras variables como el voltaje que son los que pueden caer en algún momento, esto permitirá que se pueda notificar un fallo en el sistema referente a los voltajes. Si por una caída de voltaje se presenta una falla las reglas que se están aplicando pueden verificar el comportamiento anterior a la falla, consultando con la base de hechos nueva y el comportamiento actual del sistema.

Un ejemplo de estas reglas sería considerar que una variable 'A' ubicada en la base estática es igual o menor que una variable 'B' ubicada, en la base de datos del sistema de visualización, si es así y dicha variable debe tener un valor por encima de la otra variable se debe registrar y notificar que dicho valor esta fuera de lo considerado óptimo, en este concepto se aplicaría reglas de tipo Condición → Acción.

#### 4.4 Nueva base de hechos

Cuando hablamos de una base nueva de hechos, estamos considerando que los datos de la base estática son los mínimos en consumo, y que se pueden presentar otros modelos de consumo dependiendo de las variables que actúan sobre el sistema, incluyendo el aumento en uso de dispositivos móviles o nuevas adquisiciones de sistemas eléctricos o electrónicos.

Cuando esto ocurre el modelo está en la capacidad de identificar este nuevo comportamiento del mundo real de tal forma que este, se pueda considerar nuevo conocimiento en el sistema, por lo que le permitirá actuar de una mejor forma frente a nuevos inconvenientes y problemas que se puedan generar durante el funcionamiento de la red eléctrica.

#### 4.5 Motor de inferencia

Este componente es importante ya que en él, se deben ejecutar las reglas que se aplican al sistema, en el modelo de sistemas basado en

conocimiento el motor de inferencia ejecuta las reglas hasta alcanzar un estado meta.

En este modelo inteligente de gestión de la energía eléctrica, la función inicial del motor de inferencia es similar al antes mencionado en los sistemas basado en reglas, difiere en que el sistema no puede actuar directamente en la red eléctrica por lo que las reglas se ejecutarán y se registrarán para indicar un mal funcionamiento, enviando la información al operador en donde este debe atender a las necesidades de la red verificando si existe falla en algún dispositivo electrónico o en algún área específica del lugar donde se implementará el sistema con dicho modelo.

El agente humano (operador) aplicará las acciones necesarias dependiendo de la gravedad del mismo, esto permitirá que el sistema regrese a un flujo de consumo en un rango específico, de esta manera el motor de inferencia del modelo inteligente de gestión energética logrará alcanzar estados-metas.

#### 4.6 Registro temporal de alarmas

Los registros temporales de posibles alarmas, tienen como función reunir información a través de las reglas que se aplican en el motor de inferencia.

Lo anterior consiste en que, cuando un patrón es constante, y se ha mantenido de igual forma en un tiempo determinado, y este no afecta el funcionamiento del sistema eléctrico, y no compromete el consumo energético de una forma exagerada es considerado un nuevo conocimiento y es agregado a la nueva base de hechos.

Sin embargo si un patrón está fuera de rango este debe notificarse haciendo énfasis en que se está poniendo en riesgo el funcionamiento adecuado del sistema, el registro se irá actualizando de acuerdo a la gravedad del patrón leído, después de un tiempo si dicho patrón no se registra se borra totalmente del registro sin poder acceder nuevamente a él.

En un inicio el modelo de gestión inteligente de la energía eléctrica consideró desarrollar una

base de alarmas, sin embargo se diseñó como registro temporal para evitar un desborde de datos inicialmente.

Este modelo puede cambiar dicho concepto de ser necesario, siempre pensando que la necesidad depende de la cantidad de espacio en memoria que queremos consumir, y lo importante que es mantener todas las alarmas, o solo aquellas que son directamente relevantes.

En la figura 2, se presenta el modelo propuesto de forma gráfica.

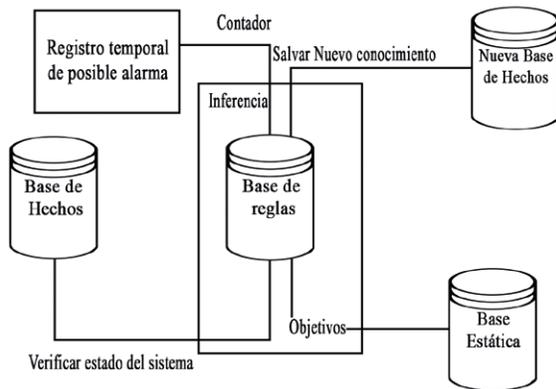


Figura 2. Modelo inteligente final, propuesta fase 1.

## 5. Discusión

El modelo propuesto, se basa en los paradigmas de inteligencia artificial en su totalidad, buscando desarrollar un sistema con capacidad de comportarse con un grado de inteligencia, cumpliendo con la definición de inteligencia artificial. Es un modelo que conlleva parte de sistemas de control, tomando algunos conceptos como el de seguimiento frente a un modelo de tiempo real, ya que esta facilidad la permiten los sistemas basados en reglas, es importante también mencionar que las redes neuronales pueden ayudar en este tipo de control, por lo que se sugiere poder evaluar para posteriores investigaciones.

Al incorporar nuevos componentes al modelo clásico de sistemas basado en reglas, lo que se busca es que el sistema pueda tener diferentes conocimientos para inferir las alarmas presentes en la red eléctrica, de esta forma estamos intentando que el sistema pueda aprender mediante la observación de las

variables que son captadas por el sistema de visualización SCADA.

El modelo es adaptable, ¿Cómo?, pues al ser un sistema basado en reglas, solo buscamos tener datos numéricos de esta forma al conectarse un dispositivo nuevo debemos direccionar la lectura de dicho componente de forma que el sistema pueda inferir y dar una solución, si tenemos un sensor de temperatura para un lugar donde están alojados servidores y decimos que la temperatura del lugar no debe aumentar de 22 grados Celsius, podemos usar el dato del sensor de temperatura para observar el comportamiento del área, en donde 22 sería nuestro límite para la nueva regla que se incorpora al sistema sin que este afecte el funcionamiento de los otros componentes.

En la actualidad se han desarrollado sistemas como EFIS que permiten el tratamiento de grandes volúmenes de datos e integración con sensores, el modelo propuesto busca romper un poco con la necesidad o dependencia de otros componentes, haciendo que este funcione con datos que puedan ser obtenidos desde una base de datos de un sistema de visualización, como también de una base de datos que contenga datos de dispositivos electrónicos como sensores u otros.

En este mismo concepto se visualiza la nueva tendencia del internet de las cosas en donde la idea radica en conectar cada vez una mayor cantidad de dispositivos y que estos puedan comunicarse entre sí.

De esta forma el modelo propuesto permite esta conectividad, haciendo que se puedan conectar dispositivos e integrarlos todos a través de un solo punto principal, de esta forma el concepto de eficiencia energética y ahorro energético no es solo parte de la ingeniería eléctrica sino también de otras disciplinas como las ciencias de la computación que aportan en el desarrollo de estos tipos de modelos.

## 6. Conclusiones

El modelo inteligente de gestión de la energía eléctrica, se adapta a las necesidades del entorno permitiendo que este pueda ser funcional con pequeños datos como con grandes datos.

La inteligencia artificial se relaciona con otras disciplinas sin tener límites y no solo como un área específica, es decir, solo en control o en diagnóstico, sino también integrando un poco de cada una para generar un conocimiento nuevo.

La visualización de los sistemas es el primer paso para llegar a controlar y mejorar los procesos, optimizándolos y reduciendo errores y fallas que impiden un funcionamiento adecuado del sistema que se esté monitoreando.

## Agradecimiento

Se reconoce el apoyo de la Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales que brindó un espacio de estudio e investigación para lograr este trabajo.

Al Ingeniero Ignacio Chang, director del grupo de investigación de Sistemas de Control Inteligente e Informática Industrial que dio esta gran tarea de realizar este trabajo, en el cual se puede apoyar directamente a su grupo de investigación.

## REFERENCIAS

- [1] José Andrés Somolinos Sánchez. (2002). Avances en robótica y visión por computador. España: Servicio de publicaciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- [2] Mauricio Martínez, Edgardo Santana. (2016). Implementación de un Sistema Inteligente para la Gestión de la Energía Eléctrica, del Edificio #1 del Campus Victor Levi Sasso. Panamá.
- [3] Pedro Ponce Cruz. (2010). Inteligencia Artificial con aplicaciones a la Ingeniería. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- [4] Isasi viñuela P.; Galván León. (2004). Redes de Neuronas Artificiales. Madrid: Pearson Educación, S.A.
- [5] Palma Méndez, José Tomás Marín Morales, Roque. (2008) Inteligencia artificial: métodos, técnicas y aplicaciones. McGraw-Hill España.
- [6] Benítez, R., Escudero, G., Kanaan, S., & Rodó, D. M. (2014). Inteligencia artificial avanzada. Editorial UOC.
- [7] Rodríguez Penin, Aquilino (2008). Sistemas SCADA, Marcombo.

# Crecimiento de la microalga *Dunaliella salina* en un cultivador *Raceway* en condiciones de laboratorio

## Growth of the *Dunaliella salina* microalga in a *Raceway* cultivator in laboratory conditions

Cindy Mayorga<sup>1</sup> & Leopoldo Manso<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería en Alimentos – Facultad de Ciencias y Tecnología – Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales – Universidad Tecnológica de Panamá

85

**Resumen** Se llevó a cabo un estudio en el crecimiento de la microalga *Dunaliella salina* en un cultivador de tipo *raceway* en condiciones bajo techo y se evaluó su crecimiento celular con métodos de medición como el recuento de células en cámara de Neubauer, densidad óptica por espectrofotometría y peso seco. En los días 9, 12 y 15 se presentaron los valores de crecimiento de células más altos con promedios de  $7.15 \times 10^6$  cel/mL y de masa seca de 1.11 g/mL, haciendo a su vez cosechas periódicas típicas de los cultivos semicontinuos. La dinámica de crecimiento para cada uno de los métodos de medición celular se dio como la dinámica de crecimiento en los microorganismos. El uso de diversos métodos de medición celular de forma simultánea permitió obtener resultados más confiables. Se demostró que para cada método de recuento celular hubo un comportamiento y velocidad de crecimiento parecidos entre cosechas. Llevar a cabo un cultivo semicontinuo bajo techo de *Dunaliella salina* permitió obtener grandes cantidades de biomasa, lo que permitiría obtener productos de gran valor comercial.

**Palabras claves** Cultivo masivo, crecimiento celular, *Dunaliella salina*, microalga.

**Abstract** A study was conducted on the growth of the microalgae *Dunaliella salina* in a "raceway" system in indoor conditions and cell growth was studied using measurement methods such as cell count in Neubauer chamber, optical density by spectrophotometric and dry weight. In the days 9, 12 and 15 higher values of cell growth with averages of  $7.15 \times 10^6$  cells/mL and dry weight of 1.11 g/mL were presented, making typical periodic extractions of semi-continuous cultures. Growth dynamics for each cell measuring method was like the growth dynamic of the microorganisms. The use of various methods of cell measurement simultaneously allowed more reliable results. It was shown that for each cell counting method there was a similar growth behavior and growth rate between harvests. Carrying out a semi-continuous culture of *Dunaliella salina* made it possible to obtain large amounts of biomass, which would allow to obtain products of great commercial value.

**Keywords** Mass culture, growth cell, *Dunaliella salina*, microalgae.

\* Corresponding author: leopoldo.manso@utp.ac.pa

## 1. Introducción

Las microalgas son organismos microscópicos fotosintéticos que crecen en ambientes de agua salada o dulce [1].

La productividad de las microalgas está determinada por el pH, la salinidad, los nutrientes, la luz y la temperatura [2].

La dinámica de crecimiento en los cultivos de microalgas es como la que se presenta en los microorganismos como se esquematiza en la figura. 1:

- 1) Fase *lag* o de adaptación
- 2) fase exponencial
- 3) fase de declinación del crecimiento
- 4) fase estacionaria y
- 5) fase de muerte [3]

Las microalgas pueden ser producidas por una variedad de métodos como el cultivo *batch*, semicontinuo y continuo. El tipo *batch* consiste en una única inoculación de células dentro de un contenedor con medio de cultivo por un período de crecimiento y finalmente cosechado.

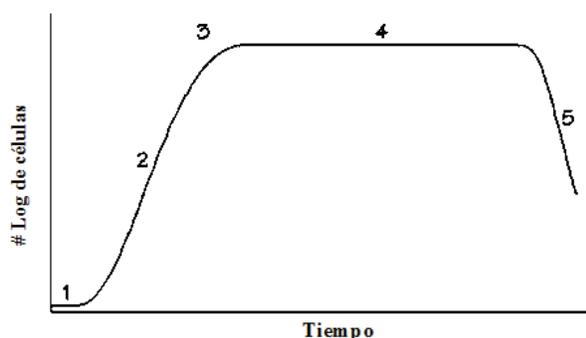


Figura 1. Dinámica de crecimiento en microalgas.

El semicontinuo prolonga el uso de cultivos en tanques por cosechas periódicas parciales, seguido inmediatamente de llenado al volumen original y suplementando con los nutrientes para alcanzar el nivel original de enriquecimiento.

El cultivo continuo consiste en suministrar medio enriquecido constantemente en una cámara de crecimiento y el exceso de cultivo se extrae de forma simultánea de manera que el factor de dilución iguale la velocidad de crecimiento, permitiendo el mantenimiento de cultivos muy cerca de la máxima velocidad de crecimiento [4].

El creciente interés en los últimos años por la producción de microalgas es debido a los productos que se pueden obtener a partir de ellas como proteínas, lípidos, carbohidratos, carotenoides o vitaminas para la salud, alimentos y cosméticos [5] y son fuentes comerciales de químicos de alto valor como  $\beta$ -caroteno, astaxantina y extractos de algas. Estos compuestos y sus productos derivados han sido utilizados para aplicaciones específicas como: aditivos alimentarios y suplementos nutricionales, farmacéuticos, acuicultura y piensos [6].

El objetivo de este trabajo es estudiar el crecimiento masivo de la microalga *Dunaliella salina* en un modelo de cultivador en condiciones de laboratorio.

Para esto, se ha estudiado las condiciones de crecimiento de la microalga (figura 2) en un cultivador de tipo *raceway* y aplicando diversas metodologías para cuantificar el crecimiento de células por día.



Figura 2. *Dunaliella salina* bajo el microscopio.

## 2. Materiales y métodos

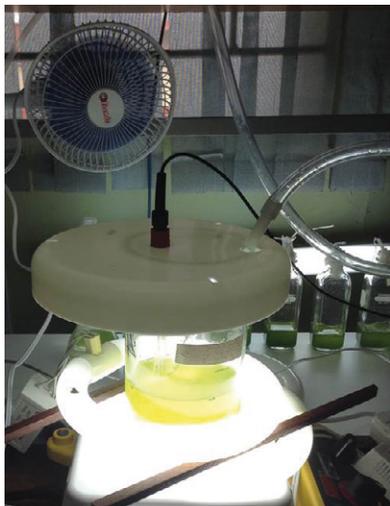
### 2.1 Cepa

Se utilizó una cepa de *Dunaliella salina* aislada en las salinas de Aguadulce, Provincia de Coclé, República de Panamá.

La microalga es mantenida los laboratorios del Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales (CEPIA) de la Universidad Tecnológica de Panamá.

## 2.2 Propagación

Se llevó a cabo en un frasco de vidrio de 1000 mL (figura 3) añadiendo 500 mL del medio de cultivo Borowitzka [7] ajustado a un 13% de sal para su crecimiento.



**Figura 3.** Cultivo de *Dunaliella salina* en frasco.

Luego, se colocó el frasco en un agitador magnético con tres lámparas fluorescentes blancas de 18 cm de diámetro a su alrededor con una densidad de flujo fotones PAR de  $193.02 \mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , un tubo para proporcionar la inyección de  $\text{CO}_2$ , un medidor de pH y un pequeño abanico para la regulación de la temperatura de 26-35 °C.

## 2.3 Control del cultivo

Se realizó un control del pH con un sistema *on-off* con registro automático cada 10 s utilizando un potenciómetro con salida digital conectado a un controlador Arduino Uno. Como actuador se utilizó una bomba peristáltica adaptada a un caudal de 15 mL/min de KOH 1M para el ajuste del pH en un rango de 8.00-9.00.

## 2.4 Cultivo en cultivador *raceway*

Se inoculó a partir del cultivo del frasco en un cultivador tipo *raceway* de 140 x 15 x 15 cm (figura 4) que contaba con una paleta giratoria a motor y un prototipo para la inyección de  $\text{CO}_2$  de calidad médica.



**Figura 4.** Cultivo de *Dunaliella salina* en cultivador *raceway*.

Para la iluminación se colocaron sobre el cultivador 4 lámparas de luz fluorescente largas blancas aportando una densidad de flujo fotones PAR de  $47.08 \mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y 10 focos de luces tipo LED azules (5) y rojas (5) aportando una densidad de flujo fotones PAR de  $37.41 \mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

El cultivador contiene un volumen de 45 litros con el medio de Borowitzka para una altura de 15 cm a una salinidad deseada del 12-13%. Se llevó a cabo un cultivo semicontinuo.

## 2.5 Medición del crecimiento celular

El crecimiento de un cultivo de microalgas se expresa como el incremento de biomasa ya sea en forma de número de células, por cambios de densidad óptica o peso seco.

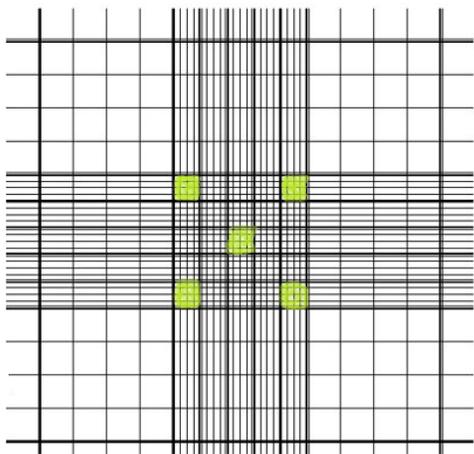
### 2.5.1 Recuento celular

Se llevó a cabo utilizando una cámara de recuento de Neubauer y con la ayuda de una pipeta se tomó una alícuota para colocar la muestra al borde del cubreobjetos en el extremo de la cámara dejando que el líquido penetrara por capilaridad.

Posteriormente, se colocó la cámara en un microscopio óptico con el ocular de 10X y sobre la cuadrícula para el conteo de células pequeñas.

Para el conteo, se utilizó la cámara incorporada al microscopio tomando fotos en

las 4 esquinas y en el centro de la cuadrícula (figura 5). Se seleccionó un (1) cuadrante de cada foto de manera aleatoria y se contaron las células dentro de cada cuadrante [8].



**Figura 5.** Cultivo de *Dunaliella salina* en frasco.

### 2.5.2 Densidad óptica

Se utilizaron dos celdas de cuarzo en una colocando el volumen de agua destilada como blanco y en la otra, el volumen necesario de muestra del cultivo. Luego, se ubicaron las celdas en los espacios de un espectrofotómetro UV-VIS y se midió la densidad óptica a una longitud de onda de 650 nm [8].

### 2.5.3 Método gravimétrico

En un tubo de centrifuga limpio y previamente pesado, se añade una alícuota de 5 mL del cultivo. Seguido, se coloca el tubo en una centrifuga por 15 minutos a 2500 RPM.

Se decantó el medio suspendido y se resuspendió con una solución salina al 3%. Se hizo por triplicado.

Una vez lista la muestra, se colocó el tubo en un horno de convección durante 24 horas a 105 °C y por diferencia se obtiene el peso seco.

## 3. Resultados y discusión

Las condiciones de cultivo se mantuvieron iguales a lo largo del estudio para establecer los sistemas de controles y los métodos de medición. Los niveles de pH en un rango de 8.00-9.00 y salinidad por arriba del 13% se

establecieron por ser las condiciones selectivas para el crecimiento de *Dunaliella salina* lo que permite tener un cultivo unialgar.

Las condiciones de iluminación son las posibles para cultivos bajo techo. El uso de luces fluorescentes, luces rojas y azules permiten un espectro de luz más completo y la absorción por los pigmentos fotosintéticos.

En la tabla 1 se detallan las mediciones realizadas por día para el conteo de células en la cámara de Neubauer, densidad óptica y masa seca.

En los días 9, 12 y 15, la concentración celular en promedio fue de  $7.15 \times 10^6$  cel/mL equivalentes a una densidad óptica de 0.965 y de 1.11 g/L de masa seca y con ello las cosechas periódicas típicas en los cultivos semicontinuos.

La medición de la biomasa por masa seca no se realizó los primeros dos días debido a que la biomasa acumulada en esos dos días no era significativa para realizar la cuantificación.

Para el cálculo del número de células se utilizó la siguiente ecuación:

$$\# \text{ de células (cel/mL)} = \frac{\text{promedio de células contadas}}{0.2 \text{ mm}^2 \times 0.1 \text{ mm}} \times \frac{1 \times 10^3 \text{ mm}^3}{1 \text{ mL}} \quad (1)$$

Las figuras 6, 7 y 8 muestran los valores del número de células por mililitro, la densidad óptica medida en absorbancia y la masa seca con respecto al tiempo respectivamente, utilizando los datos de la tabla 1.

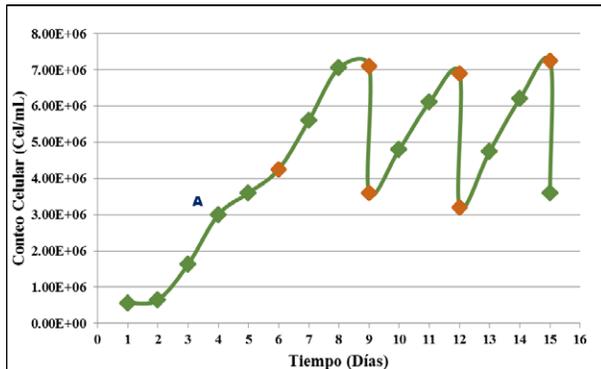
En el punto A de las gráficas 6 y 7 donde comienza la desaceleración del crecimiento, se añadieron nutrientes equivalentes a un volumen de 20 L y se observó un cambio en el crecimiento del cultivo; lo que implica que la desaceleración del cultivo no se debía a que la luz era una limitante, sino a los nutrientes. Por ese motivo, la adición de nutrientes tuvo un efecto de incremento en el crecimiento del cultivo y una mayor biomasa.

La velocidad de crecimiento específico es otra forma de representar la cinética considerando el incremento en el número de células en un intervalo de tiempo.

**Tabla 1.** Medición celular por día

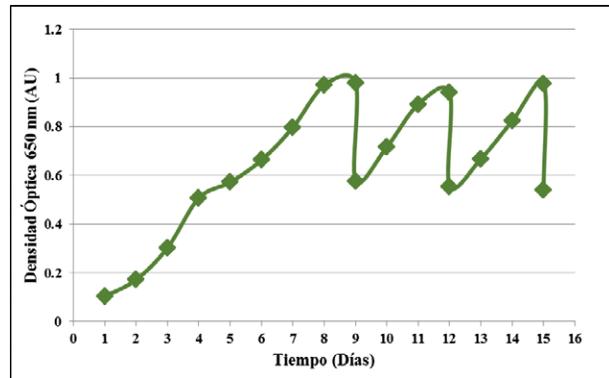
Día	N.º cel (cel/mL)	Densidad óptica (abs)	Masa seca (g/mL)
1	5.50 x 10 <sup>5</sup>	0.103	--
2	6.50 x 10 <sup>5</sup>	0.172	--
3	1.63 x 10 <sup>6</sup>	0.303	0.53
4	3.00 x 10 <sup>6</sup>	0.507	0.59
5	3.60 x 10 <sup>6</sup>	0.572	0.65
6	4.25 x 10 <sup>6</sup>	0.663	0.77
7	5.60 x 10 <sup>6</sup>	0.796	0.85
8	7.05 x 10 <sup>6</sup>	0.970	0.99
9	7.10 x 10 <sup>6</sup>	0.980	1.07
9	3.60 x 10 <sup>6</sup>	0.577	0.75
10	4.80 x 10 <sup>6</sup>	0.717	0.90
11	6.10 x 10 <sup>6</sup>	0.892	1.10
12	6.90 x 10 <sup>6</sup>	0.940	1.19
12	3.20 x 10 <sup>6</sup>	0.555	0.83
13	4.75 x 10 <sup>6</sup>	0.668	0.85
14	6.10 x 10 <sup>6</sup>	0.824	0.97
15	7.45 x 10 <sup>6</sup>	0.976	1.08
15	3.60 x 10 <sup>6</sup>	0.540	0.77

En el día 9, se observa el máximo crecimiento de células en el cultivo por el punto de inflexión que se observa del día 8 al día 9 en las figuras 6 y 7, dando inicio a la fase de declinación de crecimiento del cultivo.

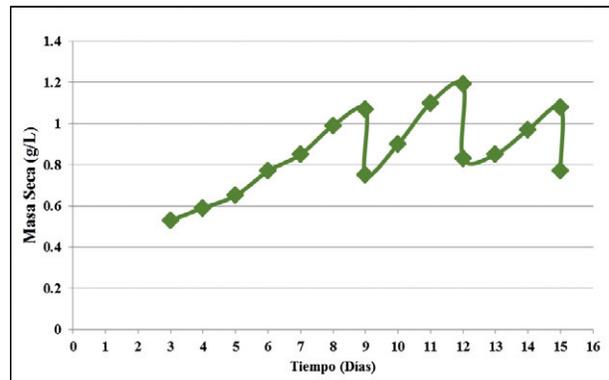


**Figura 6.** Densidad de células de *Dunaliella salina* determinadas por día en cultivo semicontinuo en prototipo de cultivador.

Al realizar cada una de las cosechas se observa como el crecimiento se da de manera más rápida debido a que el cultivo se encontraba en la velocidad de crecimiento más avanzada, volviendo a alcanzar el máximo crecimiento cada 3 días en los días 12 y 15.



**Figura 7.** Concentración celular de *Dunaliella salina* determinando la absorbancia por día en un cultivo semicontinuo en prototipo de cultivador.



**Figura 8.** Perspectiva de crecimiento de *Dunaliella salina* por día en prototipo de cultivador basado en datos de masa seca.

Los puntos utilizados para calcular la velocidad de crecimiento específico son los marcados en anaranjado en la figura 6. El cálculo de la velocidad de crecimiento específico está dado por la siguiente ecuación:

$$\mu(d^{-1}) = \frac{\ln x_2 - \ln x_1}{t_2 - t_1} \tag{2}$$

Donde:  $\mu$ : velocidad de crecimiento específico,  $x$ : número de células y  $t$ : tiempo.

Vorst [9] reporta una velocidad de crecimiento de 0.8 d<sup>-1</sup> de *Dunaliella salina* con un aporte de luz de 100  $\mu\text{mol}$  fotones  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de luz blanca [9].

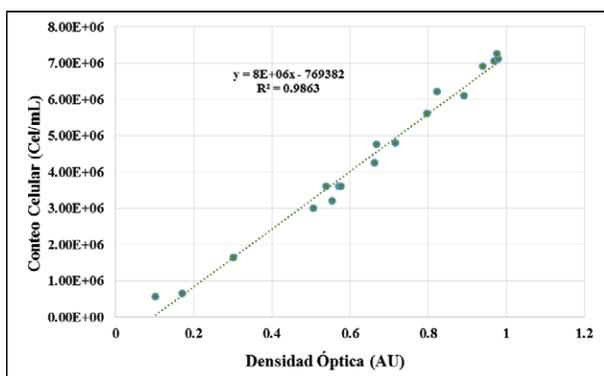
La velocidad de crecimiento específico máximo alcanzado por el cultivador en cada una de las cosechas de biomasa es baja comparado

con lo reportado por Vorst. Esto puede deberse principalmente por la potencia de las luces aportadas al cultivo que fue de 47.08  $\mu\text{mol fotonos m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de luz blanca. Por lo que el aporte de luces es un parámetro muy importante para la producción de las células de *Dunaliella salina*.

Como cada metodología tiene sus inconvenientes, es necesario llevar a cabo más de un método de medición de crecimiento celular en microalgas para obtener resultados más confiables, razón por la que se llevaron a cabo varios métodos de manera simultánea.

El comportamiento de las curvas de crecimiento entre las cosechas de biomasa y su recuperación nuevamente hasta el valor más alto de células registrado en la primera cosecha, fue similar para las tres metodologías. De igual manera, la dinámica de crecimiento del cultivo fue parecida a la que se presenta en otros microorganismos.

Observando las mediciones de conteo celular y densidad óptica se puede determinar una relación muy alta entre ambas medidas ( $R^2 = 0.9863$ ) como se muestra en la figura 9.



**Figura 9.** Relación conteo celular vs densidad óptica en un prototipo de cultivador.

A través de la densidad óptica se puede estimar un valor para el número de células, lo que para procesos industriales significaría resultados más rápidos con respecto a las mediciones por conteo celular y masa seca.

Finalmente, el crecimiento de las células de *D. salina* se puede notar primariamente con la variación del color verde (figura 10); el verde

más claro es una concentración más baja de las células de la microalga y el verde más intenso una concentración muy alta de células.



**Figura 10.** Evolución del crecimiento de *Dunaliella salina*. Día 1: cultivo en etapa inicial. Día 2-10 aumento en el crecimiento de la biomasa. Día 11: biomasa antes y después de extracción.

#### 4. Conclusiones

El cultivo semicontinuo es una alternativa apropiada para el crecimiento de *Dunaliella salina* por su estado de equilibrio en forma uniforme y constante, permitiendo obtener biomasa en grandes cantidades.

Se demostró que para cada método hubo un comportamiento de crecimiento y velocidad de crecimiento parecidos entre cosechas, cumpliendo con la dinámica de crecimiento de las microalgas.

Para fines industriales, se puede estimar el crecimiento celular de *Dunaliella salina* con la densidad óptica por su alta relación con respecto al conteo celular, debido a sus rápidos resultados.

Estudiar el crecimiento en un cultivo de *Dunaliella salina* permitiría obtener productos de gran valor comercial a partir de su biomasa. Esta investigación permite abrir paso para el cultivo y aplicación de otras microalgas en Panamá, lo que posibilita estudios posteriores en diferentes áreas de investigación relacionadas con este tema muy poco estudiado en nuestro país.

#### Agradecimiento

Agradecemos al Ing. Jorge Serrano por toda su colaboración en los sistemas de control que requirió el proyecto. Y al Centro de Producción e

Investigaciones Agroindustriales por permitirnos el uso de sus laboratorios para la realización de este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] A. Carlsson, J. Beilen, R. Moller, D. Clayton. "Micro and Macro-algae: utility for industrial applications", University of York, ISBN 13: 978-1-872691-29-9, 2007.
- [2] AST Ingeniería S.L., "Aplicaciones de las Microalgas: Estado de la Técnica", Fondo Social Europeo, 2013.
- [3] E.W. Becker. Microalgae: Biotechnology and microbiology, 2nd Edition, Cambridge University Press, USA, 1995.
- [4] Lavens P. and Sorgeloos P. 1996. Manual on the Production and Use of Live Food for Aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper 361. Ghent City, Belgium. Online Available: <http://www.fao.org/docrep/003/w3732e/w3732e06.htm>
- [5] I. Priyadarshani I. and R. Biswajit, Commercial and industrial applications of micro algae. Journal Algal Biomass vol. 4, pp. 89-100, 2012.
- [6] R. Shields, K. Flynn, B. Lovitt, C. Greenwell, I. Ratcliffe, P. Facey, R. Jarvis. 2010. "A Technology Review and Roadmap for Microalgal Biotechnology in Wales". Centre for Sustainable Aquaculture Research. Swansea University, United Kingdom, 2010.
- [7] Borowitzka M. 1990. The mass culture of Dunaliella salina. FAO, Regional seafarming development and demonstration project. Cebu City, Phillipines. Online Available: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB728E/AB728E00.htm#TOC>
- [8] Arredondo-Vega B y Voltolina, D. 2006. Métodos y herramientas analíticas en la evaluación de la biomasa microalgal. Editor Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, B.C.S., México. Capítulo 2:21-30.
- [9] Vorst, Pieter. 1995. Production carotene with chemostat cultures of Dunaliella. Tesis de Doctorado. Swammerdam Institute for Life Sciences, The Netherlands: 23-33.

# Diferencia entre la eficiencia de eliminación de materia orgánica de filtros biológicos a escala de laboratorio utilizando lechos convencionales versus empaques sintéticos

## Difference between the efficiency of the elimination of organic material from biological filters at laboratory scale using conventional milks versus synthetic packaging

Amador Cárdenas<sup>1</sup>; Julio Mancilla<sup>1</sup> & Viccelda Domínguez<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Ambiental – Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Profesora de la Facultad de Ingeniería Civil – Campus Dr. Víctor Levi Sasso – Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** Los medios de soporte fijo ofrecen una alternativa sostenible de método de tratamiento de aguas residuales para comunidades de interés social, debido a su muy buena eficiencia de degradación de materia orgánica (Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días entre 75% a 90%), bajo costo, inversión inicial, como de operación y mantenimiento, así como su sencilla operación, desde el punto de vista técnico. La presente investigación tuvo como objetivo principal la evaluación de la diferencia entre la eficiencia en remoción de materia orgánica de un material sintético de polipropileno (2 HPP *Cooling Tower Fill* FKP 319/619) versus material convencional (rocas), en términos de DBO<sub>5</sub>, DQO y Sólidos Volátiles; como aporte para posteriores tratamientos de aguas residuales domésticas, especialmente de interés social. El período de prueba fue de 41 días en los cuales se midieron diariamente parámetros de control como pH, Temperatura, Sólidos Disueltos Totales, Salinidad y Conductividad, al igual que parámetros principales de interés para la investigación como DBO<sub>5</sub>, DQO y Sólidos Volátiles. Ambos filtros obtenían agua residual sintética de la misma fuente de entrada, lo cual permitió mantener un mejor control al medir la eficiencia de remoción. El período de arranque, en el cual se formaron las primeras capas de *biofilm*, duró aproximadamente 20 días. El módulo de material sintético fue relleno de trozos del mismo módulo para aumentar el área y el tiempo de contacto. Al finalizar el período de pruebas, se pudo conocer que el material sintético de polipropileno fue más eficiente en remoción de materia orgánica en comparación con las rocas, presentando valores promedio de remoción, en términos de DBO<sub>5</sub> de 27.807% y 18.109%; y en términos de DQO de 17.053% y 10.725%, respectivamente.

**Palabras claves** Tratamiento de aguas residuales, filtros biológicos, módulo sintético, eficiencia de remoción, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno.

**Abstract** Trickling filter provide a sustainable alternative method of treatment of wastewater for communities of social interest, due to its excellent degradation of organic matter efficiency (Biochemical Oxygen Demand 5 days between 75% to 90%), low cost, initial investment, operation and maintenance as well as its simple operation, from the technical point of view. This investigation had as main objective the evaluation of the difference between the efficiency of removal of organic matter from a synthetic material polypropylene (2 HPP *Cooling Tower Fill* FKP 319/619) versus conventional material (rocks) in terms of BOD<sub>5</sub>, COD and volatile solids; as input for further treatment of domestic sewage, especially social interest. The trial period was 41 days in which control parameters such as pH, temperature, Total Dissolved Solids, Salinity and conductivity, as main parameters of interest for research as BOD<sub>5</sub>, COD and Volatile Solids were measured daily. Both filters obtained synthetic wastewater from the same source, which allowed maintain better control by measuring the removal efficiency. The starting period, in which the first layers of biofilm formed, lasted about 20 days. The module was filled plastic pieces of the same module to increase the area and contact time. At the end of the test period, it was known that synthetic polypropylene material was more efficient in removing organic matter in comparison with rocks, presenting average values of removal, in terms of BOD<sub>5</sub> of 27,807% and 18,109%; and in terms of COD of 17,053% and 10,725% respectively.

**Keywords** Wastewater treatment, trickling filters, synthetic module, removal efficiency, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand.

\* Corresponding author: viccelda.dominguez@utp.ac.pa

## 1. Introducción

En los últimos años se han desarrollado distintos tipos de tecnologías que ofrecen una gama de opciones en el tratamiento secundario. Existen tratamientos de tipo físico, químico y biológico. Por lo general, los tratamientos biológicos representan menores costos de explotación y mantenimiento, por lo que son altamente utilizados [1].

En este trabajo de investigación se escogieron los filtros percoladores como base del estudio.

Los lechos fijos se componen de rocas o, más recientemente, de piezas plásticas u otro material, sobre las cuales se realiza una aspersion de las aguas residuales, mediante un brazo rotatorio con orificios o boquillas, el cual es movido por un motor o por la misma acción dinámica del agua al golpear con la superficie del lecho.

Con el tiempo, se forma una biopelícula (*biofilm*), llamada también *zooglea*, sobre este material de soporte; esta biopelícula o lama biológica de microorganismos se encargará de tomar como alimento (adherir y descomponer), la materia orgánica biodegradable presente en las aguas del afluente.

En la medida en que avanza la operación del filtro, la biopelícula aumenta gradualmente su espesor sobre la superficie de las rocas o piezas plásticas.

Esto causa que la materia orgánica que se absorbe, sea empleada por los microorganismos de la parte más superficial “capa externa”, dejando a los de la parte interna con menos alimento y oxígeno.

En consecuencia, esta “capa interna” entra en fase de crecimiento endógeno provocando pérdida de adherencia al medio de soporte, hasta que termina por desprenderse. Todo lo anterior provoca un ciclo de auto limpieza en el filtro percolador que evitará su colmatación por engrosamiento de la biomasa adherida. Pueden funcionar con sistemas de alta o baja tasa [2-3].

Las aguas residuales que se dosifican a un filtro percolador deben recibir pre tratamiento, tal como el que se da en un tanque séptico.

Los sólidos y las grasas deben eliminarse antes de rociar las aguas negras sobre el filtro percolador. Si no se sacan estos materiales,

pueden cubrir la capa fina de microorganismos que crecen en el medio y matarlos.

Un buen sistema de filtro debe ser capaz de remover  $\text{DBO}_5$ , patógenos y coliformes fecales de las aguas residuales domésticas [4].

La razón para realizar la presente investigación es comparar la eficiencia de la remoción de  $\text{DBO}_5$  o  $\text{DQO}$  de los filtro percoladores a utilizar.

Se quiere recomendar como una alternativa a comunidades de interés social, debido a que es un tratamiento sencillo y barato.

## 2. Metodología

El estudio fue cuantitativo y cualitativo ya que se realizaron determinaciones en laboratorios de las características físicas, químicas y biológicas.

El enfoque cualitativo evalúa el desarrollo natural de los sucesos, utilizando la recolección de datos sin medición numérica para descubrir preguntas de investigación en el proceso de investigación, mientras que el enfoque cuantitativo fragmenta los datos en partes para responder al planteamiento del problema, donde los análisis se interpretan a la luz de las predicciones iniciales (hipótesis) y de estudios previos (teoría), donde la interpretación constituye una explicación de cómo los resultados encajan en el conocimiento existente [5].

Todas las pruebas fueron realizadas en el Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de Panamá.

### 2.1 Diseños de las plantas de tratamientos

El diseño de la Planta de Tratamiento a Escala Real fue realizado con base en la población para la cual está destinado el Proyecto SMART (proyecto de interés social) en donde la población de diseño es de 2400 habitantes.

La planta de tratamiento a escala de laboratorio fue diseñada a una proporción promedio de 1:12.5 de la planta real.

### 2.2 Construcción de los reactores

La planta a escala de laboratorio constó de tres reactores: un tanque de almacenamiento construido con pacas de acrílico de 1/8” y

dos cilindros de 1/8” y 40 cm de altura que funcionaron como filtros biológicos.

Los materiales de soporte utilizados fueron rocas basálticas y un módulo de polipropileno (2 HPP Cooling Tower Fill FKP 319/619).

### 2.3 Medición de parámetros

El período de pruebas duró 41 días en los que se monitorearon parámetros de control como pH, temperatura, sólidos disueltos totales, salinidad y conductividad, utilizando un medidor de pH y un multiparámetros; así como los parámetros principales para esta investigación: DBO<sub>5</sub>, DQO y sólidos volátiles, para los cuales se utilizaron equipos como nevera, reactor para DQO y mufla.

Estos parámetros fueron medidos a la entrada y a la salida de ambos filtros biológicos.

### 2.4 Medición de la eficiencia en remoción de materia orgánica

La medición de la eficiencia en remoción de materia orgánica se cuantificó, principalmente, en términos de DQO debido a que se comparó la eficiencia de cada material con estudios realizados por otros autores, y estos, presentaron sus resultados en eficiencia de remoción de DQO.

## 3. Análisis de resultados

### 3.1 Resultados de la entrada

#### 3.1.1 Relación DBO/DQO

Los valores de la relación entre la DBO<sub>5</sub> y la DQO fueron superiores a 0.5 con un valor promedio de 0.79, lo que significa que la materia orgánica es altamente biodegradable.

Los valores de DQO y DBO<sub>5</sub> se comportan de manera paralela durante todo el período de prueba.

El día 6 de prueba, se presentó el valor más alto de DBO<sub>5</sub> y DQO debido a la fermentación presentada durante el inicio de las pruebas.

A partir del día 18 de prueba, el agua residual sintética preparada no presentó fermentación debido a que a partir del día 17, fecha en la que se preparó un agua residual sintética nueva, la misma empezó a airearse.

Esto se muestra en la gráfica de la figura 1,

en donde los valores de ambos parámetros van disminuyendo.

### 3.2 Resultados salida del material sintético

La relación DBO/DQO a la salida del sistema estuvo por encima 0.4, con un promedio de 0.68 lo que representa una alta biodegradabilidad de la materia orgánica.

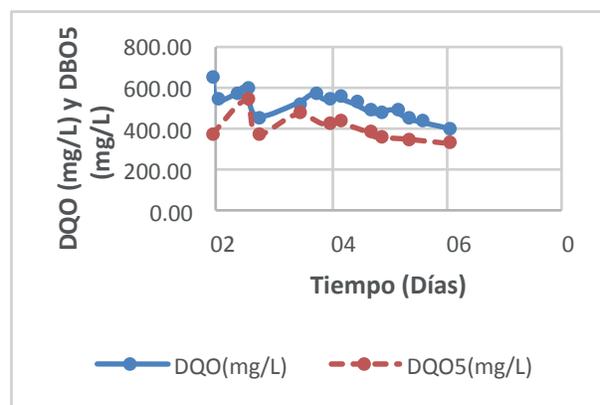


Figura 1. Gráfica 1: proporción de la DQO con respecto al DBO<sub>5</sub> en la entrada del sistema.

A partir del día 6, el comportamiento fue directamente proporcional entre la DBO<sub>5</sub> y la DQO a la salida del material sintético, presentando valores que disminuyeron a lo largo del período de prueba, como se aprecia en la gráfica de la figura 2.

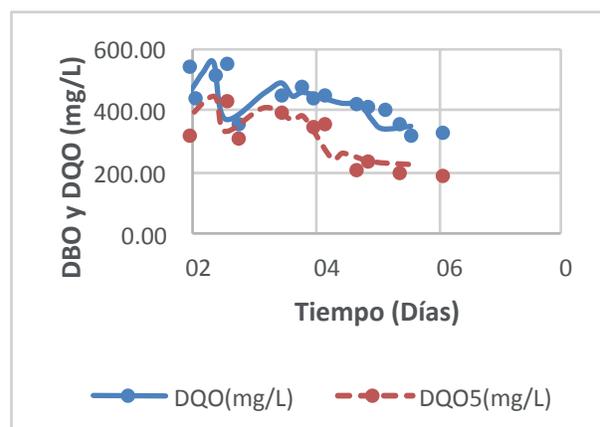


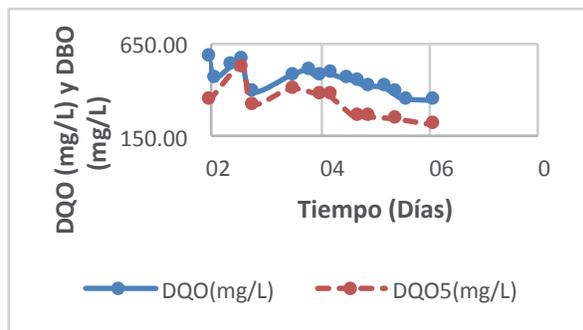
Figura 2. Gráfica 2: relación entre la DQO y la DBO en la salida del filtro con material sintético como lecho filtrante.

94

### 3.3 Resultados salida material convencional

El comportamiento entre la Demanda Química de Oxígeno y la Demanda Biológica de Oxígeno es directamente proporcional durante todo el período.

Entre los días 6 y 8 de muestreo, la gráfica de la figura 3 muestra que se llegó a tener una relación de biodegradación igual a 1, lo que indica una biodegradabilidad total en este período.



**Figura 3.** Gráfica 3 relación de la DQO y la DBO<sub>5</sub> en la salida del filtro con rocas como lecho filtrante.

### 3.4 Eficiencia en remoción de DBO

La eficiencia promedio en remoción de DBO<sub>5</sub> para los filtros de material sintético y rocas, son de 27.8% y 18.1%, respectivamente.

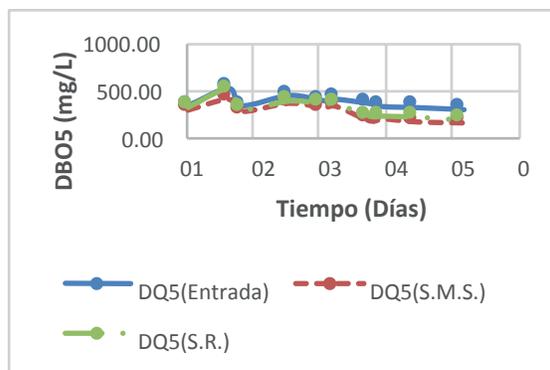
La diferencia entre ambos sistemas es de 9.7%, convirtiendo al sistema con material sintético en el más eficiente en remoción de DBO<sub>5</sub>. La desviación estándar de la roca es de 12.80 mientras que la del material sintético es de 14.98.

### 3.5 Eficiencia en remoción de DQO

La eficiencia promedio en remoción de DQO para los filtros de material sintético y rocas, son de 17.1% y 10.7%, respectivamente. La diferencia entre ambos sistemas es de 6.3%, convirtiendo al sistema con material sintético en el más eficiente en remoción de DQO. La desviación estándar de la roca es de 2.954 mientras que la del material sintético es 4.157.

### 3.6 Comparación general

La relación entre los datos de DBO<sub>5</sub> de la entrada y salidas de ambos sistemas, se presenta en la gráfica 4 de la figura 4.



**Figura 4.** Gráfica 4: comparación entre los valores de DBO<sub>5</sub> de la entrada y ambas salidas de los sistemas.

Desde el día 0, el material sintético se mostró más eficiente que el filtro hecho con rocas.

Esto se debe a que, desde antes de iniciar las pruebas definitivas de laboratorio, ya el sistema había sido probado en períodos interrumpidos y, se presume que para el día 0, tanto el material sintético como las rocas, contaban con *biofilm* formado.

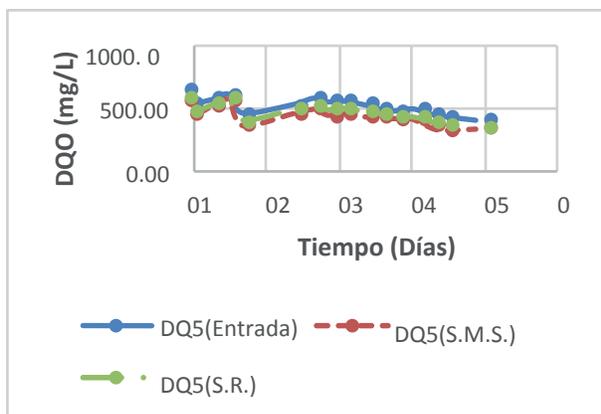
Los valores de DBO<sub>5</sub> registraron sus concentraciones más altas al quinto día de prueba debido a la fermentación. A partir del día 22 la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> entre la entrada y ambas salidas incrementó, llegando a registrar valores de 47.37% en el material sintético y 34.21% en las rocas.

La comparación de DQO entre la entrada y las salidas del sistema presentó el mismo comportamiento que en la DBO<sub>5</sub>: las mayores concentraciones se presentaron en el día 6 de pruebas. La eficiencia de remoción promedio de DQO en el material sintético alcanzó valores 26.48% y 18.44% en las rocas. Estos valores se registraron en los últimos días de prueba, como se muestra en la gráfica de la figura 5.

## 4. Evaluación económica

A la hora de construir un sistema de tratamiento de aguas residuales para comunidades de interés social, se deben tomar en cuenta varios factores como: aplicabilidad del proceso, características del agua residual, eficiencia de remoción, generación de residuos, aceptación por parte de la comunidad, vida útil, requerimientos de área, costo de inversión, operación y mantenimiento.

Cárdenas (et al): Diferencia entre la eficiencia de eliminación de materia orgánica de filtros biológicos a escala de laboratorio utilizando lechos convencionales versus empaques sintéticos.



**Figura 5.** Gráfica 5: comparación entre los valores de DQO de la entrada y ambas salidas de los sistemas.

En la actualidad se debe hacer énfasis en los costos de operación y mantenimiento, si se toma en cuenta la frecuente escasez de recursos económicos que enfrentan los organismos operadores de sistemas de agua y saneamiento en la región Latinoamericana.

Con frecuencia, los recortes en presupuestos se dan en estos aspectos, particularmente en el caso de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Debe ser incluso un criterio de decisión más importante que el costo de la inversión inicial, ya que en el corto plazo un sistema de operación costosa, por arriba de la capacidad de pago del usuario, será abandonado [6].

El sistema de filtros percoladores presenta la ventaja de tener unos costos iniciales y de operatividad bajos. Son de bajo consumo energético y no requieren de grandes cantidades de reactivos químicos.

En el caso de los filtros sintéticos el costo inicial es un poco más elevado, ya que los materiales con los que se hacen son más costosos, pero representan una mayor ventaja a largo plazo, por su efectividad y largo período de vida [7].

## 5. Conclusiones y recomendaciones

Las aguas residuales domésticas son una de las mayores fuentes de contaminación de los cuerpos de agua. La DBO se define como la cantidad de oxígeno que los microorganismos, consumen

durante la degradación de materia orgánica.

Es uno de los parámetros más importantes a la hora de determinar la calidad de las aguas. Entre mayor cantidad de materia orgánica más oxígeno necesitan sus microorganismos para oxidarla.

Existen distintas alternativas a la hora del tratamiento de aguas residuales domésticas, entre los que se encuentran, lodos activados y filtros percoladores. Los sistemas biológicos son altamente efectivos para el tratamiento de aguas residuales domésticas, representan un bajo consumo energético y puede ajustarse a los parámetros exigidos por las normas panameñas.

En comunidades de interés social es recomendable usar alternativas económicas y sostenibles, que puedan ser operadas por los habitantes. Un sistema de filtro percolador no exige personal altamente capacitado para ser manejado.

Para realizar la experiencia se realizó un modelo de laboratorio que se basó en un modelo real para comunidades de interés social, siguiendo las recomendaciones del IDAAN.

El modelo fue ajustado de acorde a las medidas de los materiales del fabricante. Cabe destacar que el tiempo de retención en ambos sistemas (convencional y material sintético), en este estudio resultó bajo por las condiciones de trabajo, por lo que presentó una baja eficiencia, que podría ser mucho mayor en caso de tener más contacto.

A lo largo de los 41 días de experimentación se pudo observar que el material sintético obtuvo una eficiencia de remoción de 27.807% de DBO y 17.053% de DQO, mientras el material convencional fue de 18.109% en DBO y 10.725% en DQO.

La experiencia realizada en este trabajo ha ayudado a probar que el material sintético (polipropileno) es más funcional para el tratamiento secundario de aguas residuales de origen doméstico, aunque la inversión inicial sea mayor que la del material convencional, a lo largo representa una ventaja para la comunidad donde sea instalada.

Se recomienda realizar este tipo de investigación usando otros tipos de materiales, y

realizar las pruebas con mayor tiempo de contacto y mayor período de pruebas.

## Agradecimientos

Se agradece a los profesores José Luis Chávez y Noriel Franco por ser co-asesores y brindar su colaboración y tiempo cuando fue necesario.

Aparte se agradece a la Facultad de Ingeniería Civil, por prestar las facilidades del Laboratorio de Sanitaria, al profesor Cenobio Cárdenas por ofrecer su ayuda con el mismo, y a ProDesarrollo S.A., por el patrocinio del material sintético utilizado en esta investigación.

## REFERENCIAS

- [1] Rodríguez, J., & Cárdenas, C. (2012). Influencia de las Fracciones de Materia Orgánica sobre el Desempeño de un Sistema de Tratamiento de Agua Residual de una Industria Papelera. U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica.
- [2] Lozano, W. (2012). Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales Bogotá, Colombia.
- [3] Metcalf, & Eddy. (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. McGraw-Hill.
- [4] Lara Villacís, L. E. (2011). Las Aguas Residuales del Camal Municipal del Cantón Baños y su Incidencia en la Contaminación del Río Pastaza en la Provincia de Tungurahua. Tesis, Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- [5] Sampieri Hernández, R., Collado Fernández, C., & Lucio Baptista, P. (2003). Metodología de la Investigación. México: McGraw-Hill Interamericana.
- [6] Ramalho, R. S., Jiménez Beltrán, D., & de Lora, F. (1996). Tratamiento de Aguas Residuales. Barcelona: Reverte.
- [7] Olivares, R. (2012). Filtros Biológicos y Percoladores. Sevilla.

# Incorporación de la tecnología de realidad aumentada a un vehículo aéreo no tripulado

## Incorporation of augmented reality technology to an unmanned aerial vehicle

Alex Feng<sup>1</sup>; Andrés García<sup>1</sup>; Kevin Torres<sup>1</sup> & Euclides Samaniego González<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería de Sistemas y Computación – Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales  
– Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Inteligencia Computacional – GIICOM  
– Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales – Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** Este documento es un informe del diseño, ensamblaje, pruebas y resultados obtenidos, de la construcción de un vehículo aéreo no tripulado con un sistema de realidad aumentada incorporado para la visualización de modelos digitales desde una perspectiva aérea.

**Palabras claves** Detección de marcadores, realidad aumentada, vehículo aéreo no tripulado, RPM, *frame*, UAV.

**Abstract** This document serves as a report about the design, assembly, testing a results obtained from the construction of an unmanned aerial vehicle which has an augmented reality system incorporated to allow the showing of digital models from an aerial perspective.

**Keywords** Markers detection, augmented reality, unmanned aerial vehicle, RPM, frame, UAV.

\* **Corresponding author:** euclides.samaniego@utp.ac.pa.

## 1. Introducción

Este proyecto surgió al observar el crecimiento que ha tenido en los años recientes el uso de vehículos aéreos no tripulados en nuestro país, al investigar, se percató de que al igual que muchos otros productos electrónicos, no son producidos en nuestro país sino importados, como es el caso de sus piezas y refacciones.

Por lo anteriormente expuesto, se decidió construir uno de acuerdo a las necesidades, con las piezas disponibles de tal forma no verse limitados por los modelos existentes en el mercado, de manera análoga, se había planteado la posibilidad de realizar un proyecto empleando realidad aumentada, por lo que se decidió integrar ambos proyectos y producir un vehículo aéreo no tripulado en incorporar la funcionalidad de observar modelos de edificaciones generados por computadora a través de realidad aumentada.

Permitiendo así analizar la posición, tamaño e impacto de dichas estructuras a su entorno incluso antes de la construcción de las mismas.

Al utilizar un dron incorporamos la posibilidad de observar los modelos desde una perspectiva aérea, que en comparación con otras ideas como usar helicópteros o plataformas, posee un bajo costo además de una mayor maniobrabilidad en ambientes reducidos o con obstáculos.

Los objetivos de este estudio son:

- Entender los conceptos básicos para el desarrollo de drones y realidad aumentada.
- Diseñar un vehículo aéreo no tripulado con un sistema de video y transmisión de imágenes.
- Aplicar la detección de marcadores a las imágenes captadas.
- Mostrar modelos 3D sobre los marcadores detectados en las imágenes captadas.

En ese artículo exponemos el diseño del dron, junto con el de la realidad aumentada, describimos el proceso de construcción del vehículo y desarrollo de la aplicación, junto con descripciones de las pruebas realizadas y finalmente los resultados obtenidos de nuestros experimentos.

### 1.1 Vehículo aéreo no tripulado

Se entiende por VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) o UAV (Unmanned Aerial Vehicle) a aquella nave que es capaz de realizar una misión sin necesidad de tener una tripulación embarcada. Debe entenderse que esta condición no excluye la existencia de piloto, controlador de la misión u otros operadores que pueden realizar su trabajo desde tierra [1].

Desde sus inicios, los drones eran utilizados exclusivamente para aplicaciones militares, las cuales han ido desde el entrenamiento de soldados para acertar a objetivos en movimiento hasta para la captura de imágenes de reconocimiento en tiempo real.

En años recientes, su uso se ha extendido desde el simple uso militar a otros sectores, como el científico, comercial y recreacional.

Los drones han permitido realizar tareas que antes eran difíciles o riesgosas si fueran realizadas por un ser humano, ya sea por la dificultad de llegar al lugar, o por el peligro que involucraría la tarea en sí.

Además de su utilización por parte de instituciones científicas, gubernamentales y empresas, su uso ha llegado a personas civiles para uso recreacional, mayormente se emplean para tomar videos aficionados o jugar, su facilidad de uso ha llegado al punto donde incluso niños de 6 años pueden utilizar estos dispositivos.

### 1.2 Realidad aumentada

Realidad aumentada es aquella tecnología que permite al usuario ver en todo momento el mundo real, al que se le superponen objetos virtuales coexistiendo ambos en el mismo espacio [2].

Se puede decir que la realidad aumentada combina elementos virtuales generados por computador con elementos del entorno físico, creando una vista entre lo real y lo virtual.

Durante la década de 1990, las aplicaciones de realidad aumentada dentro del ámbito industrial y el militar continuaron desarrollándose. Sin embargo, el alto costo y nivel de complejidad de los requerimientos técnicos para su desarrollo

mantuvieron estas tecnologías lejos del alcance de la mayoría de los usuarios.

Actualmente la realidad aumentada es aplicada en diferentes áreas debido a las posibilidades de interacción que ofrece, permitiendo que se aplique en varios ámbitos, como lo es la arquitectura, donde es empleada para visualizar los proyectos de construcción, ya sea en la mesa de diseño o en el lugar donde se construirá finalmente, además de permitir reconstruir virtualmente monumentos históricos destruidos [3].

Entre las áreas más explotadas de la realidad aumentada está la educación, se emplea en museos, exhibiciones y parques temáticos. En estos lugares se utilizan conexiones inalámbricas para transmitir y mostrar información sobre objetos y lugares o imágenes virtuales como ejemplos de ruinas reconstruidas o paisajes tal y como eran en el pasado [4].

No solo se aplica en la historia, sino también en clases como química, donde se presenta la estructura de las moléculas, o en biología, donde permite observar los órganos del cuerpo humano observar su funcionamiento.

## 2. Diseño del sistema

### 2.1 Requerimientos del vehículo aéreo no tripulado

Debido a la gran cantidad de componentes con distintas características que se pueden adquirir en el mercado, es imprescindible un análisis de requerimientos para determinar las características que va a poseer el vehículo aéreo no tripulado.

#### 2.1.1 Tamaño del vehículo aéreo no tripulado

El tamaño del vehículo aéreo no tripulado va ligado al tamaño del armazón o *frame*. El armazón debe ser de un material rígido y a la vez ligero, por eso se escogió uno de fibra de carbono con un centro plano para colocar los componentes electrónicos.

Este *frame* tiene una distancia de motor a motor de 48 cm con una configuración en X para permitir la instalación de los otros componentes.

Este nos permite incorporar hélices de

hasta 30.48 cm o 12 plg, sin embargo, hemos decidido emplear hélices de 25,4 cm o 10 plgs de diámetro ya que nos brinda una separación entre hélices lo suficiente para asegurar que no se golpeen y para que el aire fluya de manera correcta, evitando la turbulencia que podría generar la fuerza del aire de cada hélice.

#### 2.1.2 Fuerza de empuje de los motores

Para la elección de los motores de un vehículo aéreo no tripulado hay que seguir cierto criterio que se muestra a continuación:

- Cuando se utilizan motores con alto RPM ( $kv > 1000$ ), se debe utilizar hélices de tamaño pequeño o mediano.
- Cuando se utilizan motores con bajo RPM ( $kv < 1000$ ), se debe utilizar hélices de tamaño grande. Si se utilizan hélices de tamaño pequeño, probablemente no sea capaz de levantar el vehículo aéreo no tripulado.

Se requieren motores que sean eficientes en el consumo de corriente. Para motores con 935 kv y una fuente de alimentación de 12V, la cantidad de revoluciones por minutos (RPM) son:

$$\begin{aligned} \text{RPM} &= kv * U & (1) \\ \text{RPM} &= 935kv(12V) \\ \text{RPM} &= 11\ 220 \text{ RPM} \end{aligned}$$

Esta cantidad de revoluciones por minuto es ideal para vehículos aéreos no tripulados que requieren estabilidad y levante de peso.

Otro de los factores a tomar en cuenta de los motores es la fuerza de empuje de cada motor. Cada motor individual debe tener una fuerza de empuje de 850 gramos, así, al combinar los cuatro, obtendríamos una fuerza de empuje teórica:

$$\begin{aligned} F_{Et} &= F * 4 & (2) \\ F_{Et} &= 850 \text{ g} * 4 \\ F_{Et} &= 3\ 400 \text{ gramos} = 3.4 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### 2.1.3 Fuente de energía y tiempo de vuelo

Para obtener un aproximado de la potencia que debe tener la fuente de energía y el tiempo

de vuelo del vehículo aéreo no tripulado, debemos realizar algunos cálculos:

En base a los datos que muestra la tabla 1, la corriente consumida por un motor EMAX MT2213 para una fuerza de empuje de 290 g es de 3A.

**Tabla 1.** Consumo de corriente según el tamaño de hélice y fuerza de empuje de un motor EMAXMT2213 935kv

The voltage (V)	Paddle size	current (A)	thrust (g)	power (W)	efficiency (G/W)	speed (RPM)	Working temperature (°C)
11	EMAX8045	1	110	11	10.0	3650	
		2	200	22	9.1	4740	
		3	270	33	8.2	5540	
		4	330	44	7.5	6200	
		5	390	55	7.1	6700	
		6	440	66	6.7	7150	
		7.1	490	78.1	6.3	7400	36
	EMAX1045	1	130	11	11.8	2940	
		2	220	22	10.0	3860	
		3	290	33	8.8	4400	
		4	370	44	8.4	4940	
		5	430	55	7.8	5340	
		6	480	66	7.3	5720	
		7	540	77	7.0	5980	
		8	590	88	6.7	6170	
		9	640	99	6.5	6410	
		9.6	670	106	6.3	6530	43

Como son 4 motores, entonces:

Consumo = consume por motor \* cantidad de motores

$$\begin{aligned} \text{Consumo} &= 3A * 4 \\ \text{Consumo} &= 12A \end{aligned} \quad (3)$$

Si la corriente que se consume para poder flotar son 12 amperios (x), el tiempo que queremos de vuelo es T (en horas). Como el tiempo de vuelo que queremos son de 10 minutos, entonces la capacidad (C) es:

$$\begin{aligned} C &= xT \\ C &= 12A(0,1666 \text{ h}) \\ C &= 2,00Ah = 2000mAh \end{aligned} \quad (4)$$

De estos cálculos tenemos que se necesita una batería de 2000mAh para que el vehículo aéreo no tripulado pueda flotar o sostenerse en el aire.

Este cálculo no es totalmente cierto ya que estamos suponiendo que se utilice toda la carga

de la batería, pero esto no puede suceder ya que las baterías tipo LiPO no se pueden descargar totalmente y tienen un límite mínimo de corriente que puede suplir.

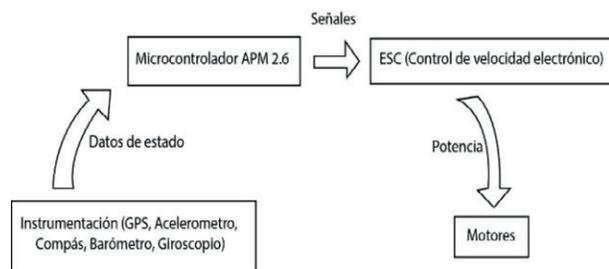
Como las baterías LiPO nunca deben descargarse del todo debemos considerar la carga aprovechable. En este caso, utilizamos el 50% de la carga de la batería, entonces tenemos que la capacidad real de la batería sería:

$$\begin{aligned} C' &= \frac{C}{(\text{carga aprovechable})} \\ C' &= \frac{2000mAh}{0.50} \\ C' &= 4000 \text{ mAh} \end{aligned} \quad (5)$$

Por lo tanto, la fuente de energía del vehículo aéreo no tripulado con motores EMAX MT2213 935kv con hélices de 10 pulgadas de diámetro y 4,5 pulgadas de pitch, debe ser de 4000 mAh con una carga aprovechable de al menos 50%, lo cual nos proporciona un tiempo de vuelo alrededor de 10 minutos.

### 2.2 Esquema conceptual del vehículo aéreo no tripulado

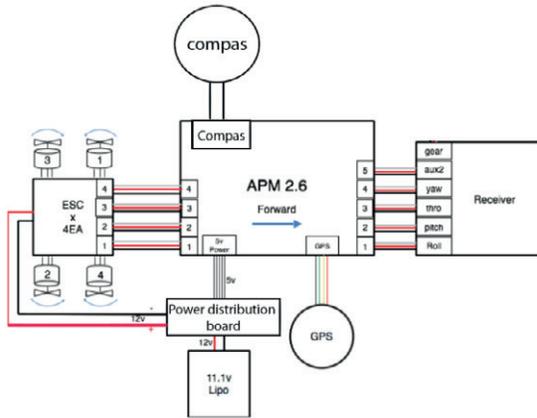
En la figura 1 se muestra el esquema conceptual del vehículo aéreo no tripulado.



**Figura 1.** Esquema conceptual del prototipo.

### 2.3 Diseño estructural del prototipo

En la figura 2 se muestra el diseño estructural del vehículo aéreo no tripulado empleado en el desarrollo del proyecto.



**Figura 2.** Diseño estructural del prototipo de vehículo aéreo no tripulado.

### 2.3.1 Elementos a incorporar

APM (*ArduPilot Mega Flight Controller Board*): ArduPilot es un proyecto *open source* basado en el sistema Arduino.

El mismo consiste en una plataforma que conforma una unidad de control de navegación, la cual puede ser utilizada en diferentes proyectos como en aeronaves, coches y vehículos aéreos no tripulados de despegue vertical. Ver figura 3.



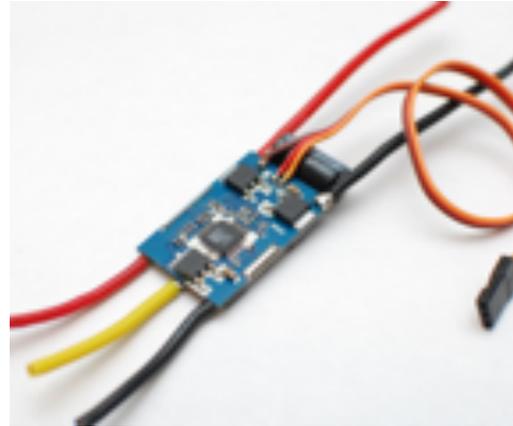
**Figura 3.** Andoer APM 2.6 Flight Controller Board.

Motor eléctrico sin escobillas (Brushless motors): en la figura 4 se presenta el motor eléctrico sin escobillas Motores *brushless* Emax Mt2213 935kv.



**Figura 4.** Motores *brushless* Emax Mt2213 935kv.

ESC (control eléctrico de velocidad): debido a que estamos utilizando un motor sin brochas, es necesaria la implementación de un controlador eléctrico de velocidad. Ver figura 5.



**Figura 5.** Un módulo genérico de salida nominal de 35 amperios.

Batería de polímero de litio: una batería de polímero de litio, o más correctamente la batería de polímero de iones de litio (abreviado vario como LiPo, labio, Li-poly y otros), es una batería recargable de la tecnología de iones de litio en forma de bolsa.

Cargador para baterías LiPo: las baterías tipo LiPo requieren de cargadores especiales para sus celdas ya que estas están separadas y cada una tiene un voltaje independiente. Ver figura 6.



**Figura 6.** Cargador Imax B6AC.

Control de radio con receptor; el control del vehículo aéreo no tripulado desde tierra se da a través de un radio control el cual, como su nombre lo indica, utiliza señales de radio para transmitir las órdenes. Ver figura 7.



**Figura 7.** Flysky FS-i6 2.4GHz.

Tablero de distribución de energía: un tablero de distribución (también conocido como tablero o interruptor de panel) es un componente de un sistema de suministro de electricidad que se divide una alimentación de energía eléctrica en circuitos auxiliares, mientras que proporciona un fusible o un disyuntor para cada circuito en una caja común (ver figura 8).



**Figura 8.** Tablero de distribución de carga.

Módulo GPS: el sistema de posicionamiento global (GPS) es un sistema que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto (una persona, un vehículo). Ver figura 9.



**Figura 9.** Módulo GPS.

Transmisor de audio y video inalámbrico; un transmisor es un dispositivo electrónico que, con la ayuda de una antena, irradia ondas electromagnéticas que contienen información y que encuentra aplicaciones en radiodifusión, televisión, telefonía móvil entre otros.

En la figura 10 se presenta una imagen del modelo de transmisor de audio y video inalámbrico utilizado en el prototipo construido.



**Figura 10.** Gooray 32Ch 5.8G 600mw 5km Wireless AV transmisor TS832 Receptor RC832 para FPV.

Convertidor de señal AV analógica a digital: la señal recibida es de tipo analógica.

Como se va a procesar la imagen por computador se necesita una señal digital.

Este componente se encarga de realizar la transformación de señal. Ver figura 11.



**Figura 11.** EasyCAP USB Video Capture.

Cámara CMOS: gracias a la tecnología CMOS es posible integrar más funciones en un chip sensor, como por ejemplo control de luminosidad, corrector de contraste, o un conversor analógico-digital. Ver figura 12.



Figura 12. Cámara CMOS FOV160 FPV200.

### 2.3.2 Ensamblado de los componentes del VANT

Como primera parte, se prepara el armazón o estructura que funcionara como base y contenedor de todos los componentes del vehículo aéreo no tripulado. En la figura 13 se muestra la estructura ya construida y ensamblada.



Figura 13. Armazón o estructura tipo X.

Una vez que el armazón estuvo ensamblado, atornillamos los motores al armazón y conectamos los ESC a cada uno de los motores.

No todas las hélices pueden girar en un mismo sentido, por ello que se intercalan la rotación de los motores, es decir, el primer rotor gira en sentido de las manecillas del reloj; el segundo rotor gira en contra de las manecillas del reloj y así, sucesivamente.

La conexión de los ESC al microcontrolador APM 2.6 se muestra en la figura 14.

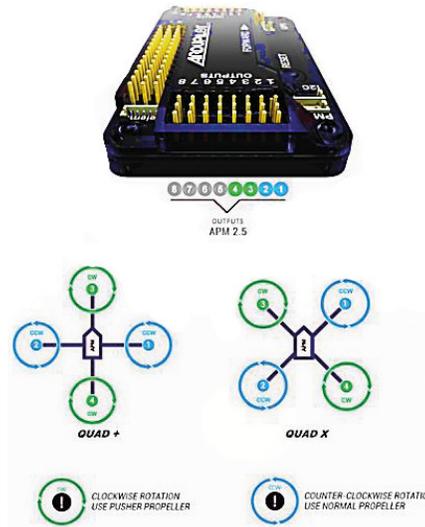


Figura 14. Rotación de los motores de acuerdo a su disposición en la estructura y pines correspondientes en el APM 2.6.

Es importante seguir la enumeración ya que, en el momento de la configuración del microcontrolador, se supone que los ESC de los motores están dispuestos de esa manera.

Antes de conectar los motores, hay que calibrar los ESC ya que estos componentes vienen calibrados con otra configuración de fábrica.

Al calibrarlo nos aseguramos que el ESC va a responder correctamente a las señales que le enviemos por medio del microcontrolador y establecemos los puntos máximos y mínimos de potencia. Para calibrarlo se debe seguir el esquema de la figura 15.

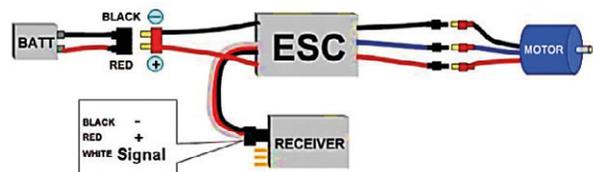


Figura 15. Esquema para calibrar ESC.

En la calibración, el ESC no debe estar conectado a la batería y en el mando de radio control el *throttle* o elevación debe estar al máximo.

Una vez el *throttle* o elevación estén al máximo, se conecta la batería y se deben escuchar unos sonidos como “beeps” que son tonos de información.

Justo después de escuchar los tonos de información se debe bajar al mínimo el *throttle* o elevación hasta escuchar otros “beeps”.

La alimentación de los motores la supe la batería que va conectada a una placa de distribución de energía como el de la figura 16.

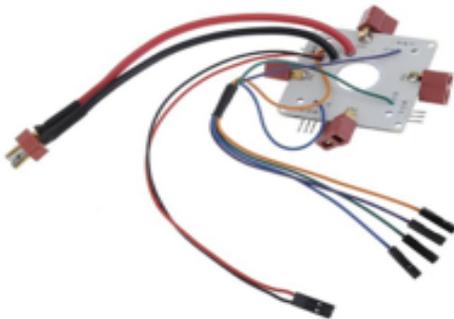


Figura 16. Placa de distribución de energía.

De esta forma nos aseguramos que la misma intensidad de corriente y voltaje sea igual para todos los motores.

Para comunicar el radio control con el microcontrolador se utiliza un receptor de señales de radio.

El receptor de señales de radio que se muestra en la figura 17, consta de seis canales de los cuales solo se utilizan cinco de ellos.



Figura 17. Receptor de señal FS-IA6.

La descripción de los canales (ver figura 18) que se utilizaron se muestra a continuación:

- Canal 1. Control del *Roll*
- Canal 2. Control *Pitch*
- Canal 3. Control *Throttle* o elevación
- Canal 4. Control *Yaw*
- Canal 5. Control del modo de vuelo

**2.3.3 Ensamblado de los componentes del sistema de video**

La cámara de video se debe colocar al frente del UAV para no tener obstáculo que impidan la visualización. Esta cámara se conecta con un emisor de señales de analógicas y los envía de forma inalámbrica con señales de radio.

Todo este conjunto se alimenta de una batería de 12V para su funcionamiento.

En la figura 19 se muestra el emisor de señales analógicas y la cámara de video respectivamente.

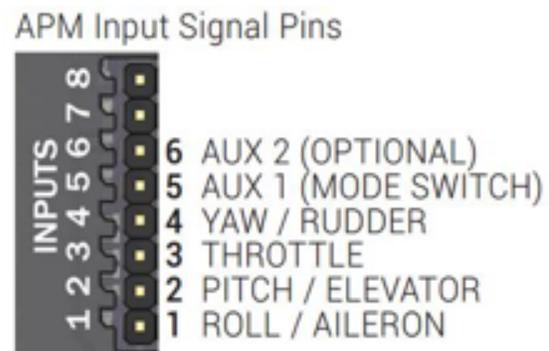


Figura 18. Señales de entrada del APM 2.6.



Figura 19. Emisor de señales analógicas LT200.

## 2.4 Diseño de la aplicación de realidad aumentada

Para el desarrollo de la aplicación de realidad aumentada se usó Windows como sistema operativo.

Las aplicaciones utilizadas fueron Visual Studio 2013, en este se trabajó en el entorno del lenguaje de programación C++ aplicando la librería de *OpenGL*.

De la librería *OpenGL*, se usó una en específica para el desarrollo de realidad aumentada una variación llamada *artoolkit*.

La aplicación al ejecutarse en el sistema operativo Windows, recibe el video por medio del convertidor de audio video, este lo analiza y trata de detectar el marcador para proyectar cualquiera de los modelos gráficos cargados en el programa.

En este caso se cargaron cinco modelos gráficos que se pueden cambiar al pulsar los teclados numéricos del 1 al 5.

Además, desde el teclado se puede manipular el modelo gráfico, ya se tiene designado las teclas w y s para escalar y las teclas de direccionamiento para trasladar.

El marcador que se utilizó en el programa fue el que estaba cargado en la librería de *artoolkit* el cual tiene una forma rectangular y en su interior tiene la palabra “Hiro”.

En la figura 20 se muestra una imagen del tipo de marcador utilizado.

### 2.4.1 Diagrama de flujo de datos

En la figura 21 se muestra el diagrama de flujo de datos de una aplicación de realidad aumentada.

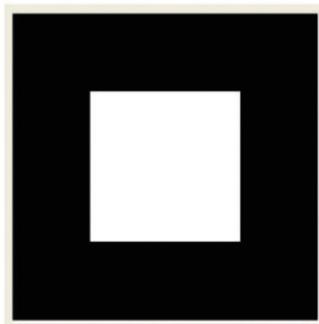


Figura 20. Ejemplo marcador.

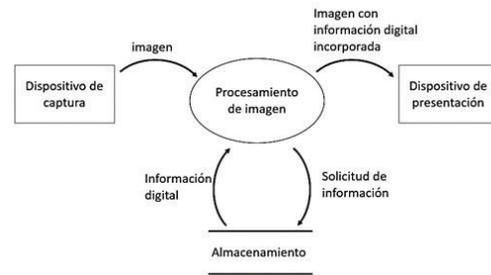


Figura 21. Diagrama de flujo de datos de una aplicación de realidad aumentada.

### 2.4.2 Programación de los módulos para realidad aumentada

El principal atractivo de la realidad aumentada es la presentación de modelos digitales.

Por lo antes expuesto nuestro programa inicia por la transferencia a memoria de los modelos 3D que se visualizarán, eso se realiza a través la lectura de los archivo con extensión “.obj”, el cual contiene la forma del modelo, y el archivo con extensión “.mtl” el cual contiene los colores del modelo.

La figura 22 muestra el ejemplo de código para cargar el modelo utilizamos la función:

```
loadOBJ(char *path, char *pathMTL)
```

Figura 22. Ejemplo de código.

De la figura anterior se tiene que *path* = dirección del archivo .OBJ  
*pathMTL* = dirección del archivo .MTL

Dentro de la función `loadOBJ(char *path, char *pathMTL)` se evalúa el contenido dentro de cada archivo buscando las coordenadas de los vértices, de las texturas y las normales; como se muestra en la figura 23.

Una vez obtenidos todos los datos, dentro del archivo .OBJ existe el indicador “f” que es un conjunto de 9 valores, 3 para vértices para una cara, 3 valores para las texturas y 3 valores para la normal.

Estos valores se deben organizar y se realiza con el segmento de código que se muestra en la figura 24.

```

fscanf(file, "%s", &ch); /*busca los vertices*/
if (strcmp(ch, "v") == 0)
{
    float x, y, z;
    vec3 vertex;
    fscanf(file, "%f %f %f\n", &vertex.x, &vertex.y,
&vertex.z);
    temp_vertices.push_back(vertex);
}
else if (strcmp(ch, "vt") == 0) /*busca las texturas*/
{
    vec2 uv;
    fscanf(file, "%f %f\n", &uv.x, &uv.y);
    temp_uv.push_back(uv);
}
else if (strcmp(ch, "vn") == 0) /*busca las normales*/
{
    vec3 normal;
    fscanf(file, "%f %f %f\n", &normal.x, &normal.y,
&normal.z);
    temp_normals.push_back(normal);
}

```

Figura 23. Ejemplo de código.

El contenido de ambos archivos es almacenado en vectores para su posterior uso en el programa de manera que mejora el rendimiento del programa al no tener que pasar a memoria el modelo cada vez que el mismo tenga que ser dibujado.

```

out_vertices.push_back(temp_vertices[vertexIndex[0] - 1]);
out_vertices.push_back(temp_vertices[vertexIndex[1] - 1]);
out_vertices.push_back(temp_vertices[vertexIndex[2] - 1]);

triangDef.coord1 = temp_vertices[vertexIndex[0] - 1];
triangDef.coord2 = temp_vertices[vertexIndex[1] - 1];
triangDef.coord3 = temp_vertices[vertexIndex[2] - 1];

triangDef.normal1 = temp_normals[normalIndex[0] - 1];
triangDef.normal2 = temp_normals[normalIndex[1] - 1];
triangDef.normal3 = temp_normals[normalIndex[2] - 1];

```

Figura 24. Ejemplo de código.

### 2.4.3 Calibración de cámara

Inicialmente se solicitan por lo menos 10 imágenes, sin embargo, se pueden usar más, al terminar la calibración, el programa utiliza un archivo “camera\_para.dat”, el cual deberá reemplazar el archivo anterior que viene por defecto en los archivos del programa. Ver figura 25.

```
const char *patt_name = "Data/patt.hiro";
```

Figura 25. Ejemplo de código.

También se utiliza un archivo *xml* que contiene los parámetros generales de distintas cámaras.

Una vez obtenidos los valores de los archivos se realiza la configuración con el segmento de código descrito en la figura 26.

```

if (!setupCamera(cparam_name, vconf, &gARTCparam)) {
    fprintf(stderr, "main(): Unable to set up AR camera.\n");
    system("pause");
    exit(-1);
}

```

Figura 26. Ejemplo de código.

Si la configuración de la cámara es exitosa continúa con los siguientes procesos, en caso contrario, rompe todos los procesos hasta ese punto.

### 2.4. Detección de marcadores

Para configurar los marcadores, primero debemos cargar el archivo del marcador que se vaya a utilizar en el programa.

```
const char *patt_name = "Data/patt.hiro";
```

Luego se manda el archivo a memoria empleando el segmento de código como se muestra en la figura 27.

```

if (!setupCamera(cparam_name, vconf, &gARTCparam)) {
    fprintf(stderr, "main(): Unable to set up AR camera.\n");
    system("pause");
    exit(-1);
}

```

Figura 27. Ejemplo de código.

Si la configuración del marcador es exitosa continúa con los siguientes procesos, en caso contrario, rompe todos los procesos hasta ese punto.

Una vez configurados todos los componentes para que la librería ARToolkit funcione se procede a captar las imágenes de la cámara y procesar los marcadores detectados para cargar los modelos 3D.

## 3. Resultados experimentales

A través de este proyecto se logró construir un cuadri-cóptero de especificaciones superiores a las existentes en el mercado, como es en el caso de su alcance de 1000 metros en comparación con los 300 metros de los modelos comerciales actuales.

Además de esto, es capaz de levantar dos libras además de su propio peso, por lo que es capaz de transportar artículos pequeños de un lugar a otro.

El vehículo aéreo no tripulado cuenta con un sistema de video incorporado el cual transmite imágenes en tiempo real a una computadora,

donde un programa de realidad aumentada presenta las imágenes con modelos digitales en 3D incorporados para su visualización.

Resultó en una imagen de poca calidad ya que el medio de transmisión no es el mejor, además que se convierte la señal múltiples veces creando mucho ruido en la imagen final. Ver figura 28.



**Figura 28.** Imagen obtenida con el sistema de cámara del VANT.

El tiempo de vuelo se midió con un cronómetro el cual marcó un tiempo de vuelo de 15 minutos con la batería cargada al máximo.

En las pruebas de vuelo, tiene una maniobrabilidad media ya que, por el tamaño, permite mayor estabilidad que maniobrabilidad. Ver figura 29.

Esto quiere decir que para escenarios donde exista una gran cantidad de obstáculos y giros bruscos, este tipo de vehículo no es el más apto. Sin embargo, para escenarios donde existan pocos obstáculos y ráfagas de aire fuerte, este vehículo es perfecto para estas condiciones.

Otro resultado que no esperábamos obtener es la resistencia a golpes y caídas. Durante las pruebas de vuelo, el vehículo sufrió múltiples caídas, de estas podemos destacar una caída equivalente a cuatro pisos de edificios.

El vehículo resultó con golpes y algunos soportes de motores se quebraron, pero todo el funcionamiento electrónico quedó intacto.

#### 4. Resultados y conclusiones

En este proyecto utilizamos los vehículos aéreos no tripulados para incorporarle la tecnología de realidad aumentada como forma



**Figura 29.** VANT en vuelo al aire libre.

de ampliar la utilidad y demostrar algunos posibles usos que se pueden hacer con este tipo de vehículos [5-9].

Aprendimos acerca de la importancia del *software* libre y de la colaboración entre desarrolladores y su impacto en el desarrollo de nuevos proyectos, y que estén al alcance de todos para promover la investigación y la creatividad.

Gracias a esto fuimos capaces de crear un proyecto similar a los desarrollados por las grandes compañías, que en algún momento parecen inalcanzable, pero queda demostrado que siempre existen otras alternativas que dan resultados iguales o mejores.

En el ámbito de la programación nos instruimos en el funcionamiento de *software* de modelado y de presentación de modelos en 3D, cómo se cargan los modelos, texturas, cómo se mueven, se trasladan y se escalan.

También estudiamos y comprendimos a profundidad los datos contenidos en los archivos con extensión .OBJ y .MTL y cómo utilizarlos en diferentes proyectos.

En el área de realidad aumentada, aprendimos a utilizar la detección de patrones con la librería ARToolkit e incorporar los modelos digitales 3D a imágenes reales y cargarlos con OpenGL.

El VANT cuenta con un sistema de video incorporado, con el cual transmite video

en tiempo real a un computador, donde la imagen captada es procesada por un programa de realidad aumentada en búsqueda de un marcador, y a través de la librería de OpenGL, se colocan los modelos 3D sobre el marcador para su visualización.

Por otra parte, a lo largo de este tiempo se presentaron algunas dificultades como fallas técnicas y de configuración que se resolvieron poco a poco a través de la investigación y la experimentación.

Todo lo mencionado anteriormente permitió la culminación de este proyecto cumpliendo con todos los objetivos que se plantearon al inicio.

Como todo proyecto busca ser mejor con cada desarrollo, se recomienda a los futuros interesados en realizar un proyecto de este tipo, optimizar y mejorar el sistema de realidad aumentada por medio de mejoras a la cámara incorporada en el ámbito de resolución y enfoque para así poder reconocer patrones a una mayor distancia y reducir el ruido presente en la imagen.

También se podrían incluir más modelos 3D, otros tipos de marcadores para la detección de patrones o incluso realizar la proyección de modelos a través de detección de coordenadas GPS y orientación.

Otra recomendación sería mejorar algunos de los componentes físicos del vehículo aéreo no tripulado como añadirle una batería más grande, de manera que aumente su autonomía de vuelo, además es posible incorporar motores a la cámara para así brindar mayor movilidad y presentar un mayor número de ángulos de visión.

Como el VANT utiliza radiofrecuencia para transmitir el video y también se usa para su control, este sistema puede que presente problemas en un ambiente donde también se utilice radiofrecuencia para otros propósitos, por esto recomendamos que se busquen otros medios para transmitir como el *bluetooth*, *wifi*, y otros.

## REFERENCIAS

[1] Barrientos A. "Vehículo aéreo no tripulado para uso civil. Tecnología y Aplicaciones." 2007.

- [2] Lizbeth Heras Lara, José Luis Villareal Benítez, "La realidad Aumentada: Una tecnología en Espera de Usuarios". Revista Digital Universitaria UNAM. 2007.
- [3] Mayank Suhirid, Kiran B Ladhane, Mahendra Singh, Vishwas A Sawant, "Lateral Load Capacity of Rock Socketed Piers Using Finite Difference Approach", Scientific & Academic Publishing, Journal of Civil Engineering Research, vol.1, no.1, pp.1-8, 2011.
- [4] Agostina Siracusa, "Realidad Aumentada, Recreando Patrimonio Histórico", Universidad de Palermo, Buenos Aires, Argentina, 2013.
- [5] Kevin R. Fall, W. Richard Stevens, TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols, 2nd ed., Addison-Wesley, USA, 2011.
- [6] Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, IEEE Std. 802.11, 1997.
- [7] Mohamed Almorsy, John Grundy and Amani S. Ibrahim, "Collaboration-Based Cloud Computing Security Management Framework", in Proceedings of 2011 IEEE 4th International Conference on Cloud Computing, pp. 364-371, 2011.
- [8] A. Karnik, "Performance of TCP congestion control with rate feedback: TCP/ABR and rate adaptive TCP/IP", M. Eng. thesis, Indian Institute of Science, India, 1999.
- [9] J. Padhye, V. Firoiu, D. Towsley, "A stochastic model of TCP Reno congestion avoidance and control", Univ. of Massachusetts, Tech. Rep. 99-02, 1999.

# Diseño y construcción de un prototipo robótico de un automóvil para transporte personal y económico con la tecnología Arduino

## Design and construction of a robotic prototype of a car for the personal and economic technology with Arduino transport

110

Daniela Campo Jorge<sup>1</sup>; Miguel Sastre Vásquez<sup>1</sup>; Israel Gamas Faulkner<sup>1</sup> & Euclides Samaniego González<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería de Sistemas y Computación – Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales  
– Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Inteligencia Computacional – GIICOM – Facultad de Ingeniería de Sistemas  
Computacionales – Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** Este proyecto está basado en la necesidad de un sistema de transporte más eficiente y seguro; siendo capaz de evitar los errores humanos, a través de sensores, placas Arduino, motores y una codificación estructurada y exitosa. Se trata de utilizar dos Arduino, el máster, que trabaja en conjunto con los sensores, recopila la información que obtienen los sensores para enviársela al Arduino *slave*, el cual está a cargo de los motores del automóvil para realizar la acción que requiera, dependiendo de la información que recolecte.

**Palabras claves** Circuito, comunicación serial, robot, robótica, sensor, sistema, tecnología.

**Abstract** This project is based on the need for a system more efficient and safe transport, being able to avoid human error, through sensors, Arduino boards, motors and a structured and successful coding. It is using two Arduino, the master, which works in conjunction with sensors, collects the information obtained sensors to send to Arduino slave, which is in charge of the engines to perform the action required, depending on the information collected.

**Keywords** Circuit, serial communication, robot, robotics, sensor, system, technology.

\* Corresponding author: euclides.samaniego@utp.ac.pa

## 1. Introducción

La intención de este proyecto es implementar la seguridad de las personas en la calle, como podemos ver en el día a día, las personas cometemos errores y malas decisiones, en cambio un robot, programado con reglas estructuradas y maneras de tomar decisiones ya hechas, no comete estos errores ni malas decisiones, y también reacciona de manera rápida y precisa.

Con esto en mente, se propone diseñar un prototipo de automóvil robótico que pueda evitar el error humano y las malas decisiones en la calle mientras se desplazan.

El automóvil robótico, no podrá saltarse una luz en rojo porque tiene prisa, o distraerse mientras está en movimiento y chocarse con un automóvil al frente por ejemplo, gracias a los sensores que contiene el prototipo y la programación adecuada para el manejo de la información del ambiente, el automóvil robótico será capaz de estar constantemente alerta y procesando lo que está pasando a su alrededor.

## 2. Aspectos generales del proyecto

A lo largo de los años se ha estado pensando en la forma de un automóvil inteligente. Estas dos palabras tienen un significado amplio, un automóvil que hiciera más cómodo y seguro el transporte de las personas, fácil de usar y amigable, con gran variedad de dispositivos y opciones.

Ya se encuentran bastantes investigaciones y algunos prototipos de automóviles inteligentes que son capaces de transportar gente de una manera segura, que son capaces de llevar personas a cualquier lugar, presionando solo botones.

### 2.1 Características del problema

Uno de los problemas que se ve diariamente en nuestra sociedad en el ámbito automovilístico es el de los accidentes de tráfico. Algunos accidentes son inevitables, pero otros son causados por errores humanos que se pudieron haber evitado.

Entre esos errores están: hablar por teléfono, conducir en estado de ebriedad o drogado, conducir distraído y no atento a la calle, desobedecer las señales de tránsito y semáforo,

etc. Si las normas de conducción se cumplieran, se podrían evitar muchos accidentes y muertes.

### 2.2 Justificación

La aplicación más importante de los autómatas en la ingeniería automotriz es la de los automóviles autónomos. Estos automóviles tienen como meta final tener la capacidad de conducir por cuenta propia, sin necesidad de que el ser humano tenga que intervenir.

En etapas iniciales se espera que el ser humano intervenga en caso de emergencia. El hecho de que el ser humano no tenga que conducir le permitiría leer, dormir, trabajar o alguna otra acción mientras que el carro lo lleva a su destino. Se espera que los automóviles autónomos reduzcan la cantidad de accidentes.

El primer modelo de automóvil autónomo fue en 1939 en la feria Futurama patrocinada por General Motors el cual era un automóvil eléctrico por un circuito embebido en el pavimento (Vehículo Autónomo, 2015).

Los automóviles autómatas son comunes, estos incluyen radares, luces láser, sensores, GPS y cámaras para ubicarse y rodar por la ciudad.

Entre los proyectos líderes están el de Google (Google X) y AutonomosLab desarrollado por la Universidad Libre de Berlín.

El automóvil sin conductor de Google (Google *driverless car*) es un proyecto de Google consistente en el desarrollo de la tecnologías necesarias para crear automóviles sin conductor.

Este automóvil es capaz de conducir autónomamente tanto por la ciudad, como por carretera, detectando otros vehículos, señales de tráfico, peatones, entre otros (Automóvil sin conductor de Google, 2015).

Hapasado por una serie de etapas comenzando por un Toyota Prius, un Lexus RX450 y el último prototipo que es un automóvil realizado desde cero para el proyecto.

Estos automóviles ya funcionan; sin embargo, por cuestiones legales y de precios, todavía no han salido al mercado. Además,

deben superar ciertos obstáculos, tales como peatones, ciclistas o calles en reparación. Con propuestas como estas, los automóviles autónomos dejan de ser ciencia-ficción y pronto serán una realidad.

### 2.3 Restricciones y limitaciones

- El prototipo es capaz de moverse.
- Es capaz de evitar obstáculos.
- Analiza colores y actúa dependiendo del color para semáforos (rojo para parar, verde para avanzar y amarillo para desacelerar), en señales de tráfico se asigna un color para las distintas señales.
- Se mantiene en el carril que está excepto que se quiera cambiar de carril.

### 2.4 Objetivos

#### 2.4.1 Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo robótico de un automóvil autónomo para transporte personal y económico.

#### 2.4.2 Objetivos específicos

- Aplicar los fundamentos del área de lenguajes formales, autómatas y compiladores en el área de ingeniería automotriz.
- Aplicar conocimientos de robótica para la creación del automóvil.
- Diseñar el prototipo robótico de un automóvil autónomo para transporte personal y económico.
- Codificar el segmento de código para el prototipo robótico del automóvil autónomo para transporte personal y económico.
- Crear el diagrama del prototipo robótico de un automóvil autónomo para transporte personal y económico.
- Identificar los elementos que se requieren para que el prototipo robótico de un automóvil autónomo analice diferentes tipos de señales de luces y colores, y que actúe dependiendo del tipo de señal, creando un automóvil seguro y auto manejable, que pueda reaccionar ante las distintas

señales en la carretera y debidamente a sus especificaciones.

- Utilizar electricidad como medio de energía para el movimiento del automóvil.
- Lograr que el prototipo logre evitar posibles accidentes.

## 3. Materiales de trabajo

### 3.1 Software

*Arduino Programming Language/Arduino Development Environment:* Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en el lenguaje Arduino Programming Language. Este lenguaje, a pesar de estar basado en lenguaje *Wiring*, es muy similar a C, por lo tanto no es mucho lo que hay que aprender si ya se tiene noción de C.

El entorno de programación es el *Arduino Development Environment*, la cual está basada en *Processing*.

### 3.2 Hardware

#### 3.2.1 Arduino UNO

El Arduino UNO es una tarjeta controladora desarrollada en el 2005 en Italia, por un grupo de estudiantes del Instituto IVREA. Es muy utilizado en el área de robótica para controlar motores servo, también para instrumentos de medición y similares ya que es fácil agregarle y controlar sensores.

El microcontrolador más utilizado en los Arduino es el ATmega328.

El Arduino UNO posee todo lo que se necesita para manejar el controlador, simplemente se conecta a un computador por medio del cable USB o se puede alimentar utilizando una batería o un adaptador AC-DC. Si se conecta por USB, la alimentación externa no es necesaria.

#### 3.2.2 Sensor de detección de color TCS3200

Es un sensor de frecuencia de luz de color programable, detecta colores e incluye cuatro LEDs blancos. El sensor TCS3200 puede detectar una cantidad casi ilimitada de colores

visibles. Las aplicaciones incluyen lectura de prueba, la clasificación por color, sensor de luz ambiental y de calibración, y la coincidencia de color, por nombrar solo algunos.

**3.2.3 Cables de conexión (Hook-up Wire)**

Alambres de enganche para conectar los diferentes dispositivos a la placa Arduino y entre sí. Para lograr la construcción del circuito.

**3.2.4 MotorShield**

Es una placa que permite controlar las direcciones y la velocidad del motor al usar un Arduino.

Para usar correctamente esta placa, hay que hacer uso de los pines incorporados a esta. Esta placa permite también darle poder al motor hasta de 12v.

**3.2.5 LEDs de colores**

Fotoceldas de colores que emiten luz.

**3.2.6 Resistencias**

Dispositivo que hace oposición o resistencia al paso de una corriente eléctrica.

**3.2.7 HC-SR04**

Es un sensor de rango ultrasónico que brinda medidas de objetos cercanos sin contacto. El sensor consta de un transmisor, un receptor y un controlador.

**3.2.8 Motor Smart Robot Car Chassis Kit**

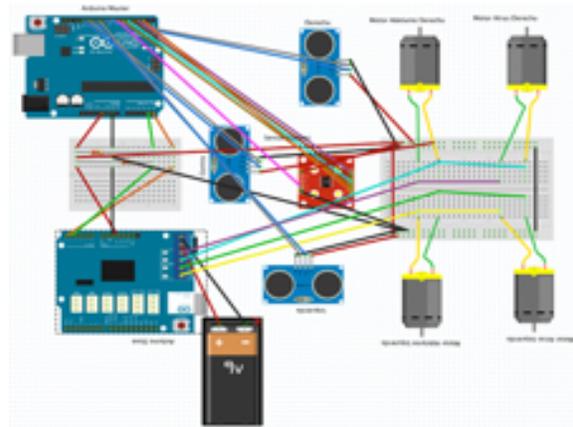
Plataforma con ruedas y motores para Arduino.

**4. Diseño del sistema prototipo de robot**

**4.1 Diseño funcional de la aplicación**

Mediante los dispositivos que se muestran en la figura 1, que son los motores, los dos Arduino, el MotorShield, tres sensores de proximidad, un sensor de color, una batería y los cables uniendo todo el circuito.

Se hizo el prototipo real de un automóvil robótico, el cual fue capaz de desplazarse analizando el ambiente que lo rodea.



**Figura 1.** Diseño funcional de la aplicación.

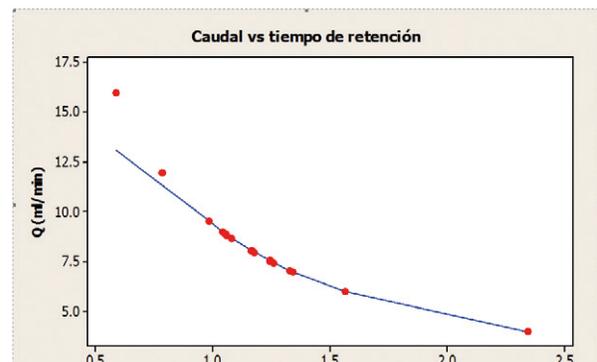
Adicionalmente el prototipo analiza el color que se le coloque en la parte frontal.

Dependiendo del color que capte, reacciona de diferentes maneras.

Por ejemplo, con rojo, con verde avanza y con azul cambiará de velocidad (rápido a despacio o viceversa), y con los sensores de proximidad, el que se encontraba al frente activaba a los dos de los lados cuando encontraba un obstáculo para planear y realizar un giro hacia donde tenía espacio y de esta manera hacerlo.

**4.2 Esquema conceptual del sistema**

En la figura 2 se presenta el esquema conceptual del sistema desarrollado.



**Figura 2.** Esquema conceptual del sistema.

**4.3 Diagrama esquemático**

El diagrama que se muestra en la figura 3, es una representación del circuito del prototipo de automóvil robótico.

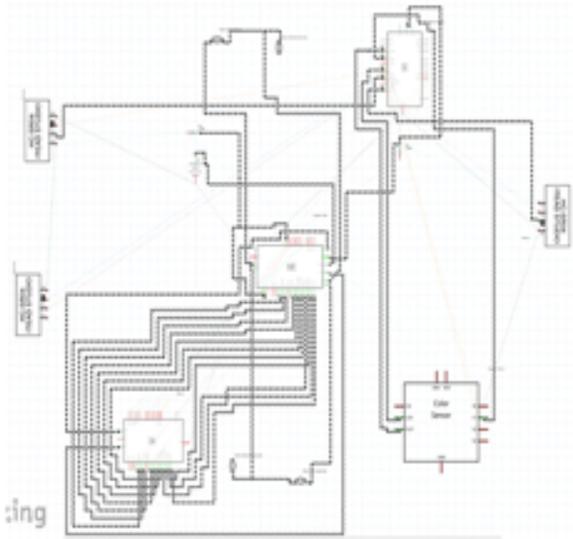


Figura 3. Diagrama esquemático del sistema.

En la figura se muestran todos los componentes conectados a los Arduino.

#### 4.4 Ensamblado de los componentes del robot y diseño de actividades de interacción

En este punto se muestra los diseños de los componentes del automóvil robótico individualmente y se explicará el funcionamiento de cada uno de estos dispositivos.

**Sensor de Proximidad.** Se conecta el pin 4 del Arduino al pin *echo* del sensor de proximidad, y el pin 7 al disparador del sensor, y para cerrar el circuito, el *ground* o tierra del Arduino con la tierra del sensor, y el pin de voltaje del Arduino con el pin del voltaje del sensor. Ver figura 4.

Para el código, se utilizarán las funciones de *digitalWrite* (disparador, HIGH); para que emita un pulso de sonido de alta frecuencia, se pone un pequeño *delay* y se apaga el disparador, solo hace falta un pequeño pulso para que tome la distancia, así que después del *delay*, se apaga el disparador con *digitalWrite* (disparador, Low); una vez realizado esto, se le ordena al sensor de proximidad que tome el rebote del pulso que se le acaba de enviar con la siguiente función,  $duración = pulseIn(echo, High)$ ; dependiendo del tipo de medida que se desee, se transforma la duración, en nuestro

caso, usamos centímetros, con lo cual se toma la siguiente función:  $distancia = duración/58$ .

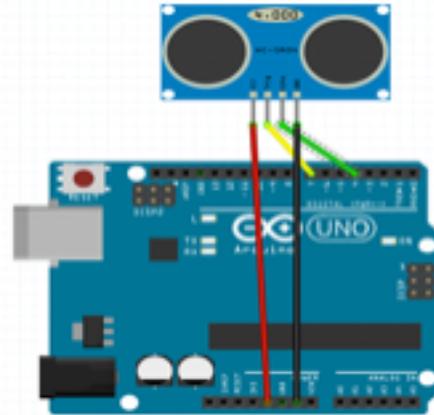


Figura 4. Sensor de proximidad.

En las primeras pruebas con un solo sensor de proximidad se quería que tomara la distancia del frente del automóvil robótico constantemente, y si la distancia es menor que 5cm, retrocedía hasta que la distancia entre el objeto y el automóvil fuera de 10cm, cuando cumplía con la condición de estar a 10cm de distancia de un objeto, el automóvil giraba y cambiaba de dirección.

Tres sensores de proximidad. Se utilizarán los pines 13, 11 y 9 para los disparadores del sensor del centro, izquierda y derecha respectivamente, 12, 10 y 8 para los *echos*, para cerrar el circuito, el *ground* o tierra del Arduino con el de tierra del sensor, y el pin de voltaje del Arduino con el pin del voltaje del sensor. (Ver figura 5).

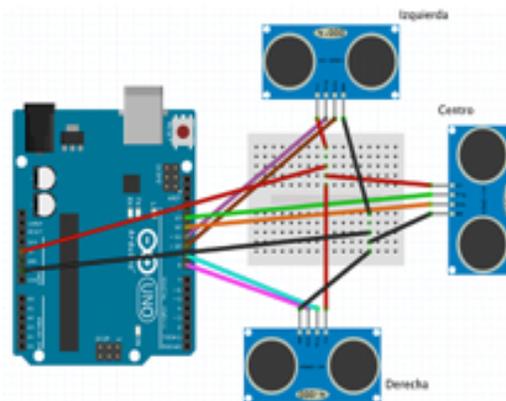


Figura 5. Tres sensores de proximidad.

Se utilizan las mismas funciones, *digitalWrite* (disparador, *High*); para activar emisión del pulso de sonido, un *delay*, *digitalWrite* (disparador, *Low*); para parar la emisión, duración = *pulseIn* (*echo,High*); para cronometrar el tiempo que le tomó y distancia = duración/58; para convertirlo en distancia.

La diferencia, no es solo de adjuntar dos sensores de proximidad extra, si no que va a ver uno que active a los demás, el sensor del centro va a estar constantemente activo, emitiendo pulsos de sonido, y cuando encuentre un objeto a menos de 10cm, se manda la orden para encender los otros dos sensores que se encuentran a los lados del automóvil para que analicen si se encuentran objetos en alguno de los lados para poder realizar el giro del automóvil sin ningún problema y riesgo a choque.

Sensor de Color. Se utilizarán los pines 3 y 4 para la lectura de la salida de frecuencia del color que va a leer el sensor de color, o sea las salidas S0 y S1 respectivamente, los pines 5 y 6 para la distinción de colores del sensor de color, o sea las salidas S2 y S3 respectivamente, el pin 7 para los leds incorporados en el sensor de color, salida OE y el pin 2 para la salida de la lectura del sensor de color, o sea la salida OUT. Ver figura 6.

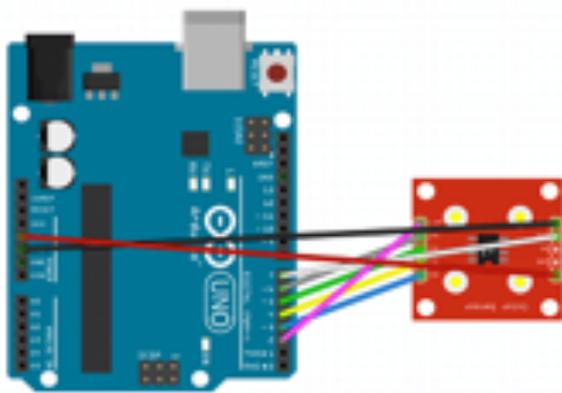


Figura 6. Sensor de color.

Se utiliza la función *digitalWrite* (7, *High*); para encender todos los *leds* incorporados del sensor, para determinar cuál es el color de una superficie se hacen combinaciones de los pines S2 y S3.

Blanco: ***digitalWrite*(S2,HIGH); *digitalWrite*(S2,LOW); *digitalWrite*(S3,LOW); *digitalWrite*(S3,LOW);**  
 Verde: ***digitalWrite*(S2,HIGH); *digitalWrite*(S2,LOW); *digitalWrite*(S3,HIGH); *digitalWrite*(S3,HIGH);**

Rojo:

Azul:

*Motorshield*. Esta tarjeta se conecta directamente encima del Arduino. Para controlar los motores se utilizan los pines 12 & 13 para ambos canales de motor. Se utilizan los pines 8 & 9 para ambos canales de frenos. Se utilizan los pines 3 & 11 para asignar las velocidades a cada motor. Ver figura 7.

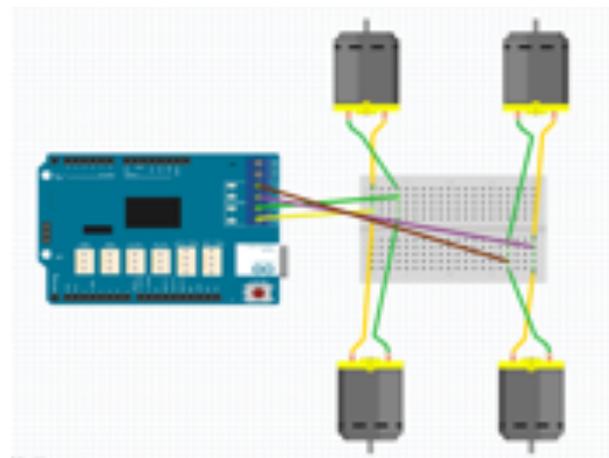


Figura 7. *Motorshield*.

Comunicación serial I2C: se utilizarán los pines analógicos A4 y A5 para la comunicación serial I2C en ambos Arduino.

El pin A4 es el pin de transferencia de datos, mientras que el pin A5 es la línea del reloj. Los pines A4 y A5 están conectados a los mismos pines A4 y A5 del otro Arduino.

También se conectan al voltaje 5V por medio de resistencias. El voltaje 5V y el *ground* son puntos en común para ambos Arduino y deben estar conectados. Ver figura 8.

## 5. Implementación del prototipo con la tecnología Arduino

Al comenzar el proyecto se tenía el Arduino con el *Motor Smart Robot Car Chassis Kit*, que es una plataforma con ruedas y motores para

poder movilizar el Arduino y sus componentes, todos los sensores que se van a utilizar, y un *motorshield* para adjuntar al Arduino para controlar los motores del *Motor Smart Robot Car Chassis Kit*.

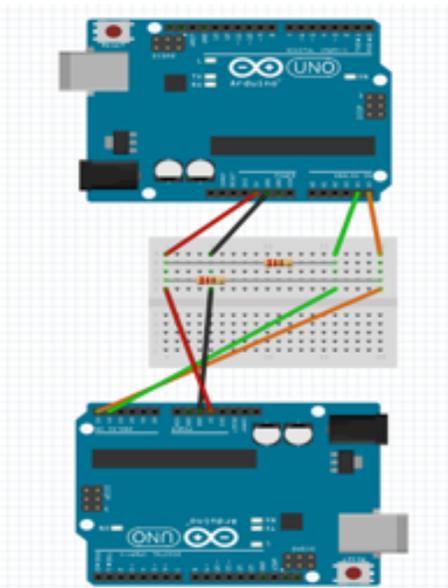


Figura 8. Comunicación serial 12C.

Se procedió a revisar los motores y a hacer pruebas para revisar que todo esté funcionando.

### Control de Motores Primera Prueba

//Motor A Adelante

```
digitalWrite(12, HIGH); //Establece dirección del canal A
digitalWrite(9, LOW); //Quita el freno del canal A
analogWrite(3, 255); //Arranca el motor del canal A a
toda velocidad
```

//Motor B Adelante

```
digitalWrite(13, HIGH); // Establece dirección del canal B
digitalWrite(8, LOW); // Quita el freno del canal B
analogWrite(11, 255); // Arranca el motor del canal B a
toda velocidad
```

//Motor A Atrás

```
digitalWrite(12, LOW); //Establece dirección del canal A
digitalWrite(9, LOW); //Quita el freno del canal A
analogWrite(3, 255); //Arranca el motor del canal A a
toda velocidad
```

//Motor B Atrás

```
digitalWrite(13, LOW); // Establece dirección del canal B
```

```
digitalWrite(8, LOW); // Quita el freno del canal B
analogWrite(11, 255); // Arranca el motor del canal B a
toda velocidad
```

Más adelante se trabajó con un sensor de proximidad por separado, probando que todo esté correcto antes de integrarlo al Arduino con el motor. El sensor de proximidad emite un pulso de sonido de alta frecuencia y cronometra el tiempo en que éste llega al objeto, rebota y vuelve al sensor, y con esto logramos hacer que el automóvil robótico evite chocarse contra objetos.

### Sensor de Proximidad Primera Prueba

```
digitalWrite(trigger_frente, LOW); //se
declaran las respectivas salidas del sensor
ultrasonico
```

```
delayMicroseconds(2); //y se almacenan en la
variable del sensor que convierte la
digitalWrite(trigger_frente, HIGH); //
velocidad del sonido que es de 340 m/s o 29
microsegundos
```

```
delayMicroseconds(5); //por centímetro, como
la señal va y viene, ese tiempo es el de la
digitalWrite(trigger_frente, LOW); // mitad,
siendo sensor= tempo/29/2
durac_frente = pulseIn (echo_frente, HIGH);
frente = duracion_frente/29/2;
```

Una vez que todo funcione correctamente, se integra al *motorshield* con los motores y se realiza un código para que trabajen en conjunto. Se le agregan unos cambios a las funciones para hacer que si se detecta un obstáculo a una distancia menor que cinco centímetros, el automóvil robótico retrocede hasta estar a una distancia segura y verifica la distancia nuevamente, esto sirve por si algún objeto se le atraviesa este reacciona, y si encuentra un obstáculo menor o igual a quince centímetros, este gira hacia la derecha o izquierda, dependiendo de un valor aleatorio generado por código.

### Sensor de Proximidad Segunda Prueba

```
if(distancia<5) //si la distancia entre el
automóvil robótico y el obstáculo es menor que
```

```

5
{
  do
  {
    backwards(); //el automóvil robótico retrocede
    distancia=calcular(); //calcula la distancia nuevamente y verifica
  }while(distancia<10);
}
if (distancia <=15) { //si la distancia entre el automóvil robótico y el obstáculo es menor o igual a 15
  rand=random(0,1000); //genera un numero aleatorio
  if (rand%2==0) //si el número es par gira a la derecha, si es impar gira a la izquierda
  {
    turnright();
  }
  else
  {
    turnleft();
  }
}
else forward();

```

Para la siguiente fase, se trabajó con foto receptores, con la intención de detectar el ambiente y los colores que se le presentan, para poder identificarlos y actuar ante ellos.

El fotorreceptor es capaz de convertir la energía óptica de la luz que está sobre una superficie en energía eléctrica mediante la transducción (transformación de un tipo de señal o energía en otra de distinta naturaleza).

En la naturaleza, los fotorreceptores son células fotosensibles del sistema visual de los seres vivos, pero también hay fotorreceptores electrónicos, que son componentes electrónicos que detectan la luz.

Para hacer el proceso más acertado y fluido, colocamos leds de colores verde, rojo, azul y amarillo, para que al fotorreceptor le sea más fácil distinguir la energía que emite cada luz de color.

Los leds se encenderán uno por uno mientras la fotoreceptora realiza lecturas de cada uno para ver cuál es el color que se hace más fuerte contra el objeto.

### Fotorreceptor Primera Prueba

```

double ambient = analogRead(photoResistor);
Serial.print("Ambient: ");
Serial.println(ambient*ambientAdj);

```

```

digitalWrite(g, HIGH);
delay(saturationTime);
double green = analogRead(photoResistor);
Serial.print("Green: ");
Serial.println(green*gAdj);
digitalWrite(g, LOW);
delay(colldownTime);

```

```

digitalWrite(r, HIGH);
delay(saturationTime);
double red = analogRead(photoResistor);
Serial.print("Red: ");
Serial.println(red*rAdj);
digitalWrite(r, LOW);
delay(colldownTime);

```

```

digitalWrite(b, HIGH);
delay(saturationTime);
double blue = analogRead(photoResistor);
Serial.print("Blue: ");
Serial.println(blue*bAdj);
digitalWrite(b, LOW);
delay(colldownTime);

```

```

digitalWrite(y, HIGH);
delay(saturationTime);
double yellow = analogRead(photoResistor);
Serial.print("Yellow: ");
Serial.println(yellow*yAdj);
digitalWrite(y, LOW);
delay(colldownTime);

```

```

double rawData[] = {(green*gAdj), (red*rAdj),
(blue*bAdj), (yellow*yAdj)};
double maximum = ambient*ambientAdj;
int decision;

```

Ya que el fotorreceptor utilizado no es muy preciso a la hora de detectar la energía de la luz, se procede a utilizar un distinto sensor de color, el *ColorPal*.

El *ColorPal*, detecta los colores de una superficie. El sensor posee tres luces de colores internas, el rojo, verde y azul, y las enciende alternadamente haciendo brillar la superficie que va a ser analizada, para detectar la cantidad de iluminación que va a ser reflejada para cada una de esas luces de colores. (McComb, 2013)

```
// Reset al ColorPA
void reset() {
  delay(200);
  pinMode(sio, OUTPUT);
  digitalWrite(sio, LOW);
  pinMode(sio, INPUT);
  while (digitalRead(sio) != HIGH);
  pinMode(sio, OUTPUT);
  digitalWrite(sio, LOW);
  delay(80);
  pinMode(sio, INPUT);
  delay(waitDelay);
}
```

```
void readData() {
  char buffer[32];
  if (serin.available() > 0) {
    buffer[0] = serin.read();
    if (buffer[0] == '$') {
      for(int i = 0; i < 9; i++) {
        while (serin.available() == 0);
        buffer[i] = serin.read();
        if (buffer[i] == '$')
          return;
      }
      parseAndPrint(buffer);
      delay(1000);
    }
  }
}
```

```
void parseAndPrint(char * data) {
  sscanf (data, "%3x%3x%3x", &red, &grn,
  &blu);
}
```

```
char buffer[32];
sprintf(buffer, "R%4.4d G%4.4d B%4.4d",
red, grn, blu);
Serial.println(buffer);
}
```

Ya que el Arduino posee un número limitado de pines, y con todos los sensores, el motor y los *leds* no hay espacio suficiente, se propone hacer un estudio para realizar una comunicación serial entre Arduino, se utilizarán dos Arduino, trabajando en conjunto como un sistema para poder trabajar con todos los dispositivos a la vez antes de utilizarlo el método.

Existen varias opciones para hacer que dos Arduinos se comuniquen, tales como la comunicación UART (requiere de los pines digitales 0 y 1, que se utilizan en la comunicación entre Arduino y computadora), el DIGITAL I/O (que tiene comandos y dispositivos limitados) y la seleccionada, la comunicación I2C (Inter-Integrated Circuit). Esta permite conectar más de 100 Arduinos esclavos de manera sencilla a un Arduino maestro.

El I2C es un protocolo serial síncrono, con un rango de velocidades desde 10-100 Kb/s, 128 posibles direcciones, de las cuales 16 están reservadas (la dirección 0 está reservada para el Arduino maestro) y 112 son asignables a los dispositivos esclavos.

Para utilizar I2C, se requiere utilizar un SDA (*Serial Data Line*) y un SCL (*Serial CLock Line*), además de que se debe compartir el pin de 5V y GND (I2C Between Arduino, s.f.).

A pesar de que el protocolo I2C permite, en otros contextos, múltiples maestros y múltiples esclavos, en Arduino solo se utiliza un maestro y múltiples esclavos. (I2C, 2015).

A nivel de programación se utiliza la librería Wire (se debe incluir) para comunicar a los Arduinos. El maestro puede enviar y/o solicitar información de los Arduinos esclavos.

Para la aplicación de este proyecto, el Arduino donde están conectados los sensores será el Arduino maestro, el cual enviará la información al Arduino esclavo (donde están

conectados los motores). (Master Writer / Slave Receiver, s.f.)

En los Arduinos UNO el SDA está en el pin analógico 4, mientras que el SCL está en el pin analógico 5. Estos pines también deben estar conectados a la resistencia *pull-up* (los Arduinos más nuevos tienen esta función incluida de fábrica).

El Arduino maestro siempre iniciará la comunicación en él mismo y el Arduino esclavo con el cual desea comunicarse. Direcciones deben asignarse a los Arduino para identificarlos.

### 5.1 Comunicación Arduino Master-Slave Primera Prueba

Ejemplo utilizado para probar la comunicación entre Arduinos.

```
//Slave
#include <Wire.h>
void setup()
{
  Wire.begin(5);
  Wire.onReceive(receiveEvent);
  pinMode(13,OUTPUT);
  digitalWrite(13,LOW);
}
void receiveEvent(int howMany)
{
  while(Wire.available())
  {
    char c = Wire.read();
    if(c == 'H')
    {
      digitalWrite(13,HIGH);
    }
    else if(c == 'L')
    {
      digitalWrite(13,LOW);
    }
  }
}
```

```
//Master
#include <Wire.h>
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
}
void loop()
{
  while(Serial.available())
  {
    char c = Serial.read();
    if(c == 'H')
    {
      Wire.beginTransmission(5);
      Wire.write('H');
      Wire.endTransmission();
    }
    else if(c == 'L')
    {
      Wire.beginTransmission(5);
      Wire.write('L');
      Wire.endTransmission();
    }
  }
}
```

Antes de armar el automóvil robótico con todos los dispositivos, se implementan todas las partes por separado, se agregarán dos sensores de proximidad más y se hará que los tres trabajen en conjunto, uno al frente y los otros dos a cada lado del automóvil,

haciéndolo más independiente y seguro en curvas u otros obstáculos que puedan presentarse en los lados.

El sensor del frente utiliza los pines 4 y 5 para *trigger* y *echo* (emite el impulso, recibe el impulso) respectivamente, el sensor de la izquierda usa los pines 2 y 3, y el de la derecha el 6 y el 7.

#### Sensores de Proximidad Primera Prueba

```
void loop() {
  // declaración de variables
  long durac_frente, durac_izq, durac_der,
  der, izq, frente;
  digitalWrite(trigger_frente, LOW); // se
  declaran las salidas y entradas del sensor
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigger_frente, HIGH);
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(trigger_frente, LOW);
  durac_frente = pulseIn(echo_frente,
  HIGH);
  frente = durac_frente/29/2;
  Serial.print("frente:");
  Serial.println(frente);
  digitalWrite(trigger_izq, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigger_esq, HIGH);
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(trigger_izq, LOW);
  durac_izq = pulseIn(echo_izq, HIGH);
  izq = durac_izq/29/2;
  Serial.print("izquierda:");
  Serial.println(izq);
  digitalWrite(trigger_der, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigger_der, HIGH);
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(trigger_der, LOW);
  durac_dir = pulseIn(echo_der, HIGH);
  der = durac_der/29/2;
  Serial.print("Derecha:");
  Serial.println(der);
  delay(500);
}
```

Por problemas de obtención de colores del *ColorPal*, no era muy preciso, no diferenciaba los colores mucho, cambiamos a un sensor de color TS3200, más confiable con leds integrados para su calibración.

El TSC3200 es un convertidor de luz a frecuencia programable, puede filtrar los datos RGB de la fuente de luz y convertirlo en una onda cuadrada on frecuencia directamente proporcional a la intensidad de luz (irradiación) (Sensor de Color TCS3200, s.f.).

GND es la tierra del circuito, VDD es para administrar el voltaje necesario, OUT es el pin para la frecuencia de salida del sensor, S0 y S1 son los pines para la frecuencia de escala de entrada, permite leer colores desde diferentes distancias, y S2 y S3 son los que, en conjunto, determinan el color (Programmable Color Light-to-Frequency Converter, 2011).

Se colocará el sensor mirando hacia el suelo desde el automóvil, con lo cual S0 y S1 no son necesarios, solamente se trabajará con S2 y S3 para detectar el color que se está presentando.

120

**Sensor de Color TCS3200 Primera Prueba**  
*void asses(int colldownTime, int saturationTime)*

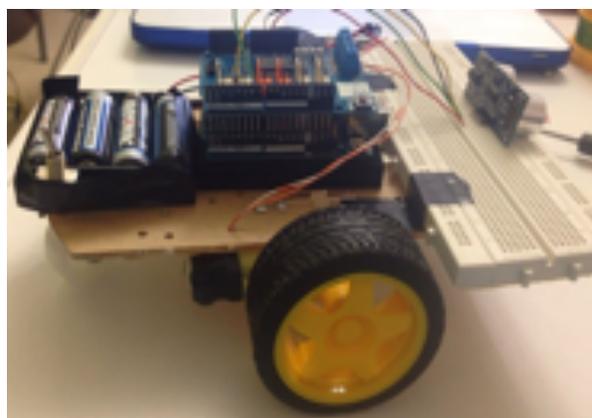
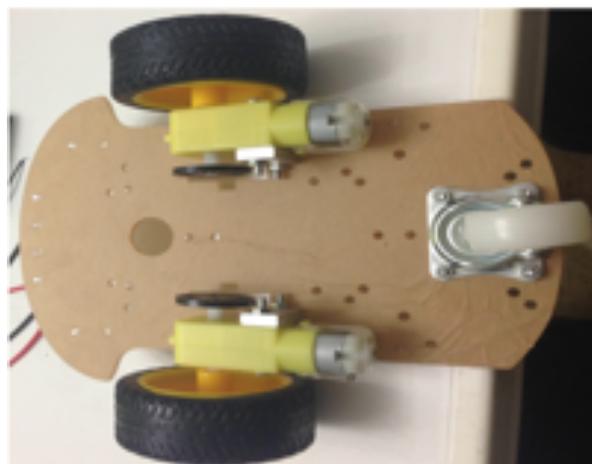
```
{
if (s2==LOW && s3== LOW)
Serial.println("Red");
else if (s2==LOW && s3== HIGH)
Serial.println("Blue");
else if (s2==HIGH && s3== HIGH)
Serial.println("Green");
else if (s2==HIGH && s3== LOW)
Serial.println("Undefined");}
```

Una vez que todo funcione correctamente, se harán pruebas de los sensores de distancia y el sensor de color trabajando a la vez en un solo Arduino, que futuramente será el Arduino master, que será el que maneje toda la información y la organice para mandársela al Arduino esclavo que tendrá el motor, y solo controlará los movimientos del motor dependiendo de lo que el master le envíe.

Por ejemplo, si el maestro detectó el color rojo a través del sensor de color, mandará la lectura al Arduino esclavo y este hará que los motores se paren, y si lee verde, lo manda y los motores arrancarán otra vez.

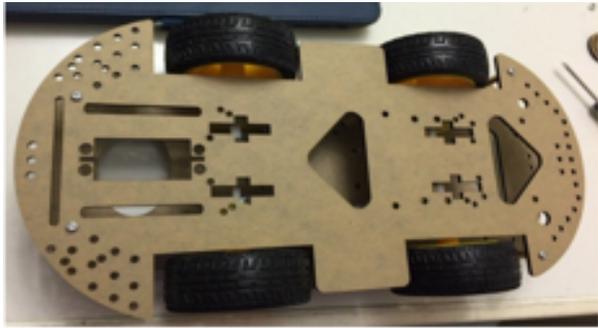
Se creó un código prueba para comprobar el manejo de todos los sensores en un solo Arduino para comprobar que todo esté correcto y en funcionamiento antes de formar la comunicación con otro Arduino.

En las figuras 9 y 10 a continuación se presentan imágenes de la evolución del prototipo desde la primera versión y fase 2, con sus diferentes vistas.

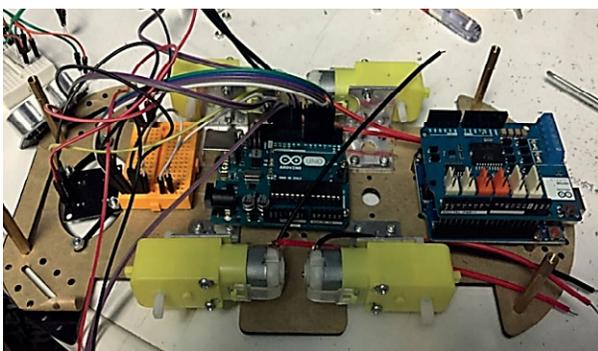


**Figura 9.** Evolución del prototipo (primera versión) y con sensor de proximidad (fase 1).

En las imágenes anteriores se muestra el nuevo chasis, el cual es más amplio para contener todos los dispositivos necesarios para producir el automóvil robótico. Ver figura 11.



**Figura 10.** Evolución del prototipo (fase 2); vista superior y vista interna respectivamente.



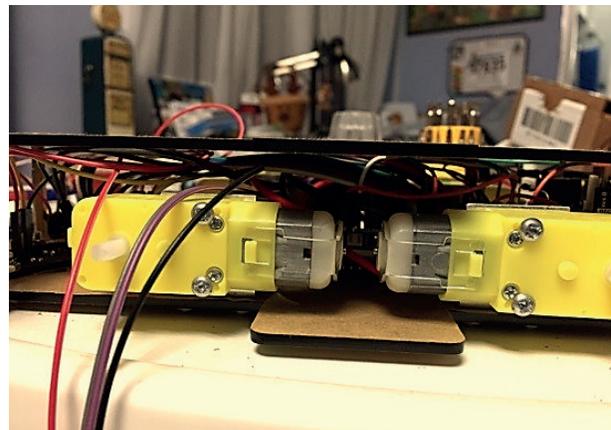
**Figura 11.** Evolución del prototipo (fase 2 – implementación 1).

En la imagen de la figura 12 se muestra el chasis con los dos Arduinos a utilizar, el *motorshield*, el sensor de color y el cableado necesario para su funcionamiento.



**Figura 12.** Chasis.

En la imagen de la figura 13 se muestra la preparación del posicionamiento del contenido del automóvil robótico en el chasis, todos los sensores, cableado, motores, Arduino y *motorshield*.

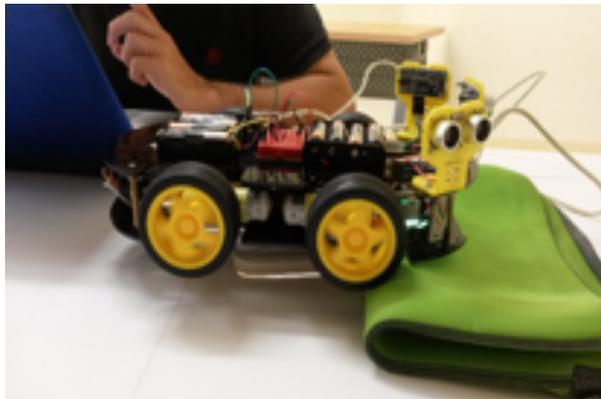


**Figura 13.** Evolución del prototipo (fase 2 – vista interna lateral).

En la imagen mostrada, se muestra el chasis completo, una vez ya colocado todo el interior, que ya cuenta con el sensor de color, los sensores de proximidad, los dos Arduino, el *motorshield*, todo el cableado y los motores.

Una vez que todo está ordenado y listo para programar, se realiza un código, que ya va a ser el de la fase final, para utilizar dos Arduino, uno con los sensores y otro con los motores, transfiriéndose información a través de la comunicación serial seleccionada anteriormente.

En la figura 14 se muestran los sensores ultrasónicos para la detección de distancia de frente y de lado y se muestran las pruebas realizadas con el sensor de color, ubicado en la parte inferior del automóvil inteligente.



**Figura 14.** Pruebas de frente y de lado y de sensor de color.

## 6. Resultados y discusiones

Después de un largo período de pruebas de código y de uso de componentes, se logró completar con éxito el objetivo del proyecto, se logró el funcionamiento deseado.

Se requiere de muchas pruebas para llegar a la funcionalidad deseada, en estas pruebas se deben revisar los componentes que se van a utilizar para ver si son los más adecuados.

En este proyecto se empezó usando foto receptores antes que el dispositivo TCS3200, lo cual representó una gran mejora para el proyecto. Se cambió el chasis a otro más grande para que fuera más fácil la manipulación de todos los componentes del proyecto.

## 7. Conclusiones

- El protocolo I2C utiliza la librería Wire para programación, permite solamente un Arduino maestro, pero puede utilizar hasta 100 Arduinos esclavos. Además, solamente utiliza los pines analógicos 4 y 5 para comunicación, y los puertos de voltaje y *ground* deben estar en común.
- Los sensores ultrasónicos son sensibles al voltaje aplicado. Además, pueden tener puntos ciegos, ya sea que el objeto esté ligeramente fuera del rango de lectura, o si el objeto está pegado al sensor ultrasónico.
- El peso del prototipo y la corriente que utilizan los motores pueden causar fluctuaciones en el funcionamiento de los sensores ultrasónicos.

## REFERENCIAS

- [1] Samaniego González, E. (2011). La Robótica con Arduino. In E. Samaniego González, Ingeniería de Sistemas Robóticos: Aplicaciones sobre Arduinos (pág. 14). Panamá, Panamá, Panamá: L&J Publicaciones. Recuperado el 18 de Septiembre de 2014.
- [2] Sensor de detección de color TCS3200. Wikipedia [http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/TCS3200\\_Color\\_Sensor\\_%28SKU:SEN0101%29](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/TCS3200_Color_Sensor_%28SKU:SEN0101%29)
- [3] HC-SR04 Sensor ultrasónico <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>
- [4] Grinberg, M. (2012). Building an Arduino Robot, Part I: Hardware Components. Recuperado el 18 de Septiembre de 2014, de Miguelgrinberg.com: <http://blog.miguelgrinberg.com/post/building-an-arduino-robot-part-i-hardware-components>
- [5] Using an RGB LED to Detect Colours. (s.f.). Recuperado el 18 de Septiembre de 2014, de Instructables: <http://www.instructables.com/id/Using-an-RGB-LED-to-Detect-Colours/?ALLSTEPS>
- [6] Accidentes de tránsito en la República y ciudades de Panamá y Colón, por clase, según mes: año 2011. (2012). Recuperado el 17 de Septiembre de 2014, de Instituto Nacional de Estadísticas y Censos: <http://www.contraloria.gob.pa/inec/archivos/P4361451-02.pdf>
- [7] Accidentes de tránsito, heridos y muertos en la República, por provincia y comarca indígena, según mes: año 2011. (2012). Recuperado el 17 de Septiembre de 2014, de Instituto Nacional de Estadística y Censo: <http://www.contraloria.gob.pa/inec/archivos/P4361451-13.pdf>

- [8] Arduino. (s.f.). Recuperado el 18 de Septiembre de 2014, de Arduino Uno: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [9] Arduino. (2015). Recuperado el 10 de Julio de 2015, de Wikipedia: [https://es.wikipedia.org/wiki/Arduino#Lenguaje\\_de\\_programaci.C3.B3n\\_Arduino](https://es.wikipedia.org/wiki/Arduino#Lenguaje_de_programaci.C3.B3n_Arduino)
- [10] Arduino Motor Shield. (s.f.). Recuperado el 18 de Septiembre de 2014, de Arduino: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoMotorShieldR3>
- [11] Automóvil sin conductor de Google. (2015). Recuperado el 10 de Julio de 2015, de Wikipedia: [https://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil\\_sin\\_conductor\\_de\\_Google](https://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil_sin_conductor_de_Google)
- [12] Características Técnicas del Arduino UNO. (s.f.). Recuperado el 10 de Julio de 2015, de <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/ralvgon/files/2013/05/Caracter%C3%ADsticas-Arduino.pdf>
- [13] Definición de Robótica. (s.f.). Recuperado el 5 de Mayo de 2015, de Definición.De: <http://definicion.de/robotica/>
- [14] Fernández, A. (2 de Junio de 2014). A bordo del coche que conduce solo de Volvo. Obtenido de Autopista.es: <http://www.autopista.es/reportajes/articulo/volvo-conduccion-autonoma-drive-me-100746>
- [15] Grinberg, M. (2012). Building an Arduino Robot, Part I: Hardware Components. Recuperado el 18 de Septiembre de 2014, de Miguelgrinberg.com: <http://blog.miguelgrinberg.com/post/building-an-arduino-robot-part-i-hardware-components>
- [16] Historia de la Robótica. (s.f.). Recuperado el 5 de Mayo de 2015, de Historia de la Robótica: <https://roboticstoday.wikispaces.com/Historia+de+la+Rob%C3%B3tica>
- [17] I2C. (2015). Recuperado el 25 de Marzo de 2015, de Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
- [18] I2C Between Arduinos. (s.f.). Recuperado el 25 de Marzo de 2015, de Instructables: <http://www.instructables.com/id/I2C-between-Arduinos/>
- [19] Los robots avanzan sobre la economía mundial. (2013). Recuperado el 5 de Mayo de 2015, de BBC Mundo: [http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2013/02/130222\\_robots\\_avanzan\\_sobre\\_economia\\_mundial\\_mj](http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2013/02/130222_robots_avanzan_sobre_economia_mundial_mj)
- [20] Martínez Ramos, S. B. (2014). Evolución de Arduino. Recuperado el 10 de Julio de 2015, de <http://es.slideshare.net/witwicky/tipos-de-arduino-y-sus-caracteristicas>
- [21] Martínez Ramos, S. B. (2014). Evolución de Arduino. Recuperado el 27 de Junio de 2015, de Slideshare: <http://es.slideshare.net/witwicky/tipos-de-arduino-y-sus-caracteristicas>
- [22] Master Writer / Slave Receiver. (s.f.). Recuperado el 25 de Marzo de 2015, de Arduino: <http://arduino.cc/en/Tutorial/MasterWriter>
- [23] McComb, G. (2013). ColorPal Arduino Demo. Recuperado el 10 de Julio de 2015, de Learn.Paralax.Com.
- [24] Programmable Color Light-to-Frequency Converter. (2011). Recuperado el 18 de Febrero de 2015, de <http://www.mouser.com/catalog/specsheets/TCS3200-E11.pdf>
- [25] Samaniego González, E. (2011). La Robótica con Arduino. En E. Samaniego González, Ingeniería de Sistemas Robóticos: Aplicaciones sobre Arduinos (pág. 14). Panamá, Panamá, Panamá: L&J Publicaciones. Recuperado el 18 de September de 2014.
- [26] Sensor de Color TCS3200. (s.f.). Recuperado el 10 de Julio de 2015, de [blog.patagoniatecnology.com](http://blog.patagoniatecnology.com): <http://saber.patagoniatecnology.com/sensor-de-color-tcs230-arduino-argentina-ptec-elecbreaks/>
- [27] TCS3200, TCS3210 PROGRAMMABLE COLOR LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER. (Agosto de 2011). Recuperado el Febrero de 2015, de TAOS.
- [28] Using an RGB LED to Detect Colours. (s.f.). Recuperado el 18 de Septiembre de 2014, de Instructables: <http://www.instructables.com/id/Using-an-RGB-LED-to-Detect-Colours/?ALLSTEPS>
- [29] Vehículo Autónomo. (2015). Recuperado el 10 de Julio de 2015, de Wikipedia: [https://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo\\_aut%C3%B3nomo](https://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_aut%C3%B3nomo)

# Implementación de un sistema intérprete de la experiencia del cliente en tiempo real bajo plataformas escalables de redes neuronales y aprendizaje profundo

## Implementation of an interpreter system of the client experience in real time under scalable neural networks and deep learning platforms

124

Jaime Villar Ortega<sup>1</sup> & Euclides Samaniego González<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería de Sistemas y Computación – Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales – Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Grupo de Investigación de Inteligencia Computacional – GIICOM – Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales – Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** En este trabajo se implementa un sistema con la capacidad de interpretar en cierta medida los estados de satisfacción y el ánimo del cliente, tomando datos generados por una interfaz de visión por computadora integrada en una aplicación móvil y registrada en una base de datos para luego ser cargados y desplegados en tiempo real por una plataforma web. Se tiene como objetivo implementar este sistema intérprete empleando plataformas escalables y accesibles de redes neuronales y aprendizaje profundo. Así como también de analizar los sistemas actuales para medir la satisfacción de clientes, sus ventajas y desventajas. De esta manera demostrar como este proyecto podría funcionar como complemento a las metodologías actuales usadas para determinar la satisfacción de los clientes.

**Palabras claves** Redes neuronales, visión por computadora, intérprete, tiempo real.

**Abstract** This project implements a system with the ability to interpret the satisfaction and mood of the client, taking data generated by a computer vision interface integrated in a mobile application and registered in a database to be tare loaded and deployed in real time by a web application. This project aims to implement thus interpreter system using scalable and accessible platforms of neural networks and deep learning. As well analyse the current systems and methodologies used to measure the customer satisfaction, its advantage and disadvantages. Demonstrate how this project could work as a complement to the current methodologies used to determine customer satisfaction.

**Keywords** Neural networks, computer vision, interpreter, real-time.

\* Corresponding author: euclides.samaniego@utp.ac.pa

## 1. Introducción

En la implementación de un sistema intérprete de la experiencia del cliente en tiempo real se busca dotar al sistema con la capacidad de interpretar los estados de satisfacción y el ánimo del cliente, tomando datos generados por una interfaz de visión por computadora integrada en una aplicación móvil y registrados en una base de datos para luego ser cargados y desplegados en tiempo real por una plataforma web.

El principal propósito del sistema es el de desplegar datos en tiempo real provenientes de las características faciales hechas por un cliente, captadas por la aplicación móvil y un módulo de detección de rostros.

Existen distintas herramientas empleadas en la actualidad que buscan medir la satisfacción de clientes. Dentro de este proyecto se estudian y aplican herramientas de *software* como servicio para este propósito. Se presentan las principales estructuras de comunicación, se describen los principales algoritmos usados en el aprendizaje automático y sus distintos enfoques, así como también las principales plataformas escalables que emplean tecnologías de aprendizaje profundo.

La detección de las emociones por medio de inteligencia artificial es el marco principal de este trabajo, enfocado específicamente a la atención de clientes por medios digitales.

Gracias a que los medios digitales y en la nube han ido en incremento, los sistemas son capaces de manejar un lenguaje más natural y aprenden de nosotros a cada instante. Sin embargo, para que un sistema pueda evaluar características humanas como las emociones, este antes debe emular el pensamiento humano.

### 1.1 Antecedentes

Actualmente las medidas tomadas para regular y tratar de controlar el tema de la satisfacción del cliente van desde lo tradicional al empleo de nuevas tecnologías para lograr optimizar estos procesos a mayor escala.

Siendo lo tradicional el uso de encuestas de satisfacción y las nuevas opciones como el

uso de algoritmos de inteligencia artificial para tratar de predecir las necesidades puntuales de los clientes. Hoy en día existen en el mercado algunas opciones en cuanto a las soluciones que emplean tecnologías de aprendizaje automático como métodos para minimizar la insatisfacción de los clientes prediciendo las posibles variables, tratando así de mejorar el servicio al cliente.

Por otro lado, el servicio y la atención al cliente por medios digitales presenta un gran crecimiento y se pronostican aumentos exponenciales durante los próximos años en lo que respecta a llevar el servicio al cliente bajo estos medios, surgiendo así cada día nuevos requerimientos y la necesidad de crear nuevos controles para estos casos.

Es por ello que surgen varias interrogantes y tema de investigación:

- ¿Son los sistemas actuales realmente eficaces para tratar los temas de satisfacción del cliente?
- ¿Qué implica llevar una atención al cliente desde un medio digital y cuáles serían las métricas utilizadas para evaluar la experiencia?
- ¿Es posible medir por medio de los mecanismos actuales y de manera óptima la experiencia del cliente sin que exista una retroalimentación verbal o escrita por parte de este?

Son estas algunas de las interrogantes que impulsan esta propuesta y proyecto.

### 1.2 Caracterización de la problemática

La insatisfacción del cliente es una problemática constante en comercios, entidades públicas y privadas. Desde el pequeño comerciante hasta las grandes corporaciones no se encuentran exentos de este problema, el cual puede generar consecuencias de gran riesgo para las actividades comerciales y de otras índoles que pueda tener la empresa donde reflejen una insatisfacción de sus clientes al momento de recibir los servicios o productos que ofrecen.

Un mal servicio puede acarrear problemas de lealtad hacia una marca, la pérdida de clientes

*Ortega (et al): Implementación de un sistema intérprete de la experiencia del cliente en tiempo real bajo plataformas escalables de redes neuronales y aprendizaje profundo.*

actuales, se puede crear una mala imagen y hasta destruir un producto exitoso, ya sea por una mala atención hecha pública en redes sociales que puede provocar la pérdida inmediata de posibles clientes potenciales a causa del ya conocido poder de difusión en estas redes.

Dado el gran auge de las telecomunicaciones, la atención del cliente al ser realizada desde un ambiente digital, por ejemplo, los videollamadas, tampoco escapan de estas problemáticas ya mencionadas.

Al contrario, si no son manejadas y controladas de la manera correcta pueden desencadenar grandes bajas de clientes.

Cada día más empresas y comercios suman estas opciones tecnológicas a las comunicaciones con sus clientes y muchas de estas carecen de controles adecuados o ignoran por completo la toma de procedimientos bajo estas modalidades, dejando así canales mediocres, aumentando la insatisfacción y la pérdida de clientes, así como también un desmejoramiento en las actividades sociales y comerciales.

### 1.3 Justificación

Debido al auge en el empleo de los dispositivos móviles y sus aplicaciones para gran parte de las actividades cotidianas y las telecomunicaciones, es requerida la elaboración de nuevos controles en las áreas ya mencionadas, como la atención al cliente.

Las empresas y entidades que buscan mejorar sus estándares de calidad están presentando vacíos de información y la falta de controles en cuanto a las experiencias de clientes que se comunican con ellos por medios digitales.

Este proyecto busca servir de complemento a estos problemas y carencias, aprovechando las tecnologías ya existentes, su escalabilidad, accesibilidad y gran flexibilidad para ajustarse a cada requerimiento.

Brindándole así a estas entidades, nuevas opciones y formas de cómo mejorar su servicio al cliente.

Demostrándoles por otra parte, la importancia de mantener controles y de llevar un seguimiento

minucioso de las experiencias de los clientes con respecto a las labores de servicios por medio de técnicas posiblemente desconocidas.

### 1.4 Restricciones y limitaciones

Las herramientas y plataformas escalables utilizadas para el desarrollo del proyecto deben ser utilizadas bajo las modalidades gratuitas y de planes por demanda.

*Hardware y software* mínimo requerido en dispositivos empleados.

Poseer conocimientos previos en el desarrollo móvil y web en un nivel intermedio-avanzado.

El desarrollo móvil es posible en múltiples plataformas, sin embargo, para este proyecto se desarrollará únicamente en la plataforma de Android para poder cumplir con el cronograma y los tiempos establecidos.

La plataforma y aplicativo web se montará en un servidor local a modo de pruebas. Evitando así costes de alojamiento.

Se emplearán los mecanismos de inteligencia artificial para cumplir con lo mínimo requerido por el proyecto. Se debe contar con velocidades de conexión que soporten al menos videollamadas por Internet.

Los algoritmos desarrollados serán en base a la lógica personal, usando conocimientos generales recaudados en la investigación. Para este proyecto no se cuenta con la ayuda de expertos en las áreas relacionadas.

### 1.5 Objetivos

#### 1.5.1 Objetivo general

Implementar un sistema intérprete de la experiencia del cliente en tiempo real, empleando plataformas escalables de redes neuronales y aprendizaje profundo.

#### 1.5.2 Objetivos específicos

- Identificar que herramientas para la medición y control de la satisfacción del cliente son utilizadas por las empresas y/o comercios en la actualidad.

*Ortega (et al): Implementación de un sistema intérprete de la experiencia del cliente en tiempo real bajo plataformas escalables de redes neuronales y aprendizaje profundo.*

- Analizar las ventajas y desventajas que estas herramientas pueden ofrecer.
- Proponer y demostrar el uso de nuevos controles en la detección y medición de la satisfacción del cliente.
- Identificar por medio de investigaciones cualitativas y cuantitativas los beneficios reales que pueda tener la propuesta e hipótesis formulada dentro de esta investigación, hacia las empresas, comercios y sistemas de atención al cliente.
- Integrar de manera óptima las herramientas *web* y tecnologías móviles adecuadas dentro de la implementación del proyecto.

## 2. Herramientas

### 2.1 Herramientas de satisfacción del cliente

La satisfacción de los clientes ha sido desde siempre un pilar importante dentro de las políticas comerciales en las organizaciones.

Desde la elaboración de las normas ISO 9000 para la gestión de la calidad, las organizaciones y empresas que las incluyen es sus estándares han tratado de seguir estos lineamientos a detalle, obteniendo en gran medida buenos resultados.

Si bien es cierto, el aplicar estos estándares y políticas pueden representar un gran costo, la inversión realizada en la mayoría de los casos le garantiza a la organización el poder continuar operando de manera estable.

El servicio al cliente desde medios digitales se ha tornado en una situación habitual hoy en día, a tal punto de hasta llegar a desplazar a los métodos tradicionales en ciertas áreas. Es por esto que las empresas han comenzado a invertir más recursos para poder cubrir esta necesidad que viene evolucionando.

Existen varios tipos de herramientas para medir la satisfacción del cliente que pueden ser aplicadas desde un medio tecnológico como los son: (a) buzón de sugerencias, (b) panel y las (c) encuestas.

Para llevar un control de la satisfacción de los clientes, las empresas han optado por invertir en el análisis de datos de sus clientes.

Estos datos pueden obtenerse desde páginas web, redes sociales o aplicaciones móviles.

Entre las métricas más conocidas y empleadas en los medios digitales para poder calcular la satisfacción del cliente: (a) *Customer Satisfaction Score* (CSAT), (b) *Net Promoter Score* (NPS), (c) *Customer Effort Score* (CES), entre otras.

### 2.2 Herramientas de *software* como servicio

Para hablar de *software* como servicio es necesario introducir el concepto de tercerización.

Este concepto está basado en la transferencia de un servicio interno a un proveedor externo. SaaS (*Software as a Service*), es decir *software* como servicio, pertenece a un conjunto de soluciones en la nube para la administración de servicios.

La escalabilidad que ofrecen estos servicios es alta, esto los convierte en un factor clave para aplicaciones que requieran crecer de un momento a otro ya sea por mayor demanda o la inclusión de nuevos módulos.

Dentro de las herramientas de *software* como servicio se encuentran distintas infraestructuras y motores de comunicación disponibles ya preparadas para soportar cualquier tipo de aplicación móvil o *web* que requiera de los beneficios de estos servicios como el caso de este proyecto.

### 2.3 Herramientas para el reconocimiento de patrones y aprendizaje automático

El empleo de la tecnología en prácticamente todos los sectores sociales y comerciales ha impulsado el crecimiento del uso de la inteligencia artificial aplicada.

Es por esto que grandes empresas dentro del sector tecnológico han empezado a ofrecer sus soluciones SaaS y herramientas de desarrollo.

Entre ellas se encuentra la plataforma de *Google Cloud* donde se ofrecen toda una serie de herramientas pero en especial distintas APIs para el procesamiento de información mediante aprendizaje automático como: (a) *Cloud Machine Learning Platform*, (b) *Vision API*, (c) *Speech API*, (d) *Natural Language API* y (e) *Translate API*.

El aprendizaje profundo es una sub-rama del aprendizaje automático en donde se emplean algoritmos que simulan la estructura y funciones del cerebro, esto es mayormente empleado para el procesamiento del lenguaje natural.

### 2.3.1 Mobile Vision API

Esta API forma parte del conjunto de herramientas ofrecidas dentro del paquete de *Google Play Services*, que no son más que librerías de extras que ofrece *Google* para el desarrollo de aplicaciones Android.

Esta API permite la detección de rostros en imágenes y videos. Además también ofrece la lectura de códigos de barra y reconocimiento de caracteres en imágenes y videos para convertirlos en texto, todo en tiempo real.

Esta herramienta cuenta con la capacidad de detectar los rostros en distintas orientaciones y los rasgos de la cara como los ojos, nariz y la boca. Ver figura 1.

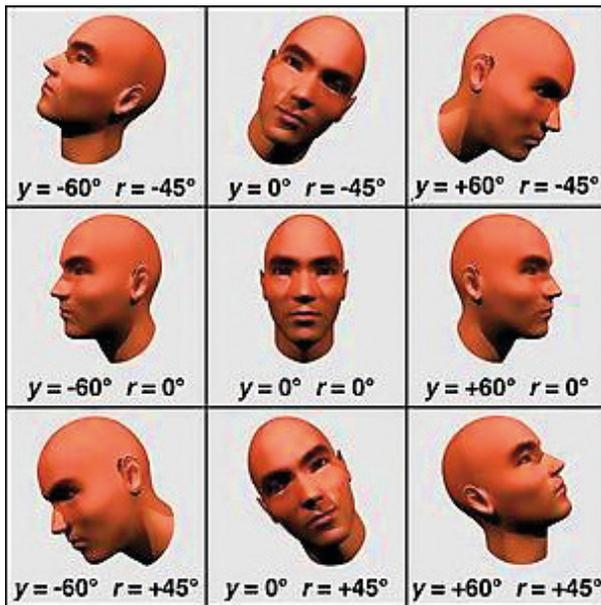


Figura 1. Orientación del rostro en Mobile Vision API.

Al momento en que la API detecta un rostro, este retorna un objeto *Face*. Este objeto provee toda una data espacial sobre el rostro detectado.

Algunos de los métodos que utiliza son:

- (a) *getPosition()*, que retorna la coordenada

superior izquierda del área donde el rostro fue detectado.

- (b) *getWidth()*, que retorna el ancho del área donde el rostro fue detectado.
- (c) *getHeight()*, que retorna la altura del área donde el rostro fue detectado.
- (d) *getId()*, que retorna un identificador asociado al rostro detectado.

De igual manera existen los siguientes métodos para determinar la orientación del rostro:

- (a) *getEulerY()*, que retorna la rotación del rostro en el eje vertical.
- (b) *getEulerZ()*, que retorna la rotación del rostro en base al eje Z.

La clasificación dentro del objeto *Face* determina cuanto una característica facial está presente. Actualmente el API soporta dos tipos de clasificaciones: (i) ojos abiertos y (ii) sonriendo.

Estos valores van de 0 a 1 y pueden ser tomados como un porcentaje, por ejemplo, que tan sonreída se encuentra una persona.

Los métodos que se encargan de retornar lo mencionado son los siguientes:

- (a) *getLeftEyeOpenProbability()*, que retorna la probabilidad de que el ojo izquierdo se encuentre abierto.
- (b) *getRightEyeOpenProbability()*, que retorna la probabilidad de que el ojo derecho se encuentre abierto.
- (c) *getIsSmilingProbability()*, retorna la probabilidad de que el rostro se encuentre sonriendo.

## 3. Detección de emociones

### 3.1 Metodologías

Las emociones son características innatas en los seres humanos, es decir, siempre estarán presentes en distintas maneras y niveles en cada individuo.

Existen muchos parámetros físicos presentes en una emoción, como lo son la piel, las expresiones faciales, la distribución de la sangre, el ritmo cardíaco, la respiración, la respuesta pupilar, secreción salival y movilidad gastrointestinal son algunas muy comunes.

### 3.2 Sistema de codificación de acciones faciales (FACS)

Este sistema fue desarrollado por Ekman y Friesen en el año 1978, que asociaron movimientos en el rostro y marcaron ciertas variables.

El FACS o Sistema de codificación de acciones faciales fue elaborado para la detección de cambios en las expresiones faciales, sean las notorias o las micro expresiones. Estas acciones pueden ocurrir de forma individual o simultáneamente.

La combinación de estas acciones vendría representando una expresión específica y se deduce que ciertas expresiones o emociones son derivadas de otras. Véase figura 2.

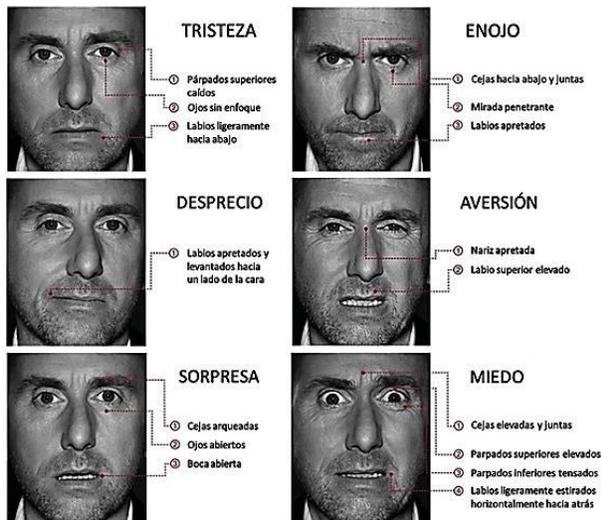


Figura 2. FACS – Sistema de codificación de las acciones faciales.

Cabe destacar que las investigaciones realizadas por Ekman demuestran que la asimetría en rostros denota una expresión simulada o incomodidad. La asimetría es producida en expresiones voluntarias.

## 4. Análisis y diseño del sistema intérprete

### 4.1 Análisis

Al escoger la metodología que se emplearía se tomaron en cuenta factores como los costos de tecnologías, las documentaciones existentes, si era de una tecnología de código abierto y el tiempo de desarrollo e integración que conlleva.

La detección de expresiones faciales por

medio de las cámaras es una tecnología que se encuentra al alcance de los desarrolladores de *software* con multitud de plataformas y opciones para escoger. De igual manera, esta tecnología se ha logrado integrar de manera óptima en los dispositivos Android, haciéndola propicia para el desarrollo del proyecto.

Las herramientas utilizadas en la elaboración del proyecto fueron seleccionadas en base a su tipo de código, su escalabilidad, costo, documentación y fueron evaluadas en este preciso orden.

### 4.1.1 Infraestructura de comunicación

Para el desarrollo de la comunicación entre los usuarios del aplicativo en las plataformas *web* y *móvil* se decidió integrar *QuickBlox*.

Esta herramienta de código abierto permitió una integración sencilla entre los aplicativos y se agilizaron los desarrollos gracias a toda la documentación y soporte existente característico de los desarrollos con código abierto.

Su flexibilidad multiplataforma permitió el enlace entre el aplicativo *móvil* y la plataforma *web* sin mayor complicación, empleando los ya conocidos protocolos de *webrtc*. Tomando las bases de sus programas de ejemplo integrados en las plantillas de *Q-municate* y toda su documentación fue posible integrar el motor de comunicación y adicionalmente generar un almacenamiento en la nube con datos obtenidos desde el aplicativo *móvil*.

### 4.1.2 Plataforma de visión por computadora

Dentro del aplicativo *móvil* desarrollado se han integrado unos módulos con la capacidad de detectar los niveles de sonrisa y movimientos de la cabeza de los usuarios.

El API escogido para este propósito fue el de *Mobile Vision* ofrecido por *Google*. Se ha hecho así debido a que esta API no requiere de llamados constantes a servidores externos y emplea librerías para la detección facial de manera local.

Estas librerías han sido optimizadas para los dispositivos *móviles* y cuentan con

*Ortega (et al): Implementación de un sistema intérprete de la experiencia del cliente en tiempo real bajo plataformas escalables de redes neuronales y aprendizaje profundo.*

actualizaciones regulares. Su principal desventaja y limitante es la poca o inexistente integración con otras plataformas móviles como *iOS*.

Para estos casos que se podrían encontrar en una posible futura etapa las otras dos opciones mencionadas cuentan con toda la infraestructura requerida y su integración es posible para todas las plataformas móviles y *web*.

Para la selección del API de visión por computadora el factor de mayor relevancia fue los costos de los servicios, ya que la integración en la plataforma de *Android* era de una complejidad similar, contando *Mobile Vision* con la ventaja de tener una documentación exclusiva para esta plataforma, ser completamente gratuita y accesible para todos los desarrolladores del ambiente *Android*.

#### 4.1.3 API de gráficos

En cuanto al desarrollo del lado *web*, adicional a la infraestructura de comunicación ofrecida por *QuickBlox* se integraron unas librerías gráficas con la capacidad de desplegar información en tiempo real y desplegar varios tipos de gráficos.

Para este propósito se ha trabajado con *PubNub*, los cuales ofrecen la librería de código abierto *EON*, ya mencionada anteriormente.

El principal motivo para ser escogida fue su sencilla integración y modelos de datos en el lenguaje de *JavaScript* además de ser una herramienta de código abierto con excelente soporte para el uso de documentos que manejen datos.

## 4.2 Arquitectura de las aplicaciones

### 4.2.1 Aplicación móvil

Para el desarrollo de la aplicación móvil se emplearon tecnologías de código abierto en la plataforma *Android*, usando código nativo y el entorno de desarrollo oficial de *Android Studio*.

La aplicación móvil cuenta con dos componentes principales desde la perspectiva del proyecto elaborado: (i) los módulos de comunicación de *QuickBlox* y *Q-municate* y

(ii) los métodos y llamados a la API de *Mobile Vision*.

### 4.2.2 Plataforma *web*

La plataforma *web* fue desarrollada utilizando *JavaScript* tanto en el módulo de comunicación como en el módulo de gráficos.

Para la plataforma *web* se empleó al igual que el aplicativo móvil la estructura inicial de *Q-municate* la cual emplea *Node.js* como estructura principal, *Bower* como administrador de paquetes y *Grunt* para ejecutar las tareas escritas en *JavaScript* e iniciar los servicios.

Los gráficos en tiempo real fueron desarrollados de manera independiente al módulo de comunicación empleando la librería de código abierto *EON* ofrecida por *PubNub*.

Al igual fue desarrollado en *JavaScript* con una vista de gráficos en tiempo real y otra en donde se muestran registros con el propósito de servir para pruebas comparativas.

## 4.3 Flujo básico y casos de uso

En el caso de uso desarrollado para el proyecto, el “cliente”, usuario del aplicativo móvil selecciona al contacto de servicio al cliente y realiza una video-llamada para luego ser atendida por el administrador o agente de servicio.

Al momento de establecer la conexión se crea una nueva sesión en los métodos empleados para la detección de rostros y paralelamente se registran cada segundo una instancia del objeto visión en la base de datos alojada en el servicio de *QuickBlox* para luego ser leída en tiempo real por la plataforma *web*.

### 4.4 Algoritmos empleados

Al realizarse el análisis de los casos de uso, de elegir las herramientas y plataformas adecuadas que se ajustarán al proyecto, seleccionar lo esencial de estas y evaluar la información recopilada en cuanto a las metodologías empleadas para la detección de las emociones se procedió a elaborar los algoritmos necesarios en cada parte del proyecto.

Ortega (et al): Implementación de un sistema intérprete de la experiencia del cliente en tiempo real bajo plataformas escalables de redes neuronales y aprendizaje profundo.

### 4.4.1 Algoritmos para la aplicación móvil

Dentro del aplicativo móvil fue requerido idear un conjunto de algoritmos para poder manejar los procesos necesarios del Sistema CXi.

En la captura del rostro desde la aplicación móvil se empleó la API de visión. Su algoritmo de funcionamiento es relativamente sencillo. Ver cuadro 1.

**Cuadro 1.** Algoritmo 1 empleado para cargar el número de sesión

Algoritmo 1: Número de sesión	
1	<b>Inicio</b>
2	<b>Declaración de variables</b>
	Entero Sesión = 0
3	Crear objeto consulta
4	Definir los parámetros de consulta
5	Enviar consulta
6	Leer respuesta
7	<b>Si</b> respuesta es exitosa <b>Entonces</b>
8	Sesión = Primer parámetro del campo sesión en respuesta
9	<b>De lo contrario</b>
10	Sesión = =
11	<b>Devolver</b> Sesión
12	<b>Fin</b>

El siguiente de los procesos involucrados al obtener la señal de la cámara con el detector de rostros ya habilitado fue el de obtener las características y rasgos faciales del objeto Face obtenido del API de *Vision*.

Para el desarrollo del algoritmo se declararon las variables correspondientes a las características y valores obtenidos dentro del objeto Face como lo es el nivel de sonrisa, probabilidad de apertura del ojo derecho así como del ojo izquierdo y los grados de movimiento del rostro en los ejes anteriormente mencionados, adicionalmente se inicializó una variable contador y otras variables como *sonrisaTotal* y *porcentajeInteress* encargadas de llevar un total de los datos obtenidos.

Posteriormente se le asignó el valor obtenido por el API a cada variable y a las variables encargadas de los totales de sonrisa e interés se les sumó su valor junto con métodos en procesos recurrentes.

Para el valor de *sonrisaTotal* se empleó un método sencillo que devolviese un porcentaje de los valores obtenidos del objeto *Face*.

En el caso de los valores totales de interés, se empleó un algoritmo basado en los estudios de la simetría en las expresiones faciales, como también en los movimientos del rostro y cabeza.

Se tomaron tres valores principales para evaluar el porcentaje de interés: (i) simetría en ojos, (ii) porcentaje de ojos abiertos y (iii) porcentaje de mirada fija a la pantalla.

Para el cálculo de la simetría en los ojos se tomaron los valores entregados por el API que indican el porcentaje de apertura de cada ojo, de esta forma si el valor obtenido en un ojo era mayor al otro se dividía el valor menor entre el mayor y se multiplicaba por cien para obtener el porcentaje de simetría en ojos.

En el cálculo del porcentaje de ojos abiertos se sumó el valor de ambos ojos y se dividió entre dos. Por último para el cálculo del porcentaje de mirada fija se tomaron los valores de rotación del rostro, tomando en cuenta que en eje Y se tenía un rango de -60 a 60 y de -45 a 45 para el eje Z, donde el valor de cero (0) era el valor medio y punto de referencia que indica un rostro centrado.

Se tomaron los valores del eje Y y eje Z y se estimó un nivel de atención, donde una mayor aproximación a cero (0) indica un mayor porcentaje de atención.

Para obtener el resultado que nos interesa, el porcentaje de interés total, se estimó un porcentaje para cada uno de los tres valores mencionados, siendo un 25% para la simetría en ojos, un 25% los ojos abiertos y un 50% la mirada fija a pantalla o porcentaje de atención.

Continuando el flujo de procesos dentro del aplicativo móvil, fue requerido elaborar un algoritmo que creara un objeto de los datos capturados por *Vision* y los guardara de manera

*Ortega (et al): Implementación de un sistema intérprete de la experiencia del cliente en tiempo real bajo plataformas escalables de redes neuronales y aprendizaje profundo.*

recurrente durante el preciso instante de la llamada.

Para esto primeramente se realizó un cálculo del promedio de los datos obtenidos, usando la cantidad de veces que se ejecutó la detección de características del rostro durante un segundo, asignando esta data recolectada a variables que se enviarían en un proceso continuo a la base de datos alojada en el servidor de *QuickBlox* con un número determinado de sesión.

Al terminar la llamada se reinician los valores y se aumentan en uno el número de sesión. Estos algoritmos mencionados son los principales dentro del aplicativo móvil.

#### 4.4.2 Algoritmos para la plataforma web

Para la plataforma *web* el requerimiento del proyecto pide que se despliegue información sobre la experiencia del cliente.

Para esto la única data a manipular dentro de los parámetros de este proyecto serían los datos de sonrisa y de interés para entonces generar un valor que defina el nivel de satisfacción de los clientes.

Es requerido que el sistema decida cuál es nivel de satisfacción del cliente en tiempo real y adicionalmente interprete un resultado al finalizar cada sesión.

Para lo ya mencionado se elaboró un algoritmo basado en un árbol de decisión que pudiese predecir el nivel de satisfacción, tomando como entrada los valores de interés y de sonrisa.

### 4.5 Diseño

#### 4.5.1 Diseño de la aplicación móvil

En cada plataforma fue requerido un diseño nativo y acorde al tema del Sistema CXi. En el aplicativo *Android* se usaron recursos de imágenes y las herramientas de diseño nativas de la plataforma bajo lenguaje *xml*.

Para el diseño de la aplicación móvil se mantuvieron ciertas estructuras presentes en el esquema de *Q-municate* y se agregaron los recursos personalizados. Ver Figura 3.

Adicionalmente el aplicativo móvil cuenta

con la pantalla de video-llamada, la cual cuenta con varias capaz de diseño en donde se alojan los controles y los marcos de video local y remoto. Ver figura 4.

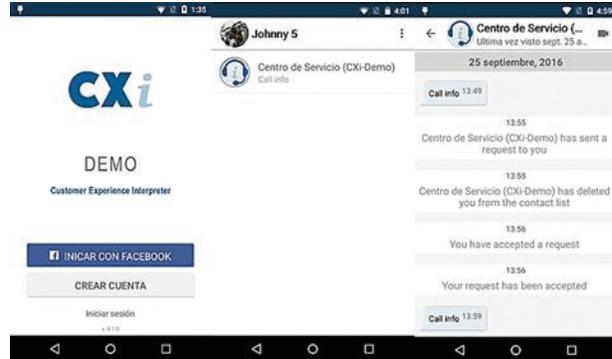


Figura 3. Vista de la aplicación móvil.



Figura 4. Vista de videollamada.

#### 4.5.2 Diseño de la plataforma web

Se emplearon los mismos recursos de imágenes diseñados para la aplicación móvil, adecuándolo a un formato *web*.

Se trabajó en base al diseño predeterminado de *Q-municate*. Esta plantilla tiene por defecto el esquema de estilos de *Materialize*, el cual se modificaron partes de las hojas de estilo para ajustar el proyecto al esquema necesario por el sistema CXi.

*Materialize* es un esquema de trabajo CSS para el diseño y maquetación de páginas web creado por *Google*.

Ortega (et al): Implementación de un sistema intérprete de la experiencia del cliente en tiempo real bajo plataformas escalables de redes neuronales y aprendizaje profundo.

La pantalla de inicio de sesión cuenta con el formulario básico y registro en la plataforma de *QuickBlox*, así como los logos y colores del sistema CXi.

El diseño de la página principal del módulo de comunicación cuenta con un diseño básico.

Una barra superior contiene el logo y nombre del sistema en el lado izquierdo y al derecho un ícono con las opciones de la cuenta.

En el lado izquierdo de la pantalla se presenta el listado de contactos recientes y a su derecha si se selecciona alguno de los contactos se puede ver un contenedor que despliega un listado de los últimos registros de llamada y en su parte superior el botón que corresponde a la video-llamada. Véase figura 5.

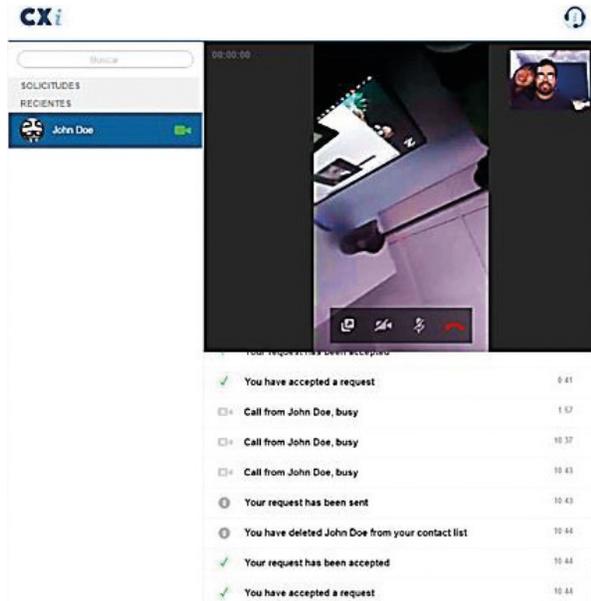


Figura 5. Vista principal del módulo de comunicaciones web.

Lo siguiente es la pantalla principal de los gráficos en tiempo real, la cual lee los datos almacenados en *QuickBlox* y los despliega en pantalla al momento empleando JavaScript, por medio de la librería de EON ofrecida por *PubNub*.

Cuenta con un gráfico lineal principal que muestra los valores de sonrisa en color azul, de interés en color naranja y la satisfacción estimada en color verde.

Posteriormente cuenta también con tres gráficos independientes para cada uno de estos

valores, mostrando el porcentaje captado al momento.

En la figura 6 se muestra una captura de los gráficos descritos en donde se muestran los porcentajes y valores captados en una línea de tiempo.



Figura 6. Vista de la experiencia del cliente en tiempo real.

## 5. Implementación del sistema intérprete

Dentro del ambiente de desarrollo se emplearon distintos *software* y plataformas. Primeramente se tomó en cuenta el repositorio de los códigos y la herramienta de versionado. Para este propósito se utilizó *SourceTree* en sus versiones de Windows y Mac, así como una cuenta alojada en *BitBucket* para el fácil manejo de los códigos entre las distintas plataformas usadas.

El ambiente para el desarrollo móvil fue plenamente nativo usando el lenguaje de *Java* y el *software* oficial para el desarrollo en Android que es el *Android Studio* en su versión 2.1.x – 2.2.

En el caso de la plataforma web se empleó la estructura en *JavaScript* conocida como *Node.js* y otras herramientas de código abierto para el manejo de paquetes y ejecución de código mencionadas anteriormente.

Al integrar esta plataforma de servicios fue requerido crear una cuenta en *QuicBlox* para obtener unas credenciales y llaves del API que posteriormente serían incluidas en los aplicativos web y móvil.

### 5.1 Implementación de la aplicación móvil

Para incluir el módulo de comunicación dentro del proyecto en su variante móvil se clonó el repositorio de *Q-municate* desde *Git-hub*, se empezó a trabajar desde esa base y los módulos cargados por defecto. Se incluyeron las credenciales personalizadas al proyecto para poder validar las pruebas de conexión. Al integrar los métodos y librerías de *Mobile Vision* fue requerido agregar una de las dependencias de *Google Play Services* para acceder al API de *Vision*.

Tomando como base la arquitectura definida anteriormente se programó un modelo para el manejo de la data de la clase *Vision*.

En este modelo está compuesto de tres variables que son: (a) sesión, (b) sonrisa e (c) interés.

En esta clase también se realizó la conversión de los datos leídos del tipo *QBCustomObject* de la clase *Vision*. Ver figura 7.

```
public class Vision {

    public interface Contract {
        String SESION = "sesion";
        String SONRISA = "sonrisa";
        String INTERES = "interes";
    }

    private String id;
    private int userID;
    private int sesion;
    private int sonrisa;
    private int interes;
    private long date;
}
```

Figura 7. Fragmento del código de la clase *Vision*.

La clase *FaceGraphic* básicamente aloja el algoritmo 2 ya descrito en donde se declaran las variables que se usarán con el API de *Vision*. Ver figura 8.

```
float sonrisa = 0;
float ojoDerecho = 0;
float ojoIzquierdo = 0;
float rostroY = 0;
float rostroZ = 0;
public static int sonrisaTotal = 0;
public static int porcentajeInteres = 0;
public static int count = 1;
```

Figura 8. Variables empleadas en los métodos *FaceGraphic*.

Posteriormente se cargan los valores obtenidos del objeto *Vision*. Ver figura 9.

```
sonrisa = face.getIsSmilingProbability();
ojoDerecho = face.getIsRightEyeOpenProbability();
ojoIzquierdo = face.getIsLeftEyeOpenProbability();
rostroY = face.getEulerY();
rostroZ = face.getEulerZ();
```

Figura 9. Datos del objeto *Face*.

El porcentaje de simetría en ojos se calcula mediante la codificación de la figura 10.

```
int simetriaOjos;
Double sOjos;

if (ojoDerecho > ojoIzquierdo){
    sOjos = (ojoIzq / ojoDer) * 100.0;
} else if (ojoDerecho < ojoIzquierdo) {
    sOjos = (ojoDer / ojoIzq) * 100.0;
} else {
    sOjos = 100.0;
}

simetriaOjos = sOjos.intValue();
```

Figura 10. Cálculo de simetría en ojos.

Una vez calculados estos valores, junto con el de mirada fija y finalmente el porcentaje de interés, se procede a crear el objeto *Vision* y cargar la sesión en *QuickBlox*.

Otro de los métodos elaborados para aplicar el tercer algoritmo fue el de *VisionData()*. En este método se implementa un hilo, que no es más que un proceso paralelo dentro del sistema Android, en donde cada segundo verifica si la conexión de video sigue activa, ejecuta el método *VisionObj()* y reinicia los valores de las variables usadas por el objeto visión.

### 5.2 Implementación de la plataforma web

Al igual que el proyecto móvil, se clonó inicialmente el repositorio del código de *Q-municate* para integrar las librerías y dependencias necesarias para la comunicación del sistema CXi.

Seguidamente se incluyeron las configuraciones iniciales dentro del archivo *config.js*, como los son las credenciales de la

*Ortega (et al): Implementación de un sistema intérprete de la experiencia del cliente en tiempo real bajo plataformas escalables de redes neuronales y aprendizaje profundo.*

cuenta en *QuickBlox* y el ID de la aplicación alojada en esta plataforma.

Adicionalmente se configuraron los URL de acceso al API. Para el desarrollo de este proyecto se implementó la plataforma *web* en un servidor local.

Para esto fue requerida la instalación de algunas librerías y dependencias como *Node.js* y *Ruby* por medio de la terminal.

La parte principal del módulo CXi es la página que muestra la experiencia del cliente en tiempo real. La estructura principal está basada en varios contenedores, el superior que muestra el gráfico lineal y tres inferiores que muestran los estados leídos de las variables de sonrisa e interés.

Para desplegar los gráficos se utilizaron ciertos métodos en *JavaScript*, los cuales se configuraban con los credenciales del API de *PubNub* y con los ajustes requeridos de acuerdo al gráfico que se necesitase. Ver figura 11.

La función encargada de ejecutar el algoritmo del árbol de decisión es la llamada *arbolCXi()*, esta recibe los parámetros de sonrisa e interés y estima un valor para la satisfacción.

Una vez ejecutado el algoritmo, inmediatamente se despliegan los valores en los respectivos gráficos.

### 5.3 Interpretación de los resultados

El sistema CXi pudo descifrar de manera óptima los niveles de sonrisa en los clientes y usuarios del aplicativo móvil, sin embargo, los estados emocionales del ser humano van más allá de las métricas captadas.

```

package com.quickblox.q_municate.model;

import ...

/**
 * Created by Jaime Villar on 08/17/16.
 */
public class Vision {

    public interface Contract {
        String SESSION = "session";
        String SONRISA = "sonrisa";
        String INTERES = "interes";
    }

    private String id;
    private int userID;
    private int session;
    private int sonrisa;
    private int interes;
    private long date;

    public Vision(QBCustomObject qbCustomObject) {
        id = qbCustomObject.getCustomObjectId();
        userID = qbCustomObject.getUserId();
        session = Integer.parseInt(QBVisionObjectsUtils.parseField(Contract.SESSION, qbCustomObject));
        sonrisa = Integer.parseInt(QBVisionObjectsUtils.parseField(Contract.SONRISA, qbCustomObject));
        interes = Integer.parseInt(QBVisionObjectsUtils.parseField(Contract.INTERES, qbCustomObject));
        date = qbCustomObject.getCreatedAt().getTime();
    }
}
    
```

**Figura 11.** Script usado para el gráfico principal del módulo CXi.

Para este proyecto se tomaron en cuenta los niveles de sonrisa y de interés dando resultados positivos al momento de monitorear los niveles en tiempo real.

Esto le daba la posibilidad al sistema de conocer si el cliente está prestando la debida atención a la conversación y si mostró alguna sonrisa sin la necesidad de verlo físicamente.

En los cálculos de los niveles de satisfacción como ya se ha mencionado se sintió la carencia de datos para mejor la precisión de los datos resultantes, sin embargo, el alcance que tuvo el proyecto arrojó resultados que demuestran la posibilidad de que un sistema tenga la capacidad de detectar y mostrar en tiempo real los estados de ánimo.

Para los resultados obtenidos en el módulo de pruebas, en donde se hacía la comparativa entre el sistema tradicional de encuestas y el sistema CXi se descubrieron ciertas carencias que podrían afectar el análisis de los datos como:

- La disposición que tenga el usuario que se le toma la muestra, es decir, estas encuestas se llenan en ciertos casos sin el debido interés, solo para cumplir o salir rápido de eso.
- Siendo situaciones ficticias las evaluadas, es difícil que el usuario demuestre expresiones reales a ser captadas en el sistema.
- La poca cantidad de muestras, estudio y pruebas limitadas por el tiempo del proyecto. Esto imposibilita en cierta medida poder comparar entre sistemas.

### 6. Conclusiones

Las herramientas y plataformas de *software* como servicio tienen una gran variedad de ofertas y aplicaciones que se ajustan a un sinnúmero de modelos y negocios. Cuentan con la ventaja de brindar soluciones instantáneas, con buena fiabilidad, seguridad, flexibilidad y altos niveles de escalabilidad.

Sin embargo estas herramientas pueden significar una compleja integración dependiendo de los sistemas utilizados.

Las plataformas escalables le ofrecen a los sistemas la capacidad de crecer acorde a lo que se necesite en el momento, sin tener que

*Ortega (et al): Implementación de un sistema intérprete de la experiencia del cliente en tiempo real bajo plataformas escalables de redes neuronales y aprendizaje profundo.*

incurrir en gastos mayores para acondicionar infraestructuras que soporten futuras demandas.

Entre mayor sea el número de características tomadas de las expresiones faciales, mejor podrá alimentarse el sistema y evaluar estos datos para obtener resultados dentro de una escala aceptable de comparación con los valores reales.

Para poder realizar una evaluación, ajustes de las características del sistema y estudiar la eficacia del método propuesto es requerido un estudio estadístico que involucre a expertos en las múltiples áreas relacionadas.

Al tomar solo características del cliente se le niega al sistema la opción de evaluar las entradas producidas por los agentes de servicio.

Obtener valores que representen la satisfacción real de un individuo es difícil tanto para los métodos tradicionales como para los métodos más modernos.

Esto se debe a la complejidad que existe en las expresiones humanas, sin embargo, empleando algoritmos que emulen la naturaleza humana, es posible obtener resultados prometedores y muy cercanos a la realidad.

## Recomendaciones

Buscar la ayuda y colaboración de expertos en la conducta humana, como psicólogos o científicos especializados. Esto para poder definir mejor los parámetros dentro del sistema.

Incluir el mayor número de características posibles dentro del sistema. Pueden ser expresiones faciales, tonalidades en la voz o cualquier otra característica cuantificable por medio de sensores presentes en los dispositivos empleados por los usuarios, clientes en este caso.

Evaluar en qué otros campos de aplicación tendría eficacia el sistema.

Tomar en cuenta todas las entradas y salidas posibles del sistema, como es el caso de los agentes de servicios. Si se conocen las entradas de los agentes y luego se comparan y evalúan con las entradas del cliente, el sistema puede llegar a proporcionar métricas y acciones que beneficiarían al servicio en general, como también podría aprender y poder predecir posibles fallas e indicadores de riesgo.

## REFERENCIAS

- [1] AFA. (2008). Automated Face Analysis. Septiembre 16, 2016, de AFA. Recuperado de <http://www.cs.cmu.edu/~face/index2.htm>
- [2] Beard, R. (2014). 3 Ways to Use Data and Technology to Enhance the Customer Experience. Septiembre 9, 2016. Recuperado de <http://blog.clientheartbeat.com/technology-enhancing-customer-experience/>
- [3] Brewster, S. (2016). Customer Service Bots Are Getting Better at Detecting Your Agitation. Septiembre 16, 2016, de MIT Technology Review. Recuperado de <https://www.technologyreview.com/s/602352/customer-service-bots-are-getting-better-at-detecting-your-agitation/>
- [4] Campamá, G. (2005). 10 métodos para medir la satisfacción de los clientes. Septiembre 9, 2016, por EuQuality Networks. Recuperado de <http://www.euquality.net/zonaprivada/descargas/Octubre%202005%20-%20Satisfaccion%20del%20Cliente.pdf>
- [5] Casalboni, A. (2016). Google Vision API: Image Analysis as a Service. Septiembre 14, 2016, por CloudAcademy Blog. Recuperado de <http://cloudacademy.com/blog/google-vision-api-image-analysis/>
- [6] Castrillón, W. (2008). Técnicas de extracción de características en imágenes para el reconocimiento de expresiones faciales. Septiembre 12, 2016, de la Universidad de Pereira. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/44131123\\_TECNICAS\\_DE\\_EXTRACCION\\_DE\\_CARACTERISTICAS\\_EN\\_IMAGENES\\_PARA\\_EL\\_RECONOCIMIENTO\\_DE\\_EXPRESIONES\\_FACIALES](https://www.researchgate.net/publication/44131123_TECNICAS_DE_EXTRACCION_DE_CARACTERISTICAS_EN_IMAGENES_PARA_EL_RECONOCIMIENTO_DE_EXPRESIONES_FACIALES)
- [7] Doerrfeld, B. (2015). 20+ Emotion Recognition APIs That Will Leave You Impressed, and Concerned. Septiembre 15, 2016, de Nordic Apis. Recuperado de <http://nordicapis.com/20-emotion-recognition-apis-that-will-leave-you-impressed-and-concerned/>
- [8] Eclass. (2011). Tecnologías para medir la satisfacción del cliente. Septiembre 8, 2016, de eclass. Recuperado de <https://comunidad.eclass.com/articulo/16423/tecnologias-para-medir-la-satisfaccion-del-cliente>
- [9] Ekman, P., & Friesen, W. (1978). FACS – Facial Action Coding System. Recuperado de <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/face/www/facs.htm>
- [10] Ekman, P., & Oster, H. (1979). Facial expressions of emotion. *Annual Reviews in Psychology*. 30, 527-554.
- [11] Ekman, P. (2001). *Telling Lies*. Berkley Books, Nueva York.
- [12] Gartner. (2014). Gartner Surveys Confirm Customer Experience Is the New Battlefield. Septiembre 6, 2016, de Gartner for Marketers. Recuperado de <http://blogs.gartner.com/jake-sorofman/gartner-surveys-confirm-customer-experience-new-battlefield/>

*Ortega (et al): Implementación de un sistema intérprete de la experiencia del cliente en tiempo real bajo plataformas escalables de redes neuronales y aprendizaje profundo.*

- [13] Intersect. (2016). Emotion Detection and Artificial Intelligence. Septiembre 16, 2016, de Intersect. Recuperado de <http://www.intersect.org.au/cases/emotion-detection-and-artificial-intelligence>
- [14] ISO. (2013). Satisfacción del cliente, Norma ISO 9001:2008. Septiembre 6, 2016, de ISO.org. Recuperado de [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_ics/catalogue\\_detail\\_ics.htm?ics1=03&ics2=120&ics3=10&csnumber=63027](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?ics1=03&ics2=120&ics3=10&csnumber=63027)
- [15] Rourke, J. (2016). How Machine Learning Will Improve Retail and Customer Service. Septiembre 9, 2016, de Data Informed. Recuperado de <http://data-informed.com/how-machine-learning-will-improve-retail-and-customer-service/>
- [16] Yegulalp, S. (2014). 11 open source tools to make the most of machine learning. Septiembre 13, 2016, de InfoWorld. Recuperado de <http://www.infoworld.com/article/2853707/machine-learning/11-open-source-tools-machine-learning.html>



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ  
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN, POSTGRADO Y EXTENSIÓN

INSTRUCTIVO PARA LOS AUTORES

Los estudiantes de pregrado en ciencias, tecnología e ingeniería de todas las universidades, están invitados a enviar sus artículos en español, portugués o en inglés, siempre y cuando no hayan sido publicados con anterioridad en otros medios. Los autores, harán constancia de su condición de estudiantes de pregrado y que su artículo no haya sido publicado, ni tampoco sometido para su publicación en otra revista.

Los artículos provenientes de trabajos de finalización de grado, tendrán una extensión entre 8 a 10 páginas. Los artículos provenientes de trabajos presentados en jornadas, eventos, congresos y seminarios a nivel de licenciatura, tendrán una extensión entre 4 a 6 páginas y los artículos provenientes de trabajos de revisión de literatura, de una asignatura en particular, tendrán una extensión entre 3 a 4 páginas.

138

Un estudiante de pregrado podrá presentar un artículo que haya co-escrito con un profesor, en este caso el estudiante será el primer autor y el correo de correspondencia será el del profesor.

La cantidad de páginas, aquí enunciadas corresponden con la estructura de la plantilla adoptada por la RIC y diseñada por la SAP – Scientific & Academic Publishing ([www.sapub.org](http://www.sapub.org)).

Las ideas y opiniones expresadas en los artículos publicados, son de exclusiva responsabilidad de sus autores. Los derechos autorales de las materias publicadas, pertenecen a la Revista de Iniciación Científica – RIC – *Journal of Undergraduate Research*, que adopta la licencia de Creative Commons BY-NC del tipo “Atribución No Comercial”. La versión online es de acceso abierto y gratuito. La RIC no cobra por la sumisión o por el proceso de edición de los artículos (*articles processing charges* – APC).

## 2. Estructura del artículo

**Título del trabajo:** no debe exceder a las 20 palabras (incluyendo preposiciones, conjunciones, artículos, etc.).

**Nombre de los autores:** colocar los nombres de los estudiantes en orden alfabético por apellido (primero nombre y después apellido) y de último el nombre y apellido del profesor. Se debe indicar el correo electrónico del profesor en el espacio indicado para ello.

La resolución mínima para las figuras e imágenes debe ser 300 DPI, para garantizar su calidad a lo largo del proceso de edición.

**Afiliación de los autores:** se debe indicar la carrera de los estudiantes y su centro de estudios universitarios, el departamento, facultad y universidad del profesor tutor.

**1. Extensión:** la extensión de los artículos enviados depende del tipo trabajo sometido a publicación en la RIC.

**Resumen en español e inglés:** dependiendo del idioma en la cual el artículo se haya sometido, éste tendrá una extensión de hasta 250 palabras como máximo. Será necesario presentar el resumen también en inglés.

**Palabras claves:** en el idioma en la cual se haya sometido el artículo y sus correspondientes en inglés.

**Introducción:** indicar la motivación en la realización del trabajo, los objetivos, una visión general, y la estructura del artículo. Corresponde a la revisión de la literatura.

**Cuerpo principal:** explicación de la metodología utilizada, algoritmos, datos utilizados, equipos, instrumento. También se incluye la parte de resultados y discusión.

**Conclusiones:** principales conclusiones obtenidas.

**Referencias:** las referencias deben enumerarse secuencialmente y el número va entre corchetes (e.g. [1]). Cuando haga referencia a una cita en el texto del artículo, por favor utilice simplemente el número de referencia, como en [2]. No utilice “Ref. [3]” o “Referencia [3]” excepto en el comienzo de la oración, e.g. “La referencia [3] muestra...”. Múltiples referencias deben enumerarse en corchetes separados (e.g. [2], [3], [4-6]).

### 3. Instrucciones adicionales:

Con el interés de agilizar la etapa de revisión filológica y de estilo del personal de la RIC, se les recomienda a los autores tomar en cuenta las siguientes observaciones adicionales:

- Debe existir correspondencia entre las Palabras Claves y sus homólogas Keywords.
- Dejar un espacio entre una cantidad numérica y su correspondiente unidad de medición, por ejemplo: 5 % y no 5%, 80 m y no 80m; 40 °C y no 40°C.
- Utilizar letra cursiva – itálica - cuando se digitaliza una palabra, frase o expresión en otro idioma que no sea la lengua materna.

- No colocar punto a las subdivisiones numéricas de las partes del documento, es decir, por ejemplo 3.2 y no 3.2.; 4.2.1 y no 4.2.1.
- Utilizar mayúsculas en los títulos y subtítulos, solamente en caso de digitalizar nombres propios.
- Cuando haga referencia a figuras, cuadros, tablas, en el texto; coloque la palabra completa y en minúscula con la correspondiente numeración. Por ejemplo: “La figura 1 muestra...” y no “La Fig. 1 muestra ...”

#### Dirección

Responsable: Dr. Alexis Tejedor De León

Calle: Avenida Universidad Tecnológica de Panamá  
Ciudad de Panamá

Dirección Postal: 0819-07289

Teléfonos: (507) 560-3193 y (507) 560-3703

Fax: (507) 560-3442



### F. HIDRÓLISIS DE LA SACAROSA

Cóloque 3 ml. de la solución de sacarosa en un tubo de ensayo. Añada 10 gotas de agua destilada. Caliente durante unos 5 minutos en baño María, luego deje enfriar y neutralice con  $\text{NaOH}$  10% hasta alcalinizar. Realice la prueba de Fehling o Benedict. Anote los resultados.



#### RESULTADOS

Glúcidos	Fehling	Benedict
glucosa		
sacarosa		
fructosa		
maltoza		
almidón		

#### TABLA

Seliwanoff

#### HIDRÓLISIS DE I

glúcidos
sacarosa



# Portal de REVISTAS ACADÉMICAS UTP



INICIO ACERCA DE ÁREA PERSONAL BUSCAR

Inicio > Portal de Revistas Académicas UTP

## Portal de Revistas Académicas UTP

Bienvenido al Portal de Revistas académicas (Investigación, Cultural, Profesional) de la Universidad Tecnológica de Panamá. Este sitio nace como una iniciativa del proyecto del Repositorio Institucional (UTP-Ridda2) para mostrar la producción de docentes, investigadores y estudiantes, proyecto desarrollado por la Vicerrectoría de Investigación, Postgrado y Extensión, la Dirección de Comunicación Estratégica y Editorial Universitaria, con el apoyo de las principales autoridades de nuestra Universidad.

[A](#) [B](#) [C](#) [D](#) [E](#) [F](#) [G](#) [H](#) [I](#) [J](#) [K](#) [L](#) [M](#) [N](#) [Ñ](#) [O](#) [P](#) [Q](#) [R](#) [S](#) [T](#) [U](#) [V](#) [W](#) [X](#) [Y](#) [Z](#) [Todo](#)



### I+D Tecnológico

Desde 2002 se propuso la edición de la Revista de I+D Tecnológico (P-ISSN 1680-8894 & E-ISSN 2219-6714), con el propósito de promover la labor de investigación en el ámbito nacional e internacional.

La publicación de la revista es semestral. Compartimos la buena noticia que a finales del mes de febrero de 2013, se nos notificó que la Revista de I+D Tecnológico cumplía con los estándares internacionales para formar parte del catálogo de Latindex.

[VER REVISTA](#) | [NÚMERO ACTUAL](#) | [REGISTRARSE](#)

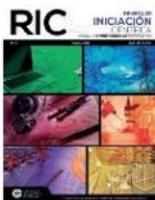


### Prisma

Prisma Tecnológico (P-ISSN 2076-8133 & E-ISSN 2312-637X)

Es una publicación anual de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) que se realiza a través del Departamento de Editorial Universitaria, bajo el sello Editorial Tecnológica. Es una revista abierta indexada a LATINDEX, que ofrece artículos de contenido tecnológico y científico multidisciplinarios, cuyo objetivo es divulgar conocimiento técnico-científico, comunicar temas de ingeniería y ciencias básicas y exactas, y presentar temas sociales desde una perspectiva técnica-científica, a profesionales y estudiantes de las diversas áreas de la ingeniería, así como al público nacional e internacional, de manera comprensible y amena, con claridad, amplitud y responsabilidad.

[VER REVISTA](#) | [NÚMERO ACTUAL](#) | [REGISTRARSE](#)



### Revista de Iniciación Científica

RIC (P-ISSN 2412-0464 & E-ISSN 2413-6786), es una revista abierta a la difusión, a los intercambios y a los debates de interés de la comunidad universitaria, esencialmente a nivel de pregrado con el objetivo de promover la creación, la expresión y la diseminación de trabajos novedosos y empíricos. En la RIC se publican, prioritariamente trabajos originales relacionados con los temas de ciencias, tecnología e ingeniería, desarrollados por estudiantes de licenciatura, en español, portugués o en inglés, incluyendo resultados de trabajos de términos de grado y otros trabajos de investigación desarrollados en pregrado.

[VER REVISTA](#) | [NÚMERO ACTUAL](#) | [REGISTRARSE](#)

OPEN JOURNAL SYSTEMS

Servicio de ayuda de la revista

USUARIO/A  
Ha iniciado sesión como...  
**dannym**

- Mis revistas
- Mi perfil
- Cerrar sesión
- Cerrar sesión de usuario/a

IDIOMA  
Escoge idioma  
Spanish

CONTENIDO DE LA REVISTA  
Buscar   
Ámbito de la búsqueda  
Todo



UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA  
DE PANAMÁ

El Portal de Revistas Académicas UTP, es un componente del proyecto UTP-RIDDA2 (Repositorio institucional de acceso abierto de la Universidad Tecnológica de Panamá).

### Componentes del Repositorio Institucional

- Portal de Revistas
- Repositorio de Investigación
- Repositorio de Tesis
- Repositorio de Organizacional
- Repositorio de Académico

### Objetivo General del Portal de Revistas

Mejorar la visibilidad de las publicaciones científicas de la Institución a nivel nacional e internacional a través del uso de un sistema de gestión, de información y de consulta ágil y de uso internacional.

Visítenos en:

<http://www.revistas.utp.ac.pa>

No es necesario registrarse para tener acceso a los contenidos de las revistas

Camino a la excelencia a través del mejoramiento continuo



**Universidad Tecnológica de Panamá**

Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso,  
Edificio de Postgrado, Planta Baja.  
Teléfono: (507) 560-3703 / Telefax: (507) 560-3442  
Correo Electrónico: [editorial@utp.ac.pa](mailto:editorial@utp.ac.pa)  
Web: [www.utp.ac.pa](http://www.utp.ac.pa)  
Apartado Postal 0819-07289 El Dorado,  
Panamá Provincia de Panamá  
República de Panamá.