

RIC

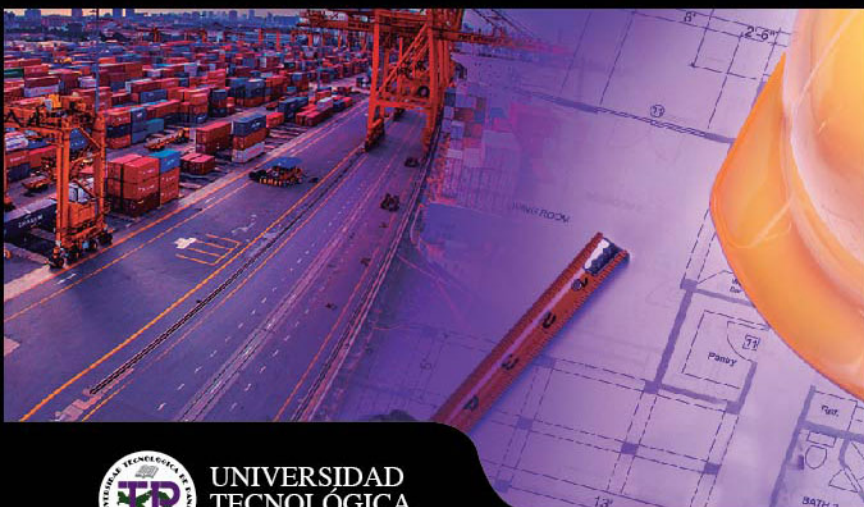
REVISTA DE INICIACIÓN CIENTÍFICA

JOURNAL OF UNDERGRADUATE RESEARCH

Nº. 1

DICIEMBRE 2015

ISSN 2412-0464



UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA
DE PANAMÁ

“Camino a la excelencia a través del mejoramiento continuo”



RIC

REVISTA DE INICIACIÓN CIENTÍFICA

JOURNAL OF **UNDERGRADUATE** RESEARCH

RIC 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. Publica, prioritariamente trabajos relacionados con los temas de tecnología e ingeniería desarrollados por los estudiantes de licenciatura, en portugués, español o en inglés, incluyendo resultados de trabajos de término de grado y otros trabajos de investigación.

Revista semestral, publicada a partir del 2015, como iniciativa del Ing. Alexis Tejedor De León, PhD, de la Facultad de Ingeniería Mecánica del Centro Regional de Veraguas de la

Universidad Tecnológica de Panamá.

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 artículos allí publicados.



Dr. Oscar Ramírez Ríos
RECTOR
Universidad Tecnológica de Panamá

MENSAJE DEL RECTOR

La Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), en sus 35 años de vida, ha estado comprometida con la sociedad panameña, contribuyendo a aportar soluciones a problemas críticos. A través del trabajo colaborativo entre docentes y estudiantes, la UTP ha aportado un cúmulo de investigaciones como tesis de grado. Los resultados de estas tesis son ahora publicados en la Revista de Iniciación Científica – RIC.

En la ruta de la UTP hacia la excelencia, a través del mejoramiento continuo, surgen cada día nuevas iniciativas encaminadas a potenciar la creatividad e inventiva de nuestros docentes, investigadores y estudiantes. Es así como se establece en la UTP, en el año 2015, la Jornada de Iniciación Científica, un espacio dedicado a nuestros estudiantes y docentes, donde se promueve a través de la investigación en el aula, la producción de soluciones ingenieriles a problemas. Es un proyecto de gran impacto en la formación integral de nuestros estudiantes y que no dudamos, trascenderá en el espacio y tiempo, al fomentar la cultura de investigación en la población panameña.

Los mejores trabajos de esta jornada son publicados en la Revista de Iniciación Científica-RIC. La Revista de Iniciación Científica inició como un proyecto innovador a nivel de pregrado. Hoy presentamos con orgullo el segundo número de la RIC. Deseamos exhortar a nuestros estudiantes de pregrado y sus profesores a dar a conocer sus valiosos trabajos de investigación a través de esta plataforma.

RIC

REVISTA DE INICIACIÓN CIENTÍFICA

JOURNAL OF UNDERGRADUATE RESEARCH

Volumen 1- N.º 2 · Edición Semestral · Diciembre 2015 · ISSN 2412-

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

Teléfono: (507) 560-3193
Correo electrónico: vipe@utp.ac.pa

Dirección Postal: 0819-07289, El Dorado, Panamá

© Derechos reservados, UTP 2015.

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

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

Ing. Luis Barahona
Secretario General

DECANOS

Ing. Ángela Laguna Caicedo
Facultad de Ingeniería Civil

Ing. Julio Quiel
Facultad de Ingeniería Eléctrica

Ing. Sonia Sevilla
Facultad de Ingeniería Industrial

Ing. Mirtha Moore
Facultad de Ingeniería Mecánica

Dr. Nicolás A. Samaniego F.
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales

Mgter. Ana Saavedra
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 de Estilo Mgter. Klenya Morales

Diseño y Maquetación Licda. Miriam Pinzón



Dra. Casilda Saavedra de Madrid

Vicerrectora de Investigación, Postgrado y Extensión

MENSAJE DE LA VICERRECTORA

Díaz, la cual es parte integral del proyecto de Saneamiento de la Ciudad y Bahía de Panamá. El segundo artículo se refiere a la integración de estilos de aprendizaje a los sistemas tutoriales inteligentes, investigando la forma en que estos sistemas tutoriales pueden emular el papel de un facilitador del aprendizaje. El tercer artículo se enfoca en sistemas interactivos de asistencia a pacientes de fisioterapia, con el objetivo de guiar al paciente para la ejecución correcta de sus ejercicios de terapia, al igual que ayudar al fisioterapeuta en mediciones de ángulos de las articulaciones.

La sociedad actual se distingue por la abundancia de datos, pero no necesariamente por abundancia de soluciones. Ante la miríada de problemas que enfrenta nuestra sociedad, es imprescindible que los estudiantes y profesionales internalicen la importancia de la investigación para generar soluciones innovadoras. La Jornada de Iniciación Científica (JIC), que fue instituida en la Universidad Tecnológica de Panamá en el 2015, busca, mediante la investigación en el aula, propiciar esta internalización. Conjuntamente con la JIC, nace la Revista de Iniciación Científica (RIC) como un espacio diseñado con la finalidad de crear una cultura de investigación y divulgación de los resultados de investigaciones llevadas a cabo por nuestros estudiantes de licenciatura, guiados por sus profesores, no solamente como producto de la JIC, sino como resultado de sus tesis de grado.

Hoy presentamos con orgullo el segundo número de la RIC. En este número se presentan los resultados de tesis y artículos de proyectos ganadores de la JIC 2015. Las tesis corresponden a trabajos desarrollados en la Facultad de Ingeniería Civil y en la Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales. El primer artículo, investiga la influencia de la variación estacional en la eficiencia de tratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Juan

Por otro lado, se presentan seis artículos correspondientes a mejores proyectos presentados en la JIC 2015. En primer lugar, el proyecto ganador, titulado: “Análisis del Diseño y Manufactura de una Bisagra con Cambios de Sección con Dobleces y Apoyos”, el cual fue presentado por los estudiantes y su profesora asesora, Dra. Nacarí Marín, de la Facultad de Ingeniería Mecánica, en el 2015 IEEE MIT Undergraduate Research Technology Conference (<http://ieeescr.mit.edu/conference>). Este evento es organizado en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) de Estados Unidos. Los artículos subsiguientes tratan los temas: la satisfacción de los turistas en el Aeropuerto Internacional de Tocumen, el diseño de un dispositivo electrónico inalámbrico móvil con capacidad de ser controlado en tiempo real de manera remota vía WiFi, obtención de etanol a base de la savia de la palma de corozo *attalea butyracea* y el sistema EDMO para la caracterización de suelos superficiales.

Deseamos exhortar a los estudiantes universitarios y sus profesores asesores a aprovechar esta plataforma para dar a conocer los resultados de sus investigaciones, de manera que estos puedan ser compartidos con la sociedad y contribuyan a las soluciones requeridas.

RIC

CONTENIDO

- 7** INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CALIDAD Y CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL EN LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO: CASO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE JUAN DÍAZ, PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ
Elbis Soto, Prof. Asesor: Dra. Casilda Saavedra
- 19** INTEGRACIÓN DE LOS ESTILOS DE APRENDIZAJES A LOS SISTEMAS TUTORIALES INTELIGENTES
Primer Autor: Raúl Jiménez, Emir Salazar / Segundo Autor: Ing. Nicholas Béliz Osorio; Mgtr. Mirna M. Samaniego G.; Dr. Euclides Samaniego González y Dr. Nicolás A. Samaniego F.
- 36** SISTEMA INTERACTIVO DE ASISTENCIA A PACIENTES DE FISIOTERAPIA
Christopher Francisco Almanza¹ / Prof. Asesor: Dr. Euclides Samaniego González
- 47** EVALUACIÓN DE LA SATISFACCIÓN DE LOS TURISTAS DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE TOCUMEN ENFOCADO AL TRASLADO TERRESTRE DESDE Y HACIA EL AEROPUERTO
Guillermo Labiosa y Betzaida Avendaño
- 54** ANALYSIS OF SBR POLYMER ADAPTED TO AN AUTOMOBILE DAMPING SYSTEM
Adin Gil; Antonio Huang; Luz Jiménez; Paul Madrid; Fátima Reyna, Delkis Vergara y Prof. Asesor: Dra. Nacarí Marín.
- 59** NARIZ ELECTRÓNICA INALÁMBRICA MÓVIL CON MONITOREO EN TIEMPO REAL
Abel Montenegro; Melvin Trejos y César Araúz
- 66** OBTENCIÓN DE ETANOL A BASE DE LA SAVIA DE LA PALMA DE COROZO ATTALEA BUTYRACEA
Ricardo Arosemena; Ana Castillo; Miriam Castillo; Valeria Castillo; Raquel Chen, Ana Fuentes y Berneth Jaramillo
- 73** REMOCIÓN DE PIGMENTOS DE EFLUENTES A TRAVÉS DE UN BIOFILTRO DE GRAVEDAD DE LECHO FIJO DE EXOESQUELETOS DE ESPECIES MARINAS
Ramón Bonilla; Mariela Campos; Katrina Concepción; Carla Díaz; Héctor Herrera; Lisbeth López; Sonia Mojica
- 80** SISTEMA EDMO COMO PROTOTIPO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS SUPERFICIALES
Cristhian Velásquez; Caroline Santamaría; Edgar Moreno; Melissa Miranda; José Martínez; Mario Martínez; Carolina Gómez; Francisco Chan y Roger Blanco

"JORNADA DE INICIACIÓN CIENTÍFICA" UNIVERSITARIA, NACIONAL

2016



Preselección:

1 proyecto de cada 15 presentados en las universidades

Premiación Nacional:

Congreso de APANAC (22 de octubre de 2016)

Premios:

Primer premio: Cobertura de gastos para representación en un evento internacional.

Segundo premio: B/. 1000.00

Tercer premio: B/. 600.00

Trabajo más innovador: B/. 300.00

Trabajo de mayor impacto social: B/. 300.00



Participantes:

- Grupos de 2 a 4 estudiantes de licenciaturas de TODAS las Universidades Acreditadas de Panamá.

Requisito:

- Profesor asesor asociado a una Universidad Acreditada en Panamá.
- Proyecto de Investigación Científica, Experimental y/o teórica realizada durante el semestre.



Inscripciones:

- Para participar como asesores o evaluadores a partir del 21 de marzo de 2016.
- Para proyectos desde el 18 de abril de 2016 al 3 de junio de 2016.

Recepción de artículos:

- Desde el 16 de mayo de 2016 al 17 de junio de 2016.

Formas de Participación:

- Artículo
- Póster
- Presentación por grupos

Mejores artículos serán publicados en
Revistas Científicas Universitarias

<http://www.utp.ac.pa/revista-de-iniciacion-cientifica>



Organizado por:



Patrocinado por:



Mayor información:

<http://iniciacioncientifica.utp.ac.pa/>
jornada.cientifica@utp.ac.pa

Teléfono: 560-3512

UNIVERSIDAD
TECNOLOGICA
DE PANAMÁ

INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CALIDAD Y CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL EN LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO: CASO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE JUAN DÍAZ, PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ

INFLUENCE OF SEASONAL VARIATION ON THE EFFICIENCY OF POLLUTANT REMOVAL OF THE WASTEWATER TREATMENT PLANT LOCATED IN JUAN DIAZ, PANAMA CITY.

Autores

Elbis Soto, Prof. Asesor: Dra. Casilda Saavedra

Área

Licenciatura en Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Tecnológica de Panamá

RESUMEN

Este trabajo estudia la influencia de la variación estacional de aguas residuales crudas en la eficiencia de remoción de contaminantes, tomando como caso de estudio la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Juan Díaz, la cual es parte del Proyecto de Saneamiento de la Ciudad y Bahía de Panamá. Se seleccionaron seis sitios de muestreo en el sistema de colectoras que conduce las aguas residuales a la planta. En cada sitio de muestreo se midió el caudal, se determinaron valores de parámetros físico-químico en campo y se tomaron muestras para análisis de parámetros físicoquímicos y biológicos en laboratorio. La mayoría de los resultados estuvieron dentro del rango especificado por las normas de aguas residuales de Panamá. Se encontró que los cambios en precipitación en la estación seca y lluviosa producen variaciones tanto en la cantidad como en la calidad de aguas residuales crudas y afecta la eficiencia de tratamiento o remoción de contaminantes en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Juan Díaz. Este estudio se realizó con la colaboración de la Empresa Degremont, encargada de la operación y mantenimiento de la planta.

PALABRAS CLAVES

Aguas residuales, eficiencia, caudal, tratamiento, calidad de agua

ABSTRACT

This research studies the influence of seasonal variation on the efficiency of pollutant removal of the wastewater treatment plant located in Juan Diaz, Panama City. Six sites were selected for study, where physicochemical and biological wastewater parameters were measured. Most of the results were within the ranges set by the standard for liquid effluent discharge systems. It was found that changes in precipitation due to seasons produce variations in both quality and quantity of wastewater and influence the efficiency of treatment in the Juan Díaz wastewater treatment plant.

KEY WORDS

Wastewater, efficiency, flow, quality.

1. Introducción

La creciente expansión de la población en la ciudad de Panamá ha ocasionado problemas de contaminación de los ríos que atraviesan el área metropolitana y desembocan en la Bahía de Panamá; atentando contra la salud pública y calidad de vida de la población. Como consecuencia, a inicios del milenio se concretan los estudios y diseños para el Proyecto Saneamiento de la Bahía y Ciudad de Panamá, liderado por la Unidad Coordinadora del Proyecto (UCP), adscrita al Ministerio de Salud de Panamá (MINSa); a través del Plan Maestro Consolidado desarrollado desde el año 1998 hasta el 2001 aproximadamente. Este proyecto tiene el propósito de mejorar la calidad de vida de la población, el medio ambiente y las condiciones sanitarias de la ciudad de Panamá; a través de cuatro componentes, dentro de los cuales se encuentra un sistema de tratamiento de aguas residuales.

El sistema de tratamiento ha sido desarrollado en un área de 39.57 hectáreas (Ha), ubicado en el corregimiento de Juan Díaz, localizado al sur del Corredor Sur y al oeste de la desembocadura del río Juan Díaz. Inició operaciones formalmente el 12 de mayo de 2013, con una vida útil de 20 años para su primera etapa. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Juan Díaz tiene un caudal medio de diseño de 2.2 m³/s y 3.96 m³/s como caudal o flujo máximo horario; pero actualmente se genera un caudal promedio de 1.5 m³/s diariamente [1].

Esta planta utiliza un sistema de tratamiento biológico con la tecnología de lodos activados, con remoción biológica de nutrientes, para cumplir con la norma para descarga de efluentes líquidos directamente a cuerpos de agua superficiales. El proyecto además cuenta con distintas estaciones de bombeo, pozos y colectoras, encargados de recolectar y conducir las aguas residuales a la planta de tratamiento para la depuración de las mismas.

La eficiencia de los procesos de tratamiento de aguas residuales puede verse afectada por la influencia de diversos factores, incluyendo los cambios en precipitación y escurrimiento

superficial en las estaciones seca y lluviosa. Con el fin de determinar la influencia de estos cambios estacionales en la eficiencia de remoción de contaminantes en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Juan Díaz, esta investigación se enfoca en analizar la calidad de agua cruda en los siguientes: Estación de Bombeo de ATLAPA, Interceptor Costero (Estación de Bombeo N°2 y N°3), Pozo de Interconexión Vía Brasil, Colectora Matías Hernández (MH) y Túnel Interceptor (TI). En cada sitio se estudia por un período de cuatro semanas, cómo las variaciones estacionales, que producen cambios en los caudales y calidad del agua residual, influyen en la eficiencia de remoción de contaminantes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Juan Díaz.

Esta influencia puede reflejarse en los análisis de parámetros fisicoquímicos y biológicos de las aguas residuales; así como en el caudal de las mismas. Para ello, se presentan la metodología, análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones, a fin de contribuir a mejorar la eficiencia de los procesos llevados a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Juan Díaz.

2. Metodología de muestreo

El muestreo no es más que el procedimiento de escoger parte de un elemento, el cual debe ser representativo del mismo, de manera que no afecte los resultados que se obtienen en sus análisis [2]. Para garantizar la confiabilidad de estos resultados, es determinante conocer el alcance u objeto del estudio, así como las variaciones fisicoquímicas y biológicas que se producen durante el muestreo; por lo que se hace necesaria la elaboración de un plan de muestreo.

Este plan de muestreo debe enmarcar los aspectos a tomar en cuenta para la frecuencia, número y obtención de la muestra, lugar de muestreo, período de muestreo; entre otras. Se deben incluir además, materiales y equipos, equipo de seguridad, técnicas de muestreo, tipo de muestras, procedimiento de muestreo, mediciones de flujo, preservación y cadena de custodia de la muestra [3, 4].

Para efectos de esta investigación, el instructivo utilizado como base para definir el plan de muestreo fue el documento “Planificación de muestreo y análisis”, proporcionado por el laboratorio interno de Degremont S.A.; empresa encargada de la operación y mantenimiento de la PTAR y que contiene los lineamientos y recomendaciones para el muestreo de aguas residuales crudas. Este instructivo se apoya en el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 39-2000 “Agua. Descarga de efluentes líquidos directamente a sistemas de recolección de aguas residuales” y el *Standard Methods for the Examination Water and Wastewater*, en su última edición. Esta norma “establece las características que deben cumplir los vertidos de efluentes líquidos provenientes de actividades domésticas, comerciales e industriales, a los sistemas de recolección de aguas residuales” [4]. A continuación se presenta la metodología utilizada tanto para muestreo de agua residual cruda como para la obtención del caudal de la misma.

2.1 Selección de los puntos de muestreo

La revisión de la cobertura del sistema de acueducto y alcantarillado, así como sus condiciones, deben realizarse previo a la selección de los sitios de muestreo [5]. Además, se deben incluir visitas al sitio y mapas o dibujos, es para la correcta selección de los sitios de muestreo [6].

En este sentido se seleccionaron seis sitios, ubicados en Urbanización Chanis (MH y TI), Cinta Costera (EB-2 y EB-3), ATLAPA y Vía Brasil. La información proporcionada por INGEMAR Panamá en el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) del Proyecto Saneamiento de la Bahía y Ciudad de Panamá, permitió identificar estos sitios y la accesibilidad a los mismos.

2.2 Materiales y métodos de muestreo

Los análisis fisicoquímicos y biológicos de agua residual cruda, incluyeron la recolección de la muestra para todos los sitios. Los parámetros seleccionados son los recomendados por el reglamento técnico “DGNTI-COPANIT 39-2000” para la toma de muestras de agua residual doméstica. En el caso de esta investigación

se determinó al inicio que se cumplirían los objetivos de la investigación con la inclusión de los siguientes parámetros: pH, temperatura, conductividad, turbidez, DBO5, DQO, SST y CF. Cabe destacar que son muchos más; sin embargo solo se presentan los que involucra nuestro caso de estudio, pues la selección de los parámetros varía en conformidad del objeto del estudio y la disponibilidad de captación de la muestra en el sitio.

La metodología para la recolección de la muestra se ajustó a las condiciones y accesibilidad de cada sitio. Para la recolección de la muestra de agua residual cruda en la colectora Matías Hernández y Túnel Interceptor, se utilizó una cubeta de plástico rígido porque el agua provenía de un grifo. En Interceptor Costero (EB-2 y EB-3) y la Estación de Bombeo de ATLAPA la muestra fue recolectada con una cubeta plástica atada a una cuerda, pues el flujo de agua se encontraba al fondo de una cámara especial de aproximadamente seis a ocho metros de profundidad (ver figura 1). En el Pozo de Interconexión de Vía Brasil, la muestra fue recolectada por los operadores de la planta de tratamiento de Juan Díaz, debidamente capacitados y autorizados para acceder al lugar, pues éste presenta condiciones de sitio confinado.



Figura 1. Recolección de muestra.

Una vez recolectada la muestra de agua residual, se procedía a la rápida medición de los parámetros in situ para evitar alteración de los resultados. Luego se trasvasaba el agua cruda a los envases plásticos y de vidrio proporcionados por el laboratorio encargado de los análisis.

Tabla 1. Frecuencia de muestreo

Frecuencia	Parámetros de medición	
	In situ	De laboratorio
Tres veces por semana	pH Temperatura Conductividad Turbiedad	DQO DBO5 SST CF

En la Tabla 1, puede observarse la frecuencia de muestreo y los parámetros fisicoquímicos y biológicos de agua residual medidos tanto in situ como en laboratorio. La frecuencia se dio en días intercalados; a excepción del día domingo, para un período de cuatro semanas.

Debido a que las técnicas de muestreo involucran la forma manual y automática [7], en este estudio se llevó a cabo la obtención de la muestra de forma manual, pues los sitios seleccionados así lo permitían. Tomando en cuenta además, que la muestra recolectada fue simple.

Durante todo el período de muestreo, las muestras fueron preservadas en una hielera, tal como lo muestra la Figura 2. Los envases o frascos de muestras que requerían análisis de laboratorio, contenían preservantes previamente preparados por el laboratorio.



Figura 2. Preservación de la muestra.

2.3 Medición de caudal de agua residual

La correcta y eficaz medición de flujo o caudal dependerá en gran parte del sitio de muestreo, ya sea por su accesibilidad o facilidad de realizar dicha medición.

Por esta razón la Tabla 2, presenta la metodología de obtención del caudal de agua residual para cada sitio seleccionado.

Tabla 2. Metodología de medición de caudal

Sitios de muestreo	Metodología
Matías Hernández y Túnel Interceptor	Medidor ultrasónico 93 P:
EB-ATLAPA	Volumen - Tiempo
Pozo de Interconexión Vía Brasil	Velocidad - Área
Interceptor Costero (EB-2 y EB-3)	Data de Placa

La medición de caudal en el pozo de Vía Brasil no pudo efectuarse. El mismo es un área confinada en la que el oxígeno es limitado, y por medidas de seguridad el acceso al lugar es restringido a personal externo no capacitado.

El Medidor Ultrasónico 93 P es un sistema de medición ultrasónica de caudal, utilizado únicamente para obtener el flujo o caudal de líquidos en tuberías cerradas; siempre y cuando la tubería esté llena, con el fin de evitar acumulaciones de bolsas de aire en su interior. La instalación del equipo puede darse de manera horizontal o vertical, dependiendo de las posiciones de las tuberías.

La Figura 3 permite identificar las condiciones del sistema de tuberías en Túnel Interceptor (TI) y Matías Hernández (MH), por lo que la instalación del equipo se hace de manera horizontal. Esta instalación consigue que las acumulaciones de aire en la parte superior de la tubería y la formación de sedimentos en su parte inferior tengan una influencia menor sobre las mediciones [8].



Figura 3. Sistema de tuberías. TI (arriba), MH (abajo).

Luego de seleccionada la forma de instalación, se hace necesario cumplir con una serie de pasos de acuerdo al manual de instrucciones abreviado *Proline Prosonic Flow 93 P*. Estos incluyen determinación del diámetro y área transversal o de la sección de la tubería, que introducidos en el sistema nos darán el valor de la distancia a la que será necesario fijar los cables de metal alrededor de la tubería. Esto nos permite colocar las abrazaderas y a su vez los sensores, cubriendo la superficie de contacto con una capa uniforme de gel de acoplamiento. Finalmente, pueden conectarse los sensores al transmisor mediante los cables de conexión. Terminado este proceso, el equipo empieza a medir, visualizándose los distintos valores y variables de estado, tal como lo muestra la Figura 4.



Figura 4. Medidor Ultrasónico 93 P.

De este modo, la obtención de los caudales se realizaba cada diez segundos por un lapso de 1:30 minutos. De dichos datos se obtuvo un promedio; que luego se multiplicaría por el número de bombas que estaban funcionando en cada sitio al momento de realizada la medición. El método volumen-tiempo, consiste en medir el volumen del fluido que se descarga en un período especificado. Para el caso de la EB de ATLAPA, con las dimensiones de la cámara se obtuvo el área de la misma, además de los cambios de niveles registrados por el panel de control al apagar todas las bombas, que

permitían obtener la altura de agua cruda (ver Figura 5). Esta altura multiplicada por el área de la cámara permitía obtener el volumen. Esto se realizaba en un tiempo establecido de 1:30 minutos con una frecuencia de medición de cada diez segundos.



Figura 5. Cámara de conducción y Panel de control de bombas.

Por último, con la metodología de Data de placa en *Interceptor Costero*, se hizo necesario medir el tiempo de encendido y apagado de las bombas localizadas en el fondo de las cámaras colectoras de agua cruda; a través de los paneles de control presentados en la Figura 6. Con dichas diferencias de tiempo, se obtenía un promedio para luego multiplicarlo con el caudal de capacidad de la bomba.



Figura 6. Panel de control de bombas.

Este caudal de capacidad de la bomba se obtiene de los manuales de operación que reposan en el proyecto de Saneamiento de la Bahía y Ciudad de Panamá, información proporcionada por Degremont S.A. De este modo se obtuvo el caudal de agua cruda para las estaciones de bombeo de cinta costera (EB-2 y EB-3).

2.4 Análisis de las muestras

La calidad del agua residual, es determinada a través de una serie de análisis de laboratorio y de campo, donde cualitativamente y cuantitativamente se conocen las características físicas, químicas y biológicas que pueden afectar el tipo y grado de tratamiento [9].

Esta investigación tiene como objetivo analizar la calidad de las aguas crudas que llegan a las estaciones de bombeo del Proyecto Saneamiento de la Bahía y Ciudad de Panamá. Dicha calidad se determinará a través de parámetros fisicoquímicos y biológicos, seleccionados previamente.

3. Resultados y análisis

En esta sección se presentan los resultados obtenidos durante el estudio, así como los análisis correspondientes a cada uno de ellos. Estos se presentarán de la siguiente forma: Parámetros físicos, químicos y biológicos por sitio de muestreo; relaciones entre parámetros fisicoquímicos; caudal por sitio de muestreo y parámetros fisicoquímicos en función del caudal.

Parte importante en el análisis de estos resultados se basa en el conocimiento de datos meteorológicos de precipitación y temperatura, por lo que se ha seleccionado una estación meteorológica de acuerdo a las características y área de cobertura de dicha estación para con nuestros sitios seleccionados. Esta estación fue la Estación Meteorológica de Albrook.

En la Tabla 3 se presenta la información de precipitación y temperatura proporcionada por la Autoridad de Aeronáutica Civil (AAC) para el período de muestreo.

Tabla 3. Datos de precipitación y temperatura

Número de muestreo	Fecha de muestreo	Precipitación (mm de lluvia)	Temperatura (°C)
		Albrook	Albrook
1	23/04/2014	0	29,6
2	25/04/2014	1	27,5
3	28/04/2014	0,8	28,7
4	29/04/2014	0	30,4
5	02/05/2014	0,8	28,8
6	05/05/2014	47,4	30
7	07/05/2014	0	28
8	09/05/2014	5,5	29,2
9	10/05/2014	89,7	28,1
10	13/05/2014	1	29,3
11	15/05/2014	6,7	27,8
12	17/05/2014	0	28,9

La clasificación que hace la Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA), para la precipitación según su intensidad de acuerdo a distintos rangos se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 4. Clasificación de la precipitación

Nombre	Desde (mm)	Hasta (mm)
Seco	0.0	0.5
Débil	0.6	3.0
Ligeras	3.1	10.0
Moderadas	10.1	25.0
Fuertes	25.1	75.0
Extremas	75.1	300.0

3.1 Parámetros físicos, químicos y biológicos por sitio

Tal como se indica en la sección 2.1, los sitios a analizar son: Estación de bombeo N.º2 (EB-2), Estación de bombeo N.º3 (EB-3), Vía Brasil, ATLAPA, Matías Hernández (MH) y Túnel Interceptor (TI). Los resultados se presentan en el siguiente orden: pH, temperatura, conductividad, turbidez, DBO5, DQO, SST y CF. Además se presenta el análisis de la eficiencia de remoción tomando en cuenta el coeficiente de

correlación de Pearson. Estos análisis se basan en el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 39-2000.

Para el caso de los parámetros pH, temperatura y conductividad, los valores se medían en campo con un medidor multiparámetro (ph-metro), mientras que la turbidez se medía con un turbidímetro; estos obtenidos inmediatamente después de recolectada la muestra. El resto de los parámetros se obtenían por parte de análisis de laboratorio (ver Tabla 1).

3.1.1 pH

Los valores típicos de pH entre 6.5 y 8.5 evitan la interferencia en los procesos biológicos de aguas residuales [10]. A pesar de que el último día resultó un valor de 8.92 para la EB-2 y valores de 5.9 para ciertos días de muestreo en algunos sitios, la norma establece un rango de límite máximo permisible (L.M.P.) de 5.5 a 9 unidades de pH, cumpliéndose este requisito para todos los días de muestreo en nuestros sitios.

3.1.2 Temperatura

Variaciones de temperatura en valores altos o bajos, pueden producir interferencia en los procesos de tratamiento biológicos [2, 11]. La norma establece una variación de ± 3 °C sobre la temperatura normal del sitio. El menor valor fue de 28.3 °C para MH y EB-3; mientras que el valor más alto lo presentó EB-3 (31.1 °C). En este sentido, a pesar de que la temperatura disminuyó en todos los sitios el segundo día de muestreo, todos los datos estuvieron dentro de este rango.

3.1.3 Conductividad

Algunos de los sitios muestreados sobrepasaron el límite establecido en la norma, el cual es de 2000 $\mu\text{mho/cm}$. El noveno día en que se registró la mayor precipitación según la EM de Albrook (89.7 mm de lluvia), todos los valores de conductividad disminuyeron; siendo 282 $\mu\text{mho/cm}$ el valor más bajo, en el sitio de MH. No obstante, para la EB-3 los valores de conductividad eléctrica pudieron ser más elevados. Sin embargo, el aparato utilizado (ph-metro) solo registra un valor máximo de 3999 $\mu\text{mho/cm}$. Los valores siempre fueron altos en

EB-2 y EB-3 por la posible intrusión de agua de mar, pues ambas estaciones están construidas muy cerca de la Bahía de Panamá.

Desde el punto de vista de la temperatura (ver Tabla 3); el primer, cuarto y sexto día todos los sitios de muestreo registraron valores de conductividad bajos, mientras que la temperatura del agua residual fue de 29 ° a 30 °C en todos los sitios.

3.1.4 Turbidez

Los valores para los cuatro primeros días de muestreo no se tomaron en cuenta por defectos del equipo al momento de obtenida la muestra de agua residual. Podemos destacar que para los días en que se registraron fuertes precipitaciones (sexto y noveno día de muestreo), la turbidez disminuyó en la mayoría de los sitios. Esto indica que hay intrusión de aguas pluviales en el sistema sanitario y evidentemente la lluvia jugó un papel importante en la dilución del agua residual.

El quinto día se registró la mayor turbidez en Túnel Interceptor (160 NTU), hecho que reposa en nuestra cadena de custodia externa para ese día; mientras que el valor más bajo fue de 25.8 NTU en la EB-2. El reglamento técnico DGNTI-COPANIT 39-2000 no establece límites para este parámetro.

3.1.5 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

El primer dato obtenido en la EB-3 fue despreciado, ya que su valor era extremadamente alto y pudo haberse dado a errores en el dato. El menor valor fue de 42.0 mg/l para TI y el mayor de 885 mg/l para EB-3; sin embargo, la norma no presenta valores máximos permisibles para este parámetro.

Comparando los resultados de DBO5 con los datos de precipitación, fue notable que para el tercer y cuarto día de muestreo se registraran las mayores concentraciones de DBO5 y la precipitación fue entre seca y débil (ver Tabla 3 y Tabla 4).

3.1.6 Demanda química de oxígeno (DQO)

Al igual que el parámetro anterior, el primer

dato también fue despreciado. Generalmente al determinar la cantidad de DQO en un agua residual se espera que los resultados sean mayores a los de DBO5 [2]. La norma DGNTI-COPANIT 39-2000 indica que la concentración de DQO debe ser de 1.25 a 2.5 mayor que la DBO5 y todos los resultados estuvieron dentro de este rango. Esta norma también establece un L.M.P. para DQO en 700 mg/l, hecho que se incumplió para el tercer y cuarto día de muestreo en que las concentraciones estuvieron arriba de mil miligramos por litro en todos los sitios y último día de muestreo para la EB-3 (1742 mg/l).

3.1.7 Sólidos suspendidos totales (SST)

Los sólidos suspendidos totales pueden afectar los procesos de control biológico y físico cuando sus valores sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos. Ningún sitio sobrepasó el límite máximo establecido por la norma DGNTI-COPANIT 39-2000 (1500 mg/l), pues la mayor concentración fue de 150 mg/l en Túnel Interceptor; mientras que la menor concentración (5 mg/l) se presentó en MH y TI el noveno día en que hubo una precipitación extrema de 89.7 mm de lluvia según datos registrados por la EM de Albrook (ver Tabla 3).

Las concentraciones de SST disminuyeron para los días en que se presentaron precipitaciones dentro del rango de débiles a fuertes.

3.1.8 Coliformes fecales (CF)

Nuestra norma establece un L.M.P. de 106 NMP/100ml para coliformes fecales. Estos valores sobrepasaron el límite, pues el menor dato fue de 1.0E+4 y el mayor fue de 4.6E+6. Cabe resaltar que el séptimo día (a excepción de TI) y décimo día todos los sitios marcaron la misma concentración de coliformes fecales (2.0E+6).

3.1.9 Eficiencia de remoción

Los datos de eficiencia de remoción fueron proporcionados por Degrémont S.A. sólo para los parámetros DQO y SST mencionados en la Tabla 5. La información de precipitación fue proporcionada por AAC para la estación meteorológica de Albrook.

Tabla 5. Eficiencia de remoción y datos de precipitación

Número de muestreo	Eficiencia de remoción (%)		Precipitación (mm de lluvia)
	DQO	SST	EM Albrook
1	84	91	0
2	81	-	1
3	90	86	0,8
4	89	80	0
5	88	77	0,8
6	91	-	47,4
7	86	-	0
8	88	-	5,5
9	88	92	89,7
10	91	88	1
11	92	90	6,7
12	90	91	0

El porcentaje de eficiencia de remoción fue bastante alto para ambos parámetros durante todo el período de muestreo. De los sitios de muestreo el que presentó mayor concentración de SST fue Túnel Interceptor (TI). Esto se registró el quinto día y la eficiencia de remoción fue más baja.

Tomando en cuenta la precipitación, el mayor porcentaje de remoción de SST se dio el noveno día en que se registró la mayor precipitación (89,7 mm de lluvia) según la EM de Albrook. A pesar de que las mayores concentraciones de DQO se dieron el tercer y cuarto día, el porcentaje de eficiencia de remoción fue bastante alto.

Esta relación de la eficiencia de remoción con la precipitación puede observarse en la Tabla 6 y Tabla 7 a través del coeficiente de correlación de Pearson. El valor obtenido de este coeficiente, es un índice que mide el grado de covariación entre variables que están relacionadas linealmente.

Tabla 6. Coeficiente de correlación de Pearson de DQO vs precipitación

	DQO	EM Albrook
DQO	1	
EM Albrook	0,1455	1

Tabla 7. Coeficiente de correlación de Pearson de SST vs precipitación

	SST	EM Albrook
SST	1	
EM Albrook	0,3877	1

Basándonos en la interpretación literal del coeficiente de correlación de Pearson, el índice varía en el intervalo [0-1] [12]. Podemos decir entonces que tanto para la DQO como los SST la correlación es positiva con la EM Albrook. En este sentido, la influencia de la variación estacional fue notable para ambos parámetros durante todo el período de muestreo.

3.2 Relaciones entre parámetros fisicoquímicos por sitio

En este apartado se analizarán las relaciones tanto de DQO como de SST, ambas en función de DBO5 para cada sitio seleccionado.

Estas relaciones actúan como indicadores en los procesos de tratamiento, pues permiten identificar la capacidad de degradación biológica que tienen las aguas residuales en la planta de tratamiento.

3.2.1 Relación DQO/DBO5

Se establece una relación DQO/DBO5 de 1.25 a 2.5 como límite máximo [2, 4]. En la Figura 7 se demuestra que esta relación se ha mantenido para todos los sitios durante todo el período de muestreo.

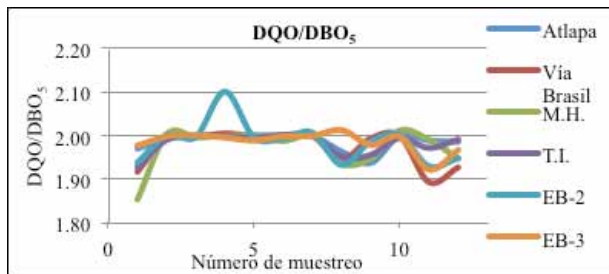


Figura 7. Relación DQO/DBO5.

3.2.2 Relación SST/DBO5

Según la Tabla 8, a mayor o proporción de SST/DBO5 habrá mayor cantidad de materia orgánica necesaria para que las bacterias puedan llevar a cabo su trabajo de manera óptima y poder obtener así una alta eficiencia en los procesos que se realizan para tratar el agua residual.

Tabla 8. Proceso de lodos activados

Clasificación de procesos de lodos activados			
Tipo	F/M proporción (kg DBO ₅ · kg ⁻¹ VS · d ⁻¹)	DBO cargamento kg DBO ₅ · m ³ · d ⁻¹)	Promedio HRT (h)
Carga muy alta	>1.5	>3	1.00
Carga alta	0.5 a 1.5	1.5 a 3	2.40
Carga media	0.25 a 0.5	0.7 a 1.5	4.00
Carga baja	0.1 a 0.25	0.3 a 0.7	8.00
Carga muy baja	<0.1	<0.3	20.00

Fuente: Degrémont S.A.

Dicho esto, podemos decir que la mayor proporción la obtuvo el sitio de Matías Hernández (MH) el cual fue de 0.91 para el primer día de muestreo, entrando en el intervalo de carga alta; mientras que el valor más bajo (0.01) lo presentó el sitio de EB-3 para el mismo día en el rango de carga muy baja.

Sin embargo, existe la coincidencia de que en el tercer día de muestreo en todos los sitios la razón resultante dio una carga muy baja de materia orgánica en cuanto a los lodos activados se refieren. Para el resto de los días de muestreo las relaciones de SST/DBO5 arrojan valores dentro del rango de una carga media.

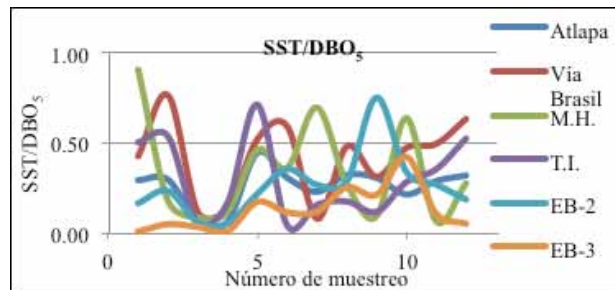


Figura 8. Relación SST/DBO5.

Esta relación permite determinar la cantidad de microorganismos que ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales; por lo que las bacterias tendrán materia orgánica disponible para biodegradar. De ello depende la eficiencia de remoción de los contaminantes de agua residual en los procesos de tratamiento.

3.3 Caudales por sitio

Los registros de caudales para cada sitio son presentados en la Tabla 9. Estos sitios de medición de caudal son los siguientes: Estación de bombeo N.º2, Estación de bombeo N.º3, ATLAPA, Matías Hernández (MH) y Túnel Interceptor (TI). Como se mencionó anteriormente, es fundamental resaltar que en el sitio de Vía Brasil no pudo obtenerse el caudal por razones de seguridad, al presentar éstas condiciones de espacio confinado.

Tabla 9. Registro de caudales para cada sitio

N.º de muestreo	Fecha de Muestreo	Q (m3/h)				
		ATLAPA	MH	TI	EB-2	EB-3
1	23/04/2014	309,02	45,6	81	-	-
2	25/04/2014	77,26	42,6	66,6	-	-
3	28/04/2014	-	40,8	49,8	1443	19
4	29/04/2014	77,26	39	46,8	333	47
5	02/05/2014	231,77	58,2	56,4	167	47
6	05/05/2014	309,02	29,4	77,4	777	-
7	07/05/2014	193,14	35,4	108,6	722	38
8	09/05/2014	579,42	36	132,6	777	28
9	10/05/2014	-	45,6	76,2	2200	-
10	13/05/2014	-	30,6	67,8	389	19
11	15/05/2014	180,26	30,6	64,2	-	66
12	17/05/2014	405,59	-	-	389	95

Los datos faltantes en la tabla 9 corresponden a los días en los que las bombas no se apagaban, para el caso de EB-2 y EB-3, por lo cual no fue posible la toma de valores de los tiempos necesarios para el cálculo de los caudales. En el caso de la Estación de Bombeo de ATLAPA, no se pudieron obtener los valores porque el nivel de agua cruda de la cámara colectora de este sitio no descendía, dificultando la medición de niveles. En cuanto a MH y TI para el último día los datos registrados por el equipo no fueron confiables.

Durante todo el período de muestreo la mayor precipitación fue de 47,4 y 89,7 mm de lluvia según la EM de Albrook. Su influencia fue notable sobre los caudales registrados en todos los sitios de medición durante el período de muestreo; pues cuando los registros de precipitación fueron nulos o casi nulos, los caudales registrados también fueron bajos.

Desde el punto de vista de los caudales de diseño para cada estación de bombeo o colectora, los caudales estuvieron por debajo de los de diseño. En el caso de la EB-2 tiene una capacidad de manejar aproximadamente 1.856 m3/s (6681.6 m3/h) y el mayor registro fue de 2220 m3/h. En cuanto a la EB-3, los registros de caudales estuvieron muy por debajo de los caudales de capacidad del sitio, pues esta estación tiene una capacidad para recibir un caudal de 0.153 m3/s (550.8 m3/h) con una bomba de capacidad de 568.8 m3/h; y el mayor valor de caudal fue de 66 m3/h.

3.4 Parámetros fisicoquímicos en función del caudal

Los parámetros fisicoquímicos (DBO5, DQO y SST) son analizados en función del caudal para cada sitio de muestreo. El objetivo de esto es cuantificar la carga orgánica presente en el agua residual; que se define como la cantidad de contaminación que se genera en un determinado volumen de agua residual durante un día. Esta carga orgánica (CO) se da en el producto de la concentración por el caudal $DBO5 \cdot Q$ (tabla 10); $DQO \cdot Q$ (tabla 11) y $SST \cdot Q$ (tabla 12) en unidades de kg/día tal como se describe a continuación.

3.4.1 Demanda bioquímica de oxígeno en función del caudal

La demanda bioquímica de oxígeno se emplea para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales tratadas y sin tratar, tanto municipales como industriales que son biodegradables.

Tabla 10. Carga orgánica en términos de DBO5

N.º de muestreo	Fecha de Muestreo	CO (kg/día)				
		ATLAPA	MH	TI	EB-2	EB-3
1	23/04/2014	1611	86	392	-	-
2	25/04/2014	276	55	166	-	-
3	28/04/2014	-	699	957	26805	19
4	29/04/2014	1421	683	903	5850	47
5	02/05/2014	1001	198	284	769	47
6	05/05/2014	1112	50	213	2517	-
7	07/05/2014	649	145	331	2324	38
8	09/05/2014	2402	93	325	2461	28
9	10/05/2014	-	56	77	3676	-
10	13/05/2014	-	103	241	1316	19
11	15/05/2014	753	84	268	-	66
12	17/05/2014	1343	-	-	1098	95

Según la Tabla 10, la Estación de bombeo de ATLAPA y la EB-2 fueron los que presentaron mayores valores de carga contaminante. El tercer día de muestreo la EB-2 fue la que registró mayor cantidad de carga contaminante.

3.4.2 Demanda química de oxígeno en función del caudal
La demanda química de oxígeno es utilizada para comprobar la carga orgánica que inhibe la actividad de los microorganismos en las aguas residuales. En este caso, la carga orgánica en términos de DQO fue muy superior en comparación con la DBO5, presentando valores bastante elevados para el sitio de EB-2, como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 11. Carga orgánica en términos de DQO

N.º de muestreo	Fecha de Muestreo	ATLAPA	MH	TI	EB-2	EB-3
CO (kg/día)						
1	23/04/2014	3174	160	754	-	-
2	25/04/2014	551	111	331	-	-
3	28/04/2014	-	1396	1915	53506	752
4	29/04/2014	2841	1366	1805	12283	1642
5	02/05/2014	2002	397	567	1535	281
6	05/05/2014	2225	99	427	5016	-
7	07/05/2014	1298	290	662	4661	357
8	09/05/2014	4717	180	633	4755	284
9	10/05/2014	-	109	150	7299	-
10	13/05/2014	-	207	480	2632	180
11	15/05/2014	1497	166	528	-	439
12	17/05/2014	2667	-	-	2137	3971

3.4.3 Sólidos suspendidos totales en función del caudal
La carga orgánica en términos de SST fue mucho más baja que las anteriores durante todo el período de muestreo, pues las concentraciones de sólidos suspendidos totales siempre fueron menores en comparación con la DBO5 y DQO, tal como lo muestra la Tabla 12.

Estos valores de carga orgánica que llegan hasta la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales tendrán influencia directa en cada uno de los procesos que se dan en el tratamiento de aguas residuales haciéndolos a su vez más óptimos, lo que permite obtener buenos porcentajes de remoción de carga contaminante en el agua residual.

Tabla 12. Carga orgánica en términos de SST

N.º de muestreo	Fecha de Muestreo	ATLAPA	MH	TI	EB-2	EB-3
CO (kg/día)						
1	23/04/2014	475	79	198	-	-
2	25/04/2014	82	10	89	-	-
3	28/04/2014	-	63	52	1662	13
4	29/04/2014	89	84	152	319	11
5	02/05/2014	445	92	203	168	24
6	05/05/2014	341	18	9	895	-
7	07/05/2014	148	102	52	623	21
8	09/05/2014	771	26	57	708	36
9	10/05/2014	-	5	9	2770	-
10	13/05/2014	-	67	68	448	38
11	15/05/2014	216	6	95	-	25
12	17/05/2014	428	-	-	205	109

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

La carga orgánica en términos de SST fue mucho más baja que las anteriores durante todo el período de muestreo, pues las concentraciones de sólidos suspendidos totales siempre fueron menores en comparación con la DBO5 y DQO, tal como lo muestra la Tabla 12.

- Los resultados obtenidos durante el período de muestreo indican que cambios en las precipitaciones causaron alteraciones tanto en las concentraciones de los distintos parámetros fisicoquímicos y biológicos así como variaciones en los caudales del agua residual.
- A pesar de que los límites máximos permisibles que establece la norma DGNTI-COPANIT 39-2000 para parámetros fisicoquímicos como biológicos algunos fueron sobrepasados, la afectación al proceso de tratamiento no es considerable.
- Los valores obtenidos para pH y temperatura estuvieron dentro del rango establecido por las normas para agua residual cruda. Estos parámetros juegan un papel fundamental en la interferencia de los procesos biológicos.
- Tanto la DBO5 como la DQO tuvieron concentraciones muy elevadas durante todo el período de muestreo. Sin embargo, la relación establecida para estos parámetros estuvo dentro del rango establecido por la norma, por lo que

se asegura una buena degradación de la materia orgánica presente.

- A pesar de que no existe un sistema de alcantarillado combinado (pluvial y sanitario) en el Proyecto de Saneamiento de la Bahía y Ciudad de Panamá, para fuertes precipitaciones de agua de lluvia la influencia de ésta es inevitable. El mayor problema es porque se conectan los sistemas de recolección viejos a los nuevos, y estos están colapsados.

4.2 Recomendaciones

- Es necesario el monitoreo constante de parámetros como pH, temperatura, conductividad, entre otros; en todos los puntos de control del Proyecto de Saneamiento de la Ciudad y Bahía de Panamá, pues sólo se realiza para Interceptor Costero. Esto permite la detección temprana de vertidos incontrolados en las redes de saneamiento.

- También es fundamental controlar los caudales en los colectores, pues la evaluación de los cambios producidos es importante para el conocimiento sobre el estado de la red de saneamiento.

- Es importante conocer los caudales bombeados por las distintas estaciones de bombeo, pues se puede realizar un mejor mantenimiento con la detección temprana de daños al sistema, lo que puede disminuir costos energéticos y permite un mejor control de las bombas.

AGRADECIMIENTOS

Primero agradezco a Dios, quien motivó cada día mi espíritu de fe y esperanza para no desmayar en el camino.

A la Doctora Casilda Saavedra de Madrid, pues su esfuerzo y comprensión motivó el desarrollo y finalización de esta investigación.

Y por último, el más sincero agradecimiento a Degrémont S.A. Su apoyo económico, como empresa comprometida con el bienestar social, fue indispensable para el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] N. K. Lac., Panamá, 2014.
- [2] C. Gómez, «Manejo de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades (Tesis de Doctorado),» 2012. [En línea]. Available: www.datateca.unad.edu.co
- [3] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], «Toma de Muestra de Aguas Residuales - Bifenilos Policlorados,» 2013. [En línea]. Available: www.metropol.gov.co.
- [4] Ministerio de Comercio e Industrias [MICI], Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 39-2000 “Agua. Descarga de Efluentes Líquidos Directamente a Sistemas de Recolección de Aguas Residuales”, Panamá: Autor, 2000.
- [5] Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia [CORPOAMAZONIA], Protocolo para Toma de Muestras de Aguas Residuales, 2010.
- [6] C. Severiche, M. Castillo y R. Acevedo, Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas, España: Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso, 2013.
- [7] Suez Environment, Planificación del Muestreo y Análisis, 2013.
- [8] Endress y Hauser, «Manual de instrucciones abreviado Proline Prosonic Flow 93,» 2011. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com>
- [9] A. Guevara, «Métodos de Análisis para la Evaluación de la Calidad del Agua (Tesis de Maestría),» 1996. [En línea]. Available: www.bvsde.ops-oms.org
- [10] M. Espigares y J. Pérez, «Aspectos Sanitarios del Estudio de las Aguas,» 1985. [En línea]. Available: <http://cidta.usal.es>
- [11] J. Ríos, «Depuración de Aguas Residuales/Características de las Aguas Residuales Urbanas,» 2013. [En línea]. Available: www.triplenlace.com.
- [12] [En línea]. Available: www.personal.us.es

INTEGRACIÓN DE LOS ESTILOS DE APRENDIZAJES A LOS SISTEMAS TUTORIALES INTELIGENTES

INTEGRATION OF LEARNING STYLES TO INTELLIGENT TUTORING SYSTEM.

Autores

Primer Autor: Raúl Jiménez, Emir Salazar

Segundo Autor: Ing. Nicholas Bélicz Osorio, Mgtr. Mirna M. Samaniego G., Dr. Euclides Samaniego González y Dr. Nicolás A. Samaniego F.

RESUMEN

La creación del Sistema Tutor Inteligente tuvo como propósito principal que el sistema exhibiera un comportamiento similar al de un tutor humano, quien poseía libertad para actuar y cambiar su forma de interacción basándose en las necesidades de cada uno de los estudiantes, identificando la forma en que el mismo resuelve un problema para brindarle ayuda cuando el estudiante cometía algún tipo de error. En este sistema las interacciones entre el estudiante y docente estuvieron enmarcadas en teorías de aprendizaje y enseñanza aplicable a dicha interacción, no sólo fue importante el conocimiento facilitado por el docente hacia el alumno, sino la forma en que este conocimiento fue presentado, para mejorar el proceso de adquisición y construcción de conocimiento. El sistema tutor construye un perfil del alumno, lo vincula con su estilo de aprendizaje y procede a elegir la técnica de enseñanza que mejor se adapte a su estilo de aprendizaje, permitiendo adaptar el modo de enseñanza a las necesidades del alumno a fin de mejorar su rendimiento a través de cada clase, con la incorporación de los métodos y técnicas de enseñanza más eficaces. Con el desarrollo del sistema tutor inteligente se logró diseñar un sistema adaptable a los conocimientos previos, y a la capacidad de evolución de cada alumno y las concepciones que subyacen en las prácticas de enseñanza. Además de ser lo suficientemente flexible para permitir que cada alumno, de acuerdo a su nivel inicial y a su estilo de aprendizaje pueda elegir su propio método de enseñanza.

PALABRAS CLAVES

Estilos de aprendizaje auditivo, visual y kinestésico; estilo de aprendizaje; interacción, sistema Tutor-Inteligente; teorías de aprendizaje y enseñanza.

Área

Licenciatura en Ingeniería de Sistemas y Computación – GIIICOM
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Universidad Tecnológica de Panamá
Grupo de Investigación en Inteligencia Computacional – GIIICOM
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Universidad Tecnológica de Panamá

ABSTRACT

The creation of Intelligent Tutoring System had as its main purpose the system exhibited a similar behavior of a human tutor, who had freedom to act and change their form of interaction based on the needs of each student, identifying how it solves a problem for additional help when the student committed any error. In this system the interactions between students and teachers were framed in theories of learning and teaching applicable to such interaction was important not only knowledge provided by the teacher to the student, but the way in which this knowledge was introduced to improve the procurement and construction of knowledge. The tutor system builds a profile of the student, it links with learning style and choose the appropriate teaching technique that best suits your learning style, to adapt the teaching mode to the student's needs to improve its performance through each class, with the incorporation of methods and techniques for more effective teaching. With the development of intelligent tutoring system is able to design a customizable system to background evolution and the ability of each student and the conceptions underlying teaching practices. Besides being flexible enough to allow each student, according to its initial level and learning style to choose their own method of teaching.

KEY WORDS

Intelligent Tutoring System, interaction, learning style, theories of learning and teaching, visual, auditory and kinesthetic learning style.

1. Introducción

Este tema de investigación surge motivado por la necesidad de encontrar formas alternativas para la enseñanza, puesto que en Panamá existe una debilidad en el uso de nuevas estrategias didácticas y de tecnologías en el proceso de enseñanza – aprendizaje. Es decir, hay resistencia de varios sectores a utilizar las TIC en el proceso de enseñanza – aprendizaje. Al desarrollar este proyecto se promueve y apoya el uso efectivo de la informática en los procesos formativos, lo cual es parte de las prioridades para desarrollar el sector educativo en ciencia y tecnología en cuanto del fortalecimiento de los recursos humanos, según los señalamientos del PENCYT.

El proyecto de investigación consiste en desarrollar un Sistema Tutor Inteligente basado en el Estilo de Aprendizaje que realice la tarea de tutoría en la que se adaptan diferentes modalidades o estrategias de enseñanza. Lo cual representa una alternativa útil para los estudiantes que requieren un mayor grado de tutoría personalizada o del tipo uno a uno.

El desarrollo de este sistema mostrará al alumno el contenido de una asignatura según su estilo de aprendizaje, recomendará al alumno acerca de cómo debería aprender un contenido determinado y cuáles son las habilidades esperadas, dará seguimiento al alumno para que pueda cumplir los objetivos del tema en tiempo y forma, ejecutará pruebas de diagnósticos para evaluar el rendimiento académico de los alumnos y proveerles de herramientas para mejorar su producción.

1.1 Caracterización general

Las ciencias computacionales y la tecnología, en la actualidad, se han integrado de una manera fuerte en la gran mayoría de nuestras actividades. La información y las comunicaciones se relacionan profundamente con todos los quehaceres del ser humano, dándose a comprender que los elementos que componen nuestra sociedad se encuentran dominados por los medios y la forma en que estos influyen sobre nosotros [1].

El rendimiento y la capacidad de los computadores existentes sobrepasa con creces las computadoras de hace varias décadas, por lo que los estudios teóricos desarrollados durante ese período han podido llevarse a práctica en nuestros días.

Los investigadores y desarrolladores han creado nuevos modelos basados en aquellos sistemas tradicionales, para construir diversos Sistemas Tutoriales Inteligentes más capaces y adaptables a las necesidades actuales, haciendo uso en su mayoría de las facilidades de comunicación y enseñanza a distancia a través de la web [2], facilitando el acceso a la población destino. Asimismo, la creación y fuerte expansión de los teléfonos inteligentes (*Smartphones*) y tablets igualmente ha permitido a las personas integrarse y comunicarse de manera más eficiente con las abundantes facilidades que estos brindan [3], además de la gran cantidad de facilidades básicas de los mismos dispositivos: acceso a la información más reciente desde cualquier parte, comunicación entre distancias remotas, automatización de procesos cotidianos, entre otras.

Es importante resaltar que ligado a todo esto, no sólo es la tecnología la que ha evolucionado, sino también los algoritmos y las metodologías de implementación de Inteligencia Artificial, IA, en dichos sistemas [4]. Es muy impresionante el hecho de que tanto ha sido el grado de avance en el campo de la IA que incluso en el año 2010 la prueba de Turing fue superada satisfactoriamente.

Tomando en cuenta las últimas tendencias globales, se aprecia que los sistemas de enseñanza en ambientes virtuales y entornos vía web están creciendo en número y en capacidad de operación [5].

Estos hacen uso de algoritmos de búsqueda heurística, algoritmos de aprendizaje y algoritmos de lógica difusa en muchas de sus funciones para diversificarse y adaptarse a la considerable diversidad de necesidades de cada uno de sus usuarios [6].

Con este hecho se da a entender que la aplicación de la IA en la Educación constituye un campo fundamental de creciente interés donde se tratan de aplicar las técnicas que esta ofrece para el desarrollo de sistemas de enseñanza asistida por computadora cuyo propósito es construir sistemas de enseñanza inteligentes [7].

Los profesores a la hora de su ejercicio docente pueden hacer uso de una cantidad considerable de recursos tecnológicos para enriquecer su material de enseñanza facilitando el aprendizaje y que el mismo sea asimilado por parte del estudiante [8].

Es normal y frecuente que se empleen recursos como proyectores, imágenes ilustrativas con transición/diapositivas, videos informativos, artículos digitales, sitios *web de blogging* [9], plataformas virtuales, comunicación por redes sociales y muchos otros que pueden ser de ámbito más específico dada la naturaleza del conocimiento que se imparte.

Es indudable que gran cantidad de instituciones educativas y empresas tanto públicas como privadas reconocen que estos recursos brindan una gran ventaja y amplias posibilidades a la hora de impartir cualquier tipo de curso o entrenamiento, sin importar si el motivo es preparar profesionales o capacitar personal para una empresa, todo con la finalidad de ofrecer un mejor nivel de preparación en su institución [10].

Prueba de ello es que, las más grandes universidades de diversos países, han tomado en cuenta las posibilidades que los Sistemas Tutoriales Inteligentes plantearon desde sus inicios y continuando los modelos diseñados en base a los estudios realizados en el área de instrucción asistida por computadora han logrado el desarrollado de academias virtuales, donde permiten instruir a estudiantes en programas de educación a distancia [11], impartiendo cursos de manera predefinida para todos los usuarios registrados en los mismos, regularmente haciendo uso de recursos como

videos, lecturas, preguntas de selección, discusiones en foros, entre otras.

Esta tendencia o modelo educativo se está usando desde hace varias décadas, sin embargo se es consciente que muchos carecen de algún elemento que permita al usuario manejar alguna facilidad con respecto al tipo de material que se le presente en dichos cursos [12].

Lo que lleva a reflexionar que es por eso que en numerosas ocasiones muchos estudiantes no pueden completar dichos cursos, porque el material no se les ofrece en una manera particular que les sea de mejor comprensión [13].

Tomando como referencia lo planteado, existe la posibilidad de resolver esta carencia y adicionarla a los modelos de academia virtuales ya existentes, con vista a influenciar de manera positiva el grado de asimilación de información de los usuarios de la misma.

Por lo cual, se plantea que toda institución que requiera de algún proceso de capacitación o enseñanza puede hacer uso de los sistemas de instrucción asistidos por computadora, para preparar una cantidad muy grande de personas utilizando un número considerablemente menor de recursos físicos, materiales y humanos.

Continuando con las pautas y modelos planteados por las instituciones educativas, se propuso entonces aprovechar la oportunidad para diseñar, desarrollar y evaluar un Sistema Tutor Inteligente con funciones básicas necesarias y prepararlo para su uso en una asignatura específica con el fin de estudiar qué tipo de impactos positivos y negativos tendría en la calidad del mismo, tomando especial interés en los aspectos como la adaptabilidad del Sistema Tutor Inteligente a los usuarios y la capacidad de evaluación.

1.1.1 Fundamentos teóricos

Sistema tutorial inteligente. Un sistema tutorial inteligente se define como un sistema de software que incorpora técnicas de inteligencia artificial con el propósito de representar el conocimiento e interactuar con los estudiantes

* Corresponding author:
nicolas.samaniego@utp.ac.pa

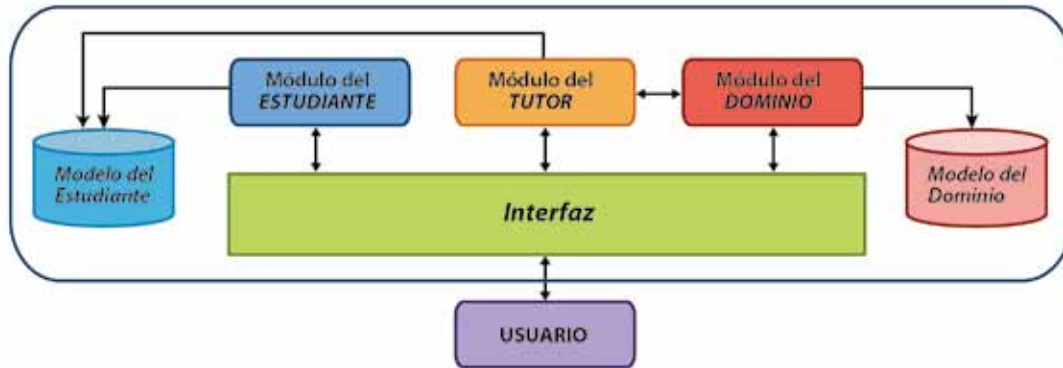


Figura 1. Interacción de los Módulos de un Sistema Tutor inteligente.

para enseñárselo [14] a fin de crear un ambiente que considere los diversos estilos cognitivos de los estudiantes que utilizan el programa [15].

El sistema tutorial inteligente actúa como un tutor personal del estudiante, como entrenador humano posee libertad para actuar de acuerdo a las necesidades más complejas del estudiante.

Es decir, que es un sistema que modela la enseñanza, el aprendizaje, la comunicación y el dominio del conocimiento del especialista y el entendimiento del estudiante sobre ese dominio [16].

En la Figura 1, se presenta la interacción de los módulos de un sistema tutorial inteligente que permite la emulación de un tutor humano permitiendo determinar qué enseñar, cómo enseñar y a quién enseñar a través de un módulo del dominio que es el encargado de administrar el dominio del conocimiento, a su vez el módulo del estudiante construye el perfil del estudiante mediante un sistema basado en reglas que recorre un espacio estados que representa el conocimiento sobre estilos de aprendizaje y conocimiento adquirido por el alumno durante su paso por las sesiones de aprendizaje teóricas y prácticas, un módulo del tutor con el conocimiento generado por el módulo del estudiante se controla la navegación por el tutor, los recursos a los que tiene acceso el alumno y las evaluaciones de los aprendizajes, también actualiza el perfil del alumno y por último la interface con el usuario que permite

la interacción de una manera eficiente del estudiante con el sistema tutorial inteligente.

Por medio de la interacción entre los módulos básicos, el sistema tutorial inteligente es capaz de determinar lo que sabe el estudiante y cómo va en su progreso, por lo que la enseñanza, se puede ajustar según las necesidades del estudiante, sin la presencia de un tutor humano.

Sistema tutorial inteligente basado en la Web.

Haciendo uso de las ventajas que presentan las redes modernas: *Intranet*, redes corporativas o la *Internet*, se pueden realizar tareas de tutelado sin la necesidad de copiar el sistema tutorial inteligente completo en todos los servidores centrales. Esta ventaja incide en el control de la redundancia, puesto que el uso de una arquitectura del tipo Cliente/Servidor es de gran ayuda y útil para distribuir los datos y evaluar más fácilmente los resultados del sistema al tener acceso a cada nodo y su data.

Aprovechando las ventajas de las redes, la arquitectura de un sistema tutorial inteligente soporta el procesamiento distribuido, para utilizar la red de una manera eficiente, ya sea esta la *Internet* o cualquier otra. La provisión de información relevante y el mejoramiento de la experiencia educativa a través de nuevos recursos educativos facilita el proceso cognitivo del estudiante. A esto, se le puede sumar un entorno flexible con acceso a la red desde cualquier punto donde el sistema tutor inteligente se encuentre almacenado. Esto significa no

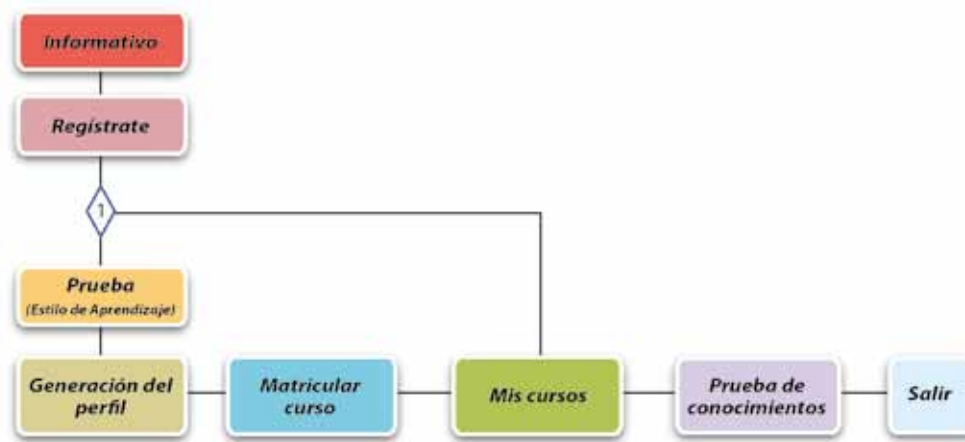


Figura 2: Diagrama de navegación por el sistema tutorial inteligente propuesto.

solo una reducción de costos importantes, en materiales y tiempo principalmente, sino una mejora sustancial en el uso de las plataformas para educación a distancia.

La educación basada en *Web* es cada vez más atractiva para las instituciones académicas. Puesto que se puede centralizar todo el proceso, permitiendo que los estudiantes tomen una asignatura en sus hogares o en cualquier establecimiento habilitado para luego rendir los exámenes, también en línea.

Metodología y arquitectura del sistema tutorial inteligente propuesto. Como antecedentes al empleo de tutores inteligentes se han analizado propuestas como [Millán, 2001], [Sierra, 2004] y [Salgueiro, 2005]. De ellos se estructura la propuesta implantada, detallada en la figura 1, con la adición de un módulo de evaluación del estilo de aprendizaje del alumno, cuyo resultado sirve de guía al módulo tutor y a la interfaz de usuario.

Para este caso la integración de los estilos de aprendizajes con las funciones básicas necesarias para servir como herramienta de apoyo al proceso de enseñanza – aprendizaje se genera un tutor flexible y que se amolda a las particularidades de aprendizaje de cada estudiante, el cual deberá someterse a los cuestionarios iniciales, que no son más que tests prediseñados para determinar el tipo de

aprendizaje que prevalece en el estudiante. Una vez terminado el proceso anterior y teniendo en cuenta la información arrojada por dicha labor, el tutor evalúa un conjunto de reglas en la base de conocimiento para determinar el tipo de estilo de aprendizaje que predomina en el estudiante (auditivo, visual o kinestésico). Con este conocimiento se tiene un primer perfil del alumno, el cual se va actualizando a medida que el mismo navega por el tutor.

La Figura 2 presenta los pasos que al navegar por el sistema tutorial inteligente propuesto todo estudiante debe recorrer.

Sección informativo. Se presenta una pantalla que describe ¿qué es el tutor?, ¿cómo funciona? ¿cómo aprendo?, importancia del tutor y la opción, acerca de, que muestra información sobre los autores del sistema tutor inteligente.

Secciones regístrate para aprender. Permite crear y obtener una cuenta del estudiante para tener acceso al sistema tutor inteligente. El usuario deberá introducir sus datos de cuenta. Una vez se haya creado la cuenta correctamente, se procede a realizar la prueba de estilos de aprendizaje para aproximar su tipo de aprendizaje preferido.

Sección prueba de los estilos de aprendizaje. Consiste en llenar las listas de la prueba de acuerdo a los hechos que correspondan con su

destreza personal. Completado el *test* de estilos de aprendizaje se da enviar. Inmediatamente se muestra el perfil del estudiante.

Sección de generación del perfil. Se construye un perfil del alumno de acuerdo al estilo de aprendizaje predominante del estudiante que se genera cuando se llenan las listas del *test*, considerando los hechos que según el estudiante correspondan con su destreza personal. En este perfil se presentan información personal del estudiante, el tipo de aprendizaje predominante y los puntajes obtenidos en los tres estilos de aprendizaje (Visual, Auditivo y Kinestésico). Esta información será de gran utilidad ya que aquí es donde se procede a elegir la técnica de enseñanza que mejor se adapte al estilo de aprendizaje del estudiante. Por ejemplo, si el estilo de aprendizaje es visual hay preferencia por presentar al estudiante las estrategias que muestren los datos, información y el conocimiento de maneras gráficas y simbólicas. En caso de que sea auditivo hay preferencia por escuchar los datos, información y el conocimiento. Y, finalmente, si es kinestésico la preferencia perceptual relacionada con el uso de la experiencia y la práctica, ya sea real o simulada es la mejor forma para mostrar los datos, información y el conocimiento.

Sección matricular curso. El estudiante matricula un curso y recibe su material de aprendizaje de acuerdo a su estilo de aprendizaje.

Sección mis cursos. Un estudiante puede tomar más de un curso a la vez. El tutor ha sido diseñado para que se pueda alojar más de un curso, siguiendo el mismo formato.

Sección prueba de conocimientos. El usuario realiza una prueba de conocimiento general sobre el tema para evaluar su aprendizaje.

Sección salir. Opción que permite salir del sistema tutor e ingresar posteriormente con las cuentas del estudiante para tener acceso al sistema Tutor Inteligente.

Combinación de técnicas de inteligencia artificial para mejorar la atención diferenciada del estudiante en un Sistema Tutor. En el desarrollo de la investigación sobre la integración de los estilos de aprendizajes a los sistemas

tutoriales inteligentes se presenta la combinación de varias técnicas de inteligencia artificial en la creación de un Sistema Tutor Inteligente como herramienta para el apoyo en el proceso enseñanza – aprendizaje. El lograr que un sistema tutorial inteligente funcione como tal y lo haga de una manera diferenciada a las características de cada estudiante, es un gran reto, ya que en el proceso de enseñanza – aprendizaje intervienen varios factores que son casi imposibles de modelar computacionalmente, como son los estados de ánimo de los estudiante y el grado de concentración de los mismos. Sin embargo en la mayoría de los tutores inteligentes se aboga por una técnica de inteligencia artificial, en este proyecto se combinaron dos de ellas, reglas de producción y redes bayesianas, para explotar cada una de sus cualidades en cada etapa del aprendizaje del estudiante.

Reglas de producción. En el sistema tutor inteligente el estudiante iniciará realizando tests iniciales, que servirán para determinar estilos de aprendizaje. Estos diagnósticos serán estáticos y predefinidos por un experto, ya que se cuenta en la rama pedagógica con un gran número de estos. Los sistemas basados en reglas son los más comúnmente utilizados, debido a su eficiencia y sencillez a la hora de implementar tareas como la de determinar los resultados de un test. Las reglas no son más que una proposición lógica que relaciona dos o más enunciados. Se pueden dividir en premisas y conclusiones. La estructura de una regla es: SI <premisa> ENTONCES <conclusión>.

Estas estructuras serán utilizadas también a la hora de determinar el formato, nivel y complejidad de los diagnósticos de contenido, actividades y exámenes que realizarán los alumnos. Los diagnósticos que se realizarán aunque serán elaborados también con anterioridad por un experto, sólo serán maquetas, pues las preguntas que estos aplicarán serán puestas de forma automáticas por el sistema, así como también cuál de las maquetas se le pondrá a cada alumno.

Para la evaluación de las reglas de producción se tendrá en cuenta la teoría de cálculo de certeza para un mayor desempeño en el tratamiento de la incertidumbre que pueda haber en la

evaluación del experto.

A partir de aquí se creará un perfil del estudiante el cual se irá actualizando de forma constante con las actividades que debe ir cumpliendo posteriormente el tutorado. Las actividades y el examen final tendrán características similares a las de los diagnósticos.

1.2 Objetivo general de la investigación

El objetivo general de la investigación fue implementar un Sistema Tutor Inteligente integrando los estilos de aprendizajes con las funciones básicas necesarias para servir como herramienta de apoyo al proceso de enseñanza – aprendizaje a nivel universitario en la asignatura de Inteligencia Artificial.

Para el desarrollo del mismo, se logró determinar los requerimientos básicos necesarios para las funciones del Sistema Tutor Inteligente; se programó en lenguaje C# el Sistema Tutor Inteligente bajo modalidad de proyecto *web* utilizando la plataforma ASP.NET; se alimentó el Sistema Tutor Inteligente con la información del curso el cual sirvió como herramienta de apoyo para el aprendizaje.

Adicionalmente, se logró medir el grado de obtención de conocimiento de los individuos de la muestra de estudiantes del curso de Inteligencia Artificial que utilizaron el Sistema Tutor Inteligente; se realizó un estudio comparativo de los diferentes grados de obtención de conocimiento en diversas muestras de estudiantes del curso de IA en base al uso y no uso de un Sistema Tutor Inteligente como herramienta de apoyo en el proceso de enseñanza – aprendizaje; se determinó en base a un estudio comparativo realizado si el uso de un Sistema Tutor Inteligente supone una mejora considerable para el grado de conocimiento adquirido en el curso aplicado; se identificaron las posibles dificultades encontradas en el proceso de utilización del Sistema Tutor Inteligente; y finalmente se establecieron algunas propuestas de mejora para el sistema en base a los resultados de los análisis.

1.3 Preguntas de investigación

Las preguntas de investigación que dieron

luz al cumplimiento de los objetivos y que se utilizaron como medida de cuestión a modo de investigación son las siguientes: ¿Cuál es la modalidad actual de enseñanza del curso de IA y cuál es su desempeño?; ¿Qué cambio presenta el rendimiento de los estudiantes al aplicar la modalidad propuesta?; ¿Qué grado de mejora supone el uso del Sistema Tutor Inteligente con respecto a la situación actual? Y ¿Qué problemas u oportunidades se presentarían al implementar el Sistema Tutor Inteligente como apoyo a la metodología actual?

1.4 Justificación de la investigación

En esta investigación se tomó como punto de partida uno de los problemas más característicos en la enseñanza desde hace mucho tiempo, el cual tiene origen en los hábitos de aprendizaje del ser humano: cada persona aprende de manera distinta.

Si analizamos el modo de tutoría personal, se puede decir que un docente correctamente capacitado puede adaptar su contenido académico a dicho estudiante de manera precisa a medida que este aprende de los hábitos de aprendizaje del mismo [17]. Sin embargo, este hecho no ocurre tan fácilmente en un aula de clases en donde el número de estudiantes impide al docente poder aproximar su metodología a cada uno de manera personalizada en un lapso corto, obligando al docente a apegarse a su metodología de manera fija, haciendo leves variaciones o desviaciones de vez en cuando, en el momento que surja alguna dificultad. Sin lugar a duda que, esta condición es encontrada en muchos de los paradigmas actuales de la educación que dificulta en gran medida a un porcentaje de los estudiantes apropiarse de diversos conocimientos, la cual está presente cuando la metodología del docente no es la más apropiada para ellos y se ve a diario en las aulas de clases de todo el mundo y no se puede atribuir a una falta ni al docente ni al estudiante, dado que hay un número infinito de variables de por medio que afectan este proceso.

Considerando esta situación, lo que se buscó en la investigación fue crear un Sistema Tutor Inteligente con la finalidad de afrontar un problema de este tipo de manera que

el conocimiento pudiera adaptarse a cada estudiante de manera personalizada, siendo así un apoyo para el docente en el proceso de enseñanza. Es importante que se aclare que, esta acción no cambiaría en nada el sentido de lo que se enseñe a unos y a otros, sino que se pueda aproximar la misma información desde diferentes perspectivas, permitiendo que se pueda generalizar el conocimiento y que a su vez se pueda personalizar el modo en que este se imparte.

1.5 Viabilidad de la investigación

Para facilitar el estudio se dividió el proyecto en tres fases, (1) la creación del Sistema Tutor Inteligente, (2) la prueba e investigación del Sistema Tutor Inteligente y (3) la documentación de resultados. Con esta acción se logró enmarcar las fases para la realización de todo el proyecto según lo establecido en el cronograma de trabajo y considerando como base el alcance, tiempo y costo. En relación a la viabilidad de la etapa de creación del Sistema Tutor Inteligente, se consideró en cuanto al alcance que la tarea de crear un Sistema Tutor Inteligente se delimita a dotar al mismo de funcionalidades básicas de las herramientas de su naturaleza con la finalidad de poder recolectar información pertinente a la investigación, respondiendo a las preguntas de la misma. Adicional a esto, se ha pactado como norma para estudio el utilizar la asignatura de Inteligencia Artificial.

En cuanto al factor tiempo se indicó que el tiempo necesario para crear el Sistema Tutor Inteligente es uno de los factores más críticos del proyecto.

Con vista a mantenerlo dentro de parámetros convenientes, se ha de desarrollar bajo modalidad web para facilitar su manejo y disposición para las pruebas. Y en relación al costo, se planteó que el costo de realización del Sistema Tutor Inteligente se estimó relativamente bajo en términos de diseño y desarrollo del mismo, sin embargo presentó una leve dificultad adicional al implementarlo en un servidor web con miras hacia las pruebas para investigación.

En relación a la viabilidad de la etapa de prueba e investigación del Sistema Tutor Inteligente, se

consideró en cuanto al alcance que las pruebas para la investigación se han delimitado a una muestra de estudiantes específica que pertenece a la asignatura de Inteligencia Artificial. Se ha de utilizar además un grupo de control que servirá para determinar las diferencias entre las metodologías de enseñanza que puedan encontrarse en el trayecto.

En cuanto al factor tiempo se indicó que el tiempo de prueba del Sistema Tutor Inteligente se ha delimitado a un mes para no intervenir de manera tan marcada en el currículo convencional del docente que imparte el curso. Esto puede someterse a cambios en base a los imprevistos que puedan ocurrir en el proceso de prueba de la herramienta (errores, oportunidades, entre otros). Y en relación al costo, se planteó que el costo de prueba de la herramienta puede ser uno de los más notables del proyecto, por el hecho de que se utilizara un servidor *web* virtual con pago mensual. No es tan elevado, pero si es un factor influyente del proyecto.

En relación a la viabilidad de la etapa de documentación de resultados, se consideró en cuanto al alcance que la documentación de las pruebas y resultados se delimitó a lo referente a la reacción de informes, artículos técnicos y videos instructivos referentes al Sistema Tutor Inteligente.

En cuanto al factor tiempo se indicó que la información de los resultados obtenidos se puede recopilar y redactar en un periodo corto, tomando como rango máximo un periodo de un mes. Y en relación al costo, se planteó que el costo de la documentación es relativamente escaso. La redacción, captura del video y edición será realizada por los integrantes de la investigación.

1.6 Hipótesis

Las hipótesis de la investigación son los hechos que se toman como suposición o idea principal a comprobar para resolver las preguntas de investigación propuestas. Las hipótesis que se comprobaron fueron las siguientes:

- El desempeño académico de los estudiantes que no usan el Sistema Tutor Inteligente supone entre un 80 % y un 90 % del

grado de valoración total del curso.

- La implementación del Sistema Tutor Inteligente mantendrá o mejorará el desempeño académico de los estudiantes en al menos 5 %.
- El uso del Sistema Tutor Inteligente como herramienta de apoyo ofrecerá más oportunidades que amenazas.

2. Metodología

El cómo se desarrolló la parte investigativa del trabajo se describe en esta sección, donde se desglosan las actividades realizadas para ejecutar la investigación.

Ésta se descompone en los siguientes elementos: área de estudio, tipo de investigación, alcance, población y muestra, instrumentos y recolección de datos.

Esta información es de suma importancia para establecer: ¿qué se desea estudiar?, ¿dónde se estudiará?, ¿con qué se va a estudiar? y ¿cuáles son los resultados del estudio?

2.1 Área de estudio

El área de estudio de la investigación abarcó parte en tecnología y en educación, relacionando temas básicos de ambos como lo son los métodos de enseñanza, las interfaces de interacción usuario – máquina, el aprendizaje de máquina, los Sistemas de Tutoría Inteligente, el aprendizaje asistido por computadora y el tipos de aprendizaje.

Puesto que se buscaba evaluar el impacto que tenía la integración de los estilos de aprendizajes a los sistemas tutoriales inteligentes.

2.2 Tipo de investigación

La investigación es de tipo mixta exploratoria. Se eligió este tipo de investigación dado que se deseaba realizar medición de algunas variables en el sistema, pero no siguiendo los patrones rígidos de la metodología cuantitativa en su totalidad.

Por ello, hemos elegido mantener un poco la subjetividad en la parte investigativa del trabajo. Con respecto a la parte exploratoria, no se han realizado investigaciones de ámbito igual o semejante a esta en el sitio donde reside la

población de estudio, por lo que la información obtenida del mismo es relativamente nueva o poco vista. Por este motivo, al partir con pocas referencias del área a estudiar hemos concluido que el tipo de investigación es de naturaleza exploratoria.

2.3 Alcance

La investigación se planificó para realizarse en un grupo fijo de usuarios en su etapa investigativa. Los costos de desarrollo fueron cubiertos y el tiempo de desarrollo se limitó hasta finales del año 2013.

2.4 Población de muestra

La muestra de la investigación consistió en un grupo de cuarenta (40) estudiantes del curso de Inteligencia Artificial de la carrera de Licenciatura en Ingeniería de Sistemas y Computación, en la Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales de la Universidad Tecnológica de Panamá, de los cuales veinte (20) pertenecían a un grupo de control y los otros veinte (20) pertenecían al grupo experimental, es decir al grupo prueba de la herramienta.

2.5 Instrumentos

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron varios instrumentos, el primero de ellos consistió en una encuesta que se realizó entre los estudiantes, para conocer su grado de aceptación y entusiasmo con respecto a una plataforma de tutoría inteligente como apoyo a su proceso de aprendizaje regular. El segundo instrumento que se empleó en el desarrollo de este trabajo investigativo fue precisamente el Sistema de Tutoría Inteligente alrededor del cual gira toda investigación. Posterior al desarrollo del mismo, fue necesario realizar pruebas con un grupo de estudiantes, para medir el desempeño del mismo y comprobar si resulta útil y facilita de alguna manera el aprendizaje.

2.6 Recolección de datos

Antes de presentar los datos recolectados a través de los instrumentos utilizados se ha de señalar que para la primera parte en la que se aplicó la encuesta se utilizó una población total de cuarenta (40) estudiantes los cuales contestaron en su totalidad. Para la segunda parte del estudio la población se dividió en dos

grupos, el primero tenía la función de servir como control y consistía en veinte (20) alumnos los cuales no utilizaron en ningún momento el sistema tutor, mientras que el segundo grupo de veinte (20) alumnos sí se apoyó en el uso del tutor para afianzar el material aprendido.

3. Resultados y discusión

3.1 Factibilidad y aceptación del uso de un STI

En primer lugar se presentan los datos obtenidos a partir del primer instrumento, el cual estaba basado en una encuesta dirigida a los estudiantes del curso de Inteligencia Artificial. Para este fin, se emplearon gráficas en las cuales se muestra las cantidades y porcentajes de las respuestas que se dieron a cada una de las preguntas. Para la primera pregunta de la encuesta, que se refiere al grado de asimilación del contenido que los estudiantes tienen con el método actual de enseñanza basado en clases dictadas por el profesor, donde la calificación de uno (1) representa un grado mínimo de asimilación y la calificación diez (10) el grado máximo. En el gráfico 1, se observa que el grado de asimilación de los estudiantes se concentra en los grados del 7 al 9, lo cual se considerado satisfactorio.



Figura 3. Gráfico del grado de asimilación de conocimiento de los estudiantes.

La segunda pregunta tenía como objetivo investigar ¿qué porcentaje de aceptación tiene la aplicación de un Sistema Tutor Inteligente, STI, entre los estudiantes? En la Figura 2, se muestran los resultados que demostraron un 77 % de aceptación por parte de los estudiantes.

GRADO DE ACEPTACIÓN DEL STI

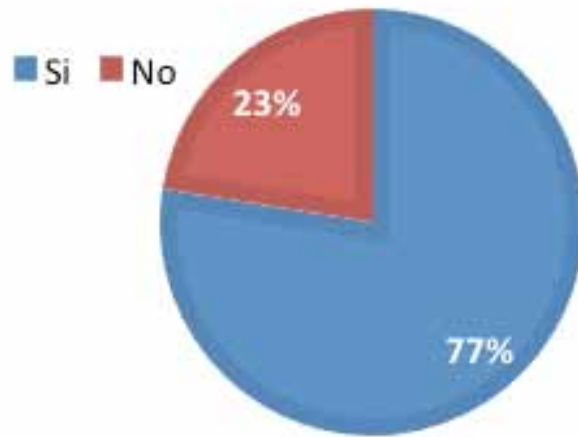


Figura 4. Gráfico del grado de aceptación del STI.

Con la tercera pregunta de la encuesta se pretendía averiguar el porcentaje de estudiantes que tienen acceso a computadoras con internet en sus hogares. En la Figura 3, se muestran los resultados que demostraron un 87 % de acceso a internet por parte de los estudiantes.

Grado de acceso a Internet

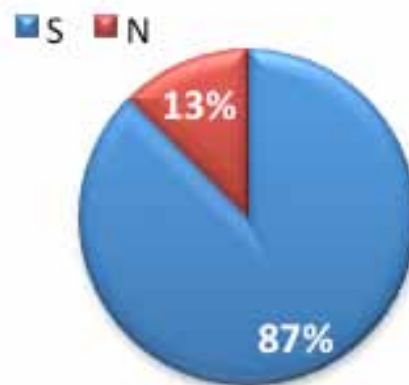


Figura 5. Gráfico del grado de acceso a Internet.

La última pregunta de la encuesta se refería a si los estudiantes tienen confianza en el uso de un Sistema Tutor Inteligente que despliegue contenidos de manera personalizada. En Figura 4, se exponen los resultados que demostraron un 72 % de los estudiantes tienen confianza en el uso del tutor.

Grado de confianza en el tutor

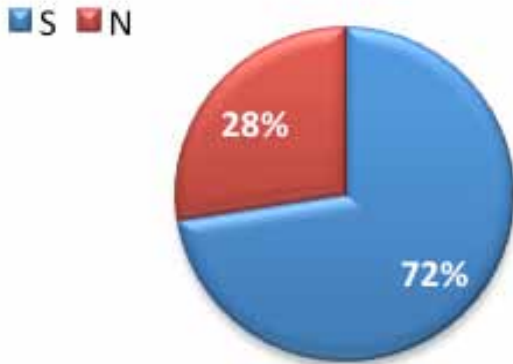


Figura 6. Gráfico del grado de confianza del tutor.

3.2 Empleo del Sistema Tutor Inteligente

El segundo instrumento utilizado en esta investigación es la aplicación del tutor mismo a un grupo experimental, para comparar su desempeño con un grupo control que no utilizó el tutor. Los resultados presentados se obtuvieron de las calificaciones de pruebas realizadas en ambos grupos en un tema en específico que pertenece al plan semestral, ver Tabla 1.

Una vez recolectados los datos experimentales de esta investigación se procedió a analizar los mismos, para determinar si las hipótesis propuestas resultan verdaderas o falsas.

La primera parte del estudio, que consiste en una encuesta, se centra en estudiar la factibilidad de la implementación de un Sistema Tutor Inteligente tomando en cuenta variables como el grado de asimilación que existe al recibir clases con el método tradicional, la disposición de los estudiantes a aceptar una plataforma de estudios diferente y la forma de acceso a la misma.

Para la primera pregunta de la encuesta: “¿una escala del 1 al 10 siendo el 1 la calificación mínima y 10 la calificación máxima, cuál cree que es su grado de asimilación y aprendizaje del material de Inteligencia Artificial que usted aprende con la modalidad actual de enseñanza basada en clases presenciales impartidas por el profesor?”, se observa que la mayoría de los estudiantes califica su grado de asimilación con calificaciones entre 7 y 9 siendo un 20 % de la totalidad de estudiantes los que califican con

Tabla 1. Comparación de resultados obtenidos en las muestras

Comparación de las muestras		
Estudiante	Calificación	
	Grupo Control	Grupo Experimental
1	78	87
2	56	84
3	89	100
4	76	95
5	45	93
6	67	86
7	87	86
8	67	83
9	78	100
10	64	78
11	98	87
12	56	94
13	78	84
14	87	88
15	67	84
16	56	89
17	78	92
18	87	82
19	83	83
20	85	81

7 su aprendizaje, 25 % calificaron con 8, 20 % con 9 y solo el 10 % de los estudiantes considera que puede asimilar el contenido perfectamente con las clases de la manera en que se imparten actualmente mientras que el otro 25 % calificó de malo o nulo su aprendizaje del material.

De estos datos se puede inferir que un cuarto de la población encuestada duda de lo que puede aprender en un salón de clases escuchando al profesor o es incapaz de entender lo que se le explica. Esta cantidad aún es demasiado grande y supone una deficiencia en el proceso de enseñanza – aprendizaje que puede ser mejorada si se aplican nuevas herramientas y métodos de apoyo.

En la segunda pregunta, “¿consideraría usted el uso de un Sistema Tutor Inteligente como apoyo al proceso de aprendizaje del contenido de sus materias?” El objetivo fue determinar si los estudiantes estaban dispuestos a aceptar una nueva herramienta como método de apoyo a su proceso de aprendizaje. La respuesta a esta pregunta se dividió en 77 % de los estudiantes a favor y 23 % en contra. Esto quiere decir que una plataforma de aprendizaje de tipo Sistema Tutor Inteligente es una idea bastante

aceptada y bienvenida dentro de la población de estudiantes.

La tercera pregunta de la encuesta realizada tiene el propósito de averiguar si los estudiantes poseen acceso a internet desde sus hogares: “¿Tiene usted acceso a una computadora con internet en su hogar?”.

La importancia de esta parte del estudio radica en medir el grado de acceso a la plataforma que tendrían los estudiantes desde sus casas, esto es esencial para que el sistema funcione correctamente y el mismo pueda servir como apoyo a la labor del docente. Los resultados arrojados indican que el 87 % de los estudiantes cuenta con acceso a internet, mientras que el otro 13 % no posee internet en sus hogares. Esto quiere decir que implementar el Sistema Tutor Inteligente es factible desde este punto de vista. Aunque el porcentaje de estudiantes sin internet es relativamente pequeño es de vital importancia encontrar formas de proveer acceso a la plataforma a estos usuarios ya que de esto depende el éxito de la implementación de este sistema.

Para la cuarta y última pregunta de la encuesta: “¿Considera usted que si se le presenta el contenido de las materias que usted cursa de manera más personalizada podría entender mejor los temas y desempeñarse mejor en las pruebas?”, se buscaba averiguar si los estudiantes consideraban que recibir el material de forma diferente y personalizada les ayudaría a entenderlo mejor, este es el objetivo principal del Sistema Tutor Inteligente que fue creado.

Se encontró que 72 % de los estudiantes encuestados consideran que un enfoque diferente en la manera en la que se presenta el contenido mejoraría el grado de comprensión de los temas en clase e influiría positivamente en su desempeño en las pruebas. Este dato es importante, ya que la confianza en un sistema nuevo es un factor crucial para el debido uso del mismo, en la medida en la que se presente confianza en una nueva herramienta el entusiasmo por la misma crecerá y el proceso de inducción de la misma será más fácil.

La segunda parte de nuestro estudio se basa en un análisis comparativo del desempeño de los estudiantes con respecto al uso del tutor. Se tomaron dos grupos para el experimento, el primero de ellos sirvió como control y recibió clases dictadas por el profesor como tradicionalmente se ha hecho, el segundo grupo utilizó el tutor para reforzar el material aprendido. Para la prueba se tomó un tema del plan semestral de la materia de Inteligencia Artificial sobre el cual se realizarían las pruebas de aprendizaje.

3.2.1 Muestra de control (Grupo Control – Sin el uso del Sistema Tutor Inteligente)

Para el grupo de control los datos obtenidos con respecto a las notas de los estudiantes en base al estudio de desempeño se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores estadísticos de tendencia central sin STI

Media	74.1
Mediana	77
Moda	78
Mayor	98
Menor	45

3.2.2 Muestra de investigación (Grupo Experimental – Con el uso del Sistema Tutor Inteligente)

Para el grupo muestra que interactuó con el tutor los resultados del estudio de desempeño se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores estadísticos de tendencia central con STI

Media	87.8
Mediana	86
Moda	84
Mayor	100
Menor	78

3.3 Estudio comparativo de resultados

Al observar las estadísticas de los resultados de ambos grupos se puede notar una clara diferencia en el desempeño de ambos con respecto al uso del tutor o no.

En el caso del grupo de control se puede observar que el desempeño de los estudiantes se mantuvo en una media de 74.1 como calificación obtenida. La media es de 78, la calificación más obtenida por el grupo. La diferencia entre la mayor y la menor puntuación obtenida es de 53 puntos. Con estos datos podemos inferir que el desempeño de los estudiantes del grupo es bastante desigual, el mayor indicador de esto es la gran diferencia que existe entre la menor y la mayor calificación.

Para el grupo experimental se obtuvieron resultados que muestran cierta mejoría en el desempeño con respecto a la prueba. La media de las calificaciones obtenidas es 87.8, la calificación que más obtenida fue 84 y la diferencia entre la menor calificación obtenida es de 22 puntos. Estos datos indican una mayor uniformidad en el aprendizaje.

Comparando los resultados obtenidos en ambos grupos es destacable la mejoría que existe al implementar el Sistema Tutor Inteligente como herramienta de apoyo al proceso de enseñanza. La diferencia entre las calificaciones obtenidas por el grupo de prueba y el grupo de control es de 13.7, esta puntuación puede significar el que un estudiante apruebe o fracase una materia. Por otro lado, al utilizar el tutor la diferencia entre la menor y la mayor nota obtenida se hizo más pequeña.

Es importante destacar que con el uso del tutor se logra una mayor uniformidad en lo que se refiere a la asimilación del material y el aprendizaje de los estudiantes para su posterior desempeño en las pruebas.

3.4 Comprobación de hipótesis

Posterior al análisis de resultados es importante repasar las hipótesis establecidas en nuestra investigación para comprobar su validez. La primera hipótesis planteada en nuestro estudio es: “El desempeño académico de los estudiantes

que no usan el STI supone entre un 80 % y un 90 % del grado de valoración total del curso”. Al observar los datos obtenidos en el estudio comparativo del grupo de control versus el grupo experimental es claramente observable que este planteamiento resulta falso debido a que los datos estadísticos muestran que la media de las calificaciones obtenidas por el grupo no se encuentra entre el 80 % y el 90 % de la valoración del curso siendo la media de las calificaciones obtenidas por el grupo es de 74.1 a pesar de que algunos estudiantes obtuvieron calificaciones mayores al rango propuesto.

La segunda hipótesis del trabajo de investigación enuncia que “La implementación del STI mantendrá o mejorará el desempeño académico de los estudiantes en al menos 5 %”. Esta proposición se comprueba correcta debido al consistente grado de mejoría presentado por el grupo experimental que utilizó el tutor como apoyo en sus estudios. En este caso podemos ver que la diferencia entre la media de las calificaciones de ambos grupos es de 13.7 puntos. Dado que las evaluaciones de los cursos se realizan en base a 100 puntos se puede decir que esto se traduce directamente en un 13.7 % de aumento en el desempeño con respecto a la calificación base.

La última hipótesis plantea lo siguiente: “El uso del STI como herramienta de apoyo ofrecerá más oportunidades que amenazas”. Al finalizar la primera parte de la investigación y teniendo los datos de la encuesta podemos afirmar que esta hipótesis es correcta. Los datos referentes al nivel de aceptación de la implementación de un Sistema Tutor Inteligente como herramienta de apoyo así como el nivel de confianza que tiene los estudiantes en la misma demuestran que es una idea ampliamente aceptada. El nivel de acceso a internet por parte del estudiantado es bastante alto, lo que facilita la implementación del sistema.

Si comparamos el grado de asimilación que los estudiantes respondieron tener con respecto al método de enseñanza tradicional con los resultados obtenidos por parte del grupo de control se observa que cierta discrepancia, sin embargo es notable que aunque existe un buen

desempeño por parte de los estudiantes que afirmaron asimilar bien el material, al observar las calificaciones individuales también existe una correspondencia en el número de estudiantes que afirmaron no entender del todo el material tratado en clase.

Es notable que el uso del STI mejorará el desempeño de los sujetos en las pruebas realizadas, esto es un indicador de que la herramienta funciona y de que representa grandes oportunidades con respecto a la mejoría del proceso de enseñanza y aprendizaje.

3.5 Resultados de investigación

Como resultados de esta investigación encontramos que el desempeño de los estudiantes de un grupo determinado siguiendo el método de enseñanza tradicional resulta desigual, esto debido al hecho de que no todos pueden aprender de la misma manera. Al ver los resultados de los estudiantes que utilizaron el tutor se puede notar un nivel más elevado de desempeño así como un mayor balance entre las calificaciones obtenidas.

4. Consideraciones finales

De los resultados obtenidos al integrar los Estilos de Aprendizajes a los Sistemas Tutoriales Inteligentes se presentan los siguientes hechos de importancia relevante como información obtenida del análisis del trabajo.

En lo referente al concepto de Sistema Tutor Inteligente se indica que el desarrollo de un Sistema Tutor Inteligente involucra un estudio integral del material necesario para la tutoría a impartir, pero además, es sumamente necesario apoyarse en los estudios de metodologías de enseñanza y de métodos de evaluación, técnicas de programación de inteligencia artificial y procedimientos estructurados de desarrollo de software. Se llega a esta afirmación por el hecho de que al inicio del trabajo se pensaba que el desarrollo de una herramienta de este tipo consistiría en patrones estrictamente fijados en los procedimientos estructurales de la ingeniería de software, pero al avanzar, se percató de que es sumamente necesario apoyarse de las ciencias educativas como lo son la psicopedagogía y la psicología cognitiva. Esto se hace presente en

la necesidad de comprender como aprenden las personas, para entonces poder hacer uso de las herramientas, lenguajes y algoritmos apropiados, para poder crear un entorno de enseñanza apropiado. Si bien es cierto que no se hizo uso de mucho material en este campo, se ve como una fuente de posibles mejoras potenciales sustanciosas para una herramienta de esta naturaleza.

Un Sistema Tutor Inteligente debe ser capaz de manejar tanto datos como conocimiento de manera muy especial para cada caso [18]. Para el caso de este proyecto, se puede observar que el Sistema Tutor Inteligente está embebido dentro de una plataforma de manejo de contenido de aprendizaje, muy similar al de tipo moodle, aunque mucho más limitado. El manejo de datos se ha destinado completamente a una base de datos relacional, lo que limita el alcance que pueda dársele a un modelo de uso de conocimiento. Conscientes de que este sistema carece de ciertas facilidades para el manejo de conocimiento [19], al combinar de manera adecuada el modelo de base de datos relacional junto a una plataforma de integración con Blogs puede simularse fácilmente la elección del tipo de aprendizaje para el contenido.

Uniendo ambas tecnologías se crea una herramienta mucho más poderosa que puede abarcar contenido mucho más amplio dentro de varios campos del conocimiento. Son muchas las oportunidades que ofrece una plataforma sobre la cual se puedan implementar métodos personalizados de enseñanza para varios módulos suponen un apoyo poderoso a cualquier institución con necesidades de tutoría masiva [20]. Evidentemente, una herramienta completa con todas las facilidades y con el enfoque adecuado a su contexto, puede habilitar poderosos módulos de enseñanza para casi cualquier tipo de institución educativa o con necesidad de tutoría de algún tipo.

Las grandes universidades del mundo han iniciado su programa para ofrecer conocimiento mediante diversos sistemas de tutoría [21], algunos conteniendo el aspecto de la inteligencia y capacidad de respuesta, pero esto no significa que no pueda aplicarse este tipo de sistemas

a instituciones de nivel media, bajo ciertos parámetros de regulación. En la actualidad, la tecnología ofrece cada vez más facilidades, por lo que el potencial de expansión y cobertura de la misma crece con rapidez.

Al aceptar el reto de realizar una implementación de este tipo es necesario hacer cambios más puntuales en la metodología de enseñanza que involucren la estructura de la institución, llevándola a enfocarse en un sistema en el que el profesor trabaje en conjunto con el sistema, para llevar el conocimiento de manera eficaz al alumno.

De cierto modo, al llevar a cabo la labor investigativa se trató de considerar algunos puntos de suma importancia para diseñar el Sistema Tutor Inteligente, se percató de que hay muchos factores o posibilidades de mejora potencial que se escapan de las manos por tratar de integrar una herramienta al modelo educativo ya existente. Verbigracia, la universidad ya utiliza un sistema moodle en el cual los docentes preparan su material de curso, para que los estudiantes puedan acceder de manera fácil y organizada a los mismos, sin embargo en la práctica real, se presentan casos en los que los docentes no utilizan dicho recurso, en ocasiones porque va en contra de su metodología de enseñanza, por atribuirle poca importancia, falta de costumbre o limitaciones de la naturaleza del conocimiento.

Ya se presentaron algunos hechos de importancia relevante como información obtenida del análisis del trabajo en lo referente al concepto de Sistema Tutor Inteligente. Ahora, se verán los aspectos en lo referente a los datos obtenidos. El estudiante está dispuesto a aceptar nuevas tecnologías y herramientas que los ayuden a aprender más y a desempeñarse mejor en sus estudios y pruebas.

Considerando que a pesar de ser una muestra muy pequeña como para considerarse una opinión generalizada, muchos de los estudiantes presentaron interés y cuestionaron con curiosidad el propósito e inclusive el funcionamiento de la herramienta. Estos aportes dan un buen panorama, aunque por supuesto

si se desea llevar a cabo una implementación a nivel de facultad, la encuesta debe haberse enfocado en ese mismo nivel.

Se tiene la ventaja que el acceso a internet no es un problema, por lo que se puede llevar el uso de la plataforma a los hogares de los alumnos, para complementar lo aprendido durante el horario de clases. Lo que a futuro se podrían implementar diseños para acceder al sistema con otros dispositivos y plataformas, como teléfonos celulares y tabletas. Otra de las ventajas del diseño web es que al ser una plataforma universal puede fácilmente integrarse por medio de la alta adaptabilidad de la misma en una gran cantidad de dispositivos, teniendo como requisito principal el acceso a internet. Se reafirma el hecho de que la cantidad de estudiantes encuestados no es para nada la indicada para la encuesta en cuestión, sino en asuntos internos del uso del tutor fuera de la universidad.

La facilidad con la que cuenta la universidad de brindar acceso a internet a sus estudiantes beneficia enormemente a la posibilidad de integración del Sistema Tutor Inteligente al mismo. Ahora bien, en el uso del Sistema Tutor Inteligente las pruebas de desempeño registraron una mejoría en la asimilación del material y una normalización en las notas obtenidas. Esto demuestra el éxito de la aplicación y su utilidad real al optimizar el proceso de enseñanza – aprendizaje.

En lo referente a los resultados obtenidos en el uso de la aplicación que integra los Estilos de Aprendizajes a los Sistemas Tutoriales Inteligentes, se ha registrado una mejoría en el nivel de desempeño académico del grupo de prueba a pesar de las leves estimaciones realizadas. Resultó interesante el hecho de que, a pesar de que la herramienta ha facilitado en alguna manera una mejora de su nivel académico, hay muchos factores a tomar en cuenta para dar una conclusión definitiva. Finalmente, es necesario mencionar que la implementación de cualquier tecnología nueva dentro de un campo tan delicado como la educación requiere más estudios profundos, la realización de este trabajo es el primer paso hacia la posible renovación y

mejoramiento de la enseñanza en nuestro país. Se hace necesario el debido entrenamiento y acondicionamiento del personal docente de las instituciones, para que logren ver este tipo de herramientas como apoyos y no como amenazas y lograr trabajar en pro del verdadero objetivo final que es la educación y capacitación de futuro recurso humano y de emprendedores.

Adicionalmente, se requiere una infraestructura que permita la implementación de las tecnologías nuevas y que facilite el acceso a los alumnos, programas que permitan llevar los recursos a estudiantes que tengan dificultades para llegar a ellos.

Cada uno de estos puntos puede y debe ser objeto de investigaciones futuras que ayudarán a expandir el impacto de este proyecto, puesto que la tecnología es una herramienta muy poderosa, pero su verdadero impacto y utilidad depende de la integración que se pueda llegar a tener con la misma de manera que responda a las necesidades actuales y que resultan de gran ayuda al sistema educativo.

Las recomendaciones al proyecto que se presentan están fundamentadas en base a los datos logrados para su desarrollo, los resultados obtenidos y las expectativas futuras del mismo si se desea continuar con el desarrollo del Sistema Tutor Inteligente (a) implementar un módulo que permita al sistema aprender acerca de las necesidades del estudiante – usuario en base a los resultados obtenidos en las diferentes pruebas y evaluar si se requiere un replanteamiento de la manera en la que se despliega el contenido para éste, (b) adaptar la plataforma a dispositivos móviles, esto permitirá cubrir un mayor espectro de usuarios así como garantizar de manera más fiable que la aplicación se pueda utilizar en cualquier lugar. Beneficiando el auge de los teléfonos inteligentes y las tablets se puede alcanzar un mayor número de estudiantes y mejorar la aceptación de la plataforma, (c) inculcar el uso de estas tecnologías no sólo a los estudiantes, también a los docentes.

Un Sistema Tutor Inteligente no son un reemplazo al docente, por el contrario son una herramienta de apoyo que puede mejorar la

labor de enseñanza, (d) implementar un módulo de evaluación del contenido aprendido de manera automatizada, de tal forma que el tutor será capaz de dar seguimiento al conocimiento que el estudiante ha obtenido de manera automática y de esta manera podrá reforzar aquellos campos donde se encuentre alguna deficiencia, (e) ampliar los estilos de aprendizaje de los estudiantes como punto de partida para reflexionar sobre el proceso de enseñanza, y (f) ampliar el desarrollo del Sistema Tutor Inteligente a estudiantes con discapacidades.

REFERENCIAS

- [1] Dipaolo, r.E., Graesser, a.C., Hacker, D.J., White, H.A., y TRG (Tutoring Research Group) (2002). Hints in human and computer tutoring. In M. Rabinowitz (Ed.), *The impact of media on technology of instruction*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- [2] Mitrovic, A. (2003) An intelligent Sql tutor on the Web *Int. J. Artificial Int. in Education*, vol. 13, no. 2-4, 173-197.
- [3] Clancey, W. J. (1991). Intelligent tutoring systems: A tutorial survey, en *Applied Artificial Intelligence: A Sourcebook*. McGraw-Hill.
- [4] RUSSELL, S. Y NORVIG, P. (2003). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (2nd Edition). Prentice Hall.
- [5] Mitrovic, A., Suraweera, P., Martin, B., Zakharov, K., Milik, N., Holland, J. (2006) Authoring constraint-based tutors in ASPIRE. M. Ikeda, K. Ashley, and T.-W. Chan (Eds.): *ITS 2006, LNCS 4053*, pp. 41-50.
- [6] Salgueiro, F. A, Costa, G., Cataldi, Z., García Martínez, R. y Lage, F. J. (2005a). *Sistemas inteligentes para el modelado del tutor*. GCETE'2005, Global Congress on Engineering and Technology Education. marzo 13-15.
- [7] Nilsson, N. (1998) *Artificial Intelligence: A New Synthesis*. Morgan Kaufmann Publishers.
- [8] M.L. Bernard, and T.E. Goldsmith (Eds.), *Cognitive systems: Human cognitive models in systems design*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- [9] Salgueiro, F., Costa, G., Cataldi, Z., Lage, F. y García-Martínez, R. (2005). *Redefinition of Basic Modules of an Intelligent Tutoring System: The Tutor Module*. *Proceedings del VII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. Pág. 444-448.
- [10] Graesser, A.C., Chipman, P., Haynes, B.C. y Olney, A. (2005). *AutoTutor: An intelligent tutoring system with mixed-initiative dialogue*. *IEEE Transactions in Education*, 48, 612-618.
- [11] Graesser, A.C., Olney, A., Haynes, B.C. y Chip-Man, P. (2005). *AutoTutor: A cognitive system that simulates a tutor that facilitates learning through mixed-initiative dialogue*. In C. Forsythe,
- [12] Costa, G.; Salgueiro, F. A., Cataldi, Z., García Martínez, R. y Lage, F. J. 2005. *Sistemas inteligentes para el modelado del estudiante* Proc. GCETE'2005, Global Congress on Engineering and Technology Education CD. marzo 13-15.
- [13] Matsuda, N., & Vanlehn, K. (2005, to appear). *Advanced Geometry Tutor: An intelligent tutor that teaches proof-writing with construction*. In Proc. of The 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education. (acceptance rate: 0.31)
- [14] VANlehn, K (1988). *Student Modelling*. M. Polson. *Foundations of Intelligent Tutoring systems*. Hillsdale. N.J. Lawrence Erlbaum Associates, 55-78.
- [15] Giraffa, L.M.M.; Nunes, M. A.; Viccari, R.M. (1997) *Multi-Ecological: an Learning Environment using Multi-Agent architecture*. Proc. MASTA'97: Coimbra: DE-Universidade de Coimbra.
- [16] Wolf, B. (1984). *Context Dependent Planning in a Machine Tutor*. Ph.D. Dissertation, University of Massachusetts, Amherst, Massachusetts.
- [17] Salgueiro, F., Cataldi, Z., García-Martínez, R. (2005). *Estilos Pedagógicos en el Modelado del Tutor para Sistemas Tutores Inteligentes*. *Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales* 2(4):70-79.
- [18] Davis, L. (1991). *Handbook of Genetic Algorithms*. New York. Van Nostrand Reinhold.
- [19] Salgueiro, F; Costa, G., Cataldi, Z., Lage, F., García-Martínez, R. (2005). *Redefinition of basic modules of an intelligent tutoring system: the tutor module*. WICC 2005. WICC 2005. 13 y 14 de mayo. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba. RED UNCI.
- [20] Matsuda, N., Cohen, W. W., & Koedinger, K. R. (2005). *Applying Programming by Demonstration in an Intelligent Authoring Tool for Cognitive Tutors*. In AAAI Workshop on Human Comprehensible Machine Learning (Technical Report WS-05-04) (pp. 1-8). Menlo Park, CA.
- [21] Shah, F. (1997). *Recognizing and Responding to Student Plans in an Intelligent Tutoring System: Circsim-Tutor* Ph.D. tesis, Illinois Institute of Technology.

SISTEMA INTERACTIVO DE ASISTENCIA A PACIENTES DE FISIOTERAPIA

INTERACTIVE SYSTEM TO ASSISTANCE PHYSIOTHERAPY'S PATIENT

36

Autores

Christopher Francisco Almanza¹

Prof. Asesor: Dr. Euclides Samaniego González²

RESUMEN

El proyecto consiste en un sistema computarizado cuya finalidad es la de la interacción de un paciente de fisioterapia con el mismo. El concepto parte del uso de cámaras y sensores de profundidad en conjunto con algoritmos de reconocimiento de imágenes y procesamiento de datos, para el posicionamiento de articulaciones humanas en un flujo de datos que pueda ser utilizado por el sistema para mostrar biofeedback, con el objetivo de ayudar al fisioterapeuta en el procedimiento de mediciones de ángulos en dichas articulaciones, y de guiar al paciente en la manera correcta de ejecutar el ejercicio de terapia que se le asigna.

PALABRAS CLAVES

Asistencia a la fisioterapia; sistemas computarizados interactivos; tecnología aplicada a la medicina.

Área

¹Licenciatura en Ingeniería de Sistemas y Computación
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Universidad Tecnológica de Panamá
Grupo de Investigación en Inteligencia Computacional– GILCOM
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Universidad Tecnológica de Panamá

ABSTRACT

The Project consists of a computer system whose purpose is the interaction of a physiotherapy patient with it. The concept starts with the use of cameras and depth sensors, together with image recognition and data processing algorithms in order to position human joints in a data stream that can be used by the system to display biofeedback, aiming to help the therapist in the angle measurement process on these joints, and guiding the patient in the correct way to run the therapy exercise that is assigned to him.

KEY WORDS

Physiotherapy assistance; interactive computer systems; technology applied to medicine.

1. Introducción

En la actualidad, la fisioterapia es una de las áreas del conocimiento que se ve beneficiada con el avance de la tecnología. Prueba de esto son los modernos sistemas computarizados, entre ellos robots y demás, que proporcionan asistencia tanto a los pacientes como a los terapeutas, haciendo de la sesión una más interactiva e incrementando la eficiencia de las terapias, para proporcionar mejores resultados.

Los avances tecnológicos en los últimos años se han enfocado principalmente en incrementar la facilidad de uso de los dispositivos para los usuarios. Como consecuencia, se han desarrollado ideas como las pantallas táctiles capacitivas, reconocimiento de voz y las cámaras de profundidad. Esta última ha promovido la interacción del usuario con los sistemas a través de gestos con partes del cuerpo del usuario, tales como los brazos y las manos, y corresponde a un avance tecnológico que conlleva años de estudio e investigación por parte de las grandes compañías como lo es Microsoft, entre otras, en el área de reconocimiento de imágenes y aprendizaje automático (*machine learning*).

A través de las tecnologías mencionadas anteriormente, es posible el desarrollo de sistemas informáticos que proporcionen asistencia en áreas del conocimiento que involucren el estado y capacidades físicas del ser humano, tal como lo es la fisioterapia.

El presente proyecto propone el desarrollo de una aplicación que permita el uso de la tecnología como apoyo en la fisioterapia, a través del uso del Microsoft Kinect, que es una cámara de profundidad con la que se puede trabajar el reconocimiento de imágenes, con la finalidad de proporcionar asistencia en la captura de datos en terapias de rehabilitación de pacientes.

Estos datos incluyen, más no están limitados a, rangos articulares en terapias de abducción, para extremidades superiores del cuerpo como los hombros, codos y muñecas.

* Corresponding author:
euclides.samaniego@utp.ac.pa

2. Aspectos generales

La fisioterapia ofrece servicios a individuos y poblaciones para desarrollar, mantener y restablecer el movimiento máximo y la capacidad funcional durante la vida de la persona. Esto incluye la prestación de servicios en circunstancias en que el movimiento y la función están amenazados por el envejecimiento, lesiones, dolores, enfermedades, trastornos, condiciones o factores ambientales. El movimiento funcional es fundamental para lo que significa ser saludable.

La tele-rehabilitación es un término usado para describir la prestación de servicios de rehabilitación a distancia utilizando la tecnología de las telecomunicaciones como medio de prestación de servicios. Se trata de un subgrupo de telemedicina, que es un término general que denota todos los servicios de atención médica, ya sea clínica o educativa, que se entregan a través de medios de telecomunicación.

La telerehabilitación se refiere a los servicios prestados por una serie de disciplinas de salud, incluyendo fisioterapia, logopedia, terapia ocupacional, ingeniería biomédica y otros, y cuenta con todos los aspectos de la atención al paciente incluyendo la entrevista con el paciente, la evaluación física y el diagnóstico, el tratamiento, las actividades de mantenimiento, la consulta, la educación y entrenamiento.

La tecnología que está empujando a la tele-rehabilitación es Microsoft Kinect para Windows, un sensor de captura de movimiento 3D con una interfaz de programación de aplicación (API) abierta. Juegos de terapia pueden interactuar directamente con los pacientes e incluso seguir sus movimientos para informar a los médicos de forma remota.

2.1 Caracterización del problema

Panamá es un país que se encuentra en constante desarrollo. Con la llegada de inversionistas y empresarios de distintos lugares, el auge económico y el avance tecnológico de las últimas décadas, el país se ha ubicado entre los primeros lugares en América Latina en cuestión de calidad de vida. Sin embargo, uno de los

sectores que necesitan mayor apoyo, por parte de la tecnología, es el sector salud.

En la actualidad, son mínimos los centros de rehabilitación en Panamá que cuenta con sistemas tecnológicos que proporcionen apoyo en la ejecución de tareas motoras asignadas a pacientes para su recuperación, mucho menos aplicaciones informáticas que apoyen a los fisioterapeutas a la hora de capturar datos.

2.2 Alternativa de Solución

El proyecto propone el desarrollo de un aplicación que proporcione asistencia en el área de la fisioterapia, tanto a los pacientes como a los fisioterapeutas, en la ejecución de terapias que involucren actividad motora por parte del paciente, y en la captura de datos relevantes a la formulación de estadísticas que indiquen la mejora o desmejora del paciente, con los estándares de interfaz gráfica y experiencia de usuario que permitan una interacción amigable y eficaz entre el usuario y el programa.

Dicha propuesta abarca el manejo de la interfaz de usuario del programa, por parte del terapeuta, utilizando sus manos como medios para interactuar con el puntero, con la opción de poder interactuar utilizando el ratón, como comúnmente se suele hacer. Además, se propone el uso de comandos de voz para desencadenar eventos dentro del programa, en el que el terapeuta se encuentre ocupado, proporcionándole ayuda física al paciente (sosteniendo sus brazos, etc.) o similares.

Para la captura de datos correspondiente a la medición de ángulos para los diferentes rangos articulares del paciente, en la ejecución de las terapias, se utilizará el Microsoft Kinect. Ésta es una cámara con diversos flujos de datos (datos de profundidad, color, infrarrojo...) con el cual, internamente en el programa, se reconstruirá la imagen del paciente, y se reconocerán sus articulaciones en el espacio tridimensional; haciendo posible el cálculo del ángulo de flexión en las articulaciones del paciente, con el uso de las coordenadas (x, y, z) de la articulación en el espacio, y el teorema de cosenos.

2.3 Justificación

Uno de los problemas más notables en Panamá es la deficiencia en el apoyo por parte de la Ingeniería de Sistemas en el sector salud.

Son pocas las instalaciones hospitalarias que incluyen dentro de sus servicios, el uso de aparatos tecnológicos para diagnóstico y tratamiento de patologías que se encuentren a la vanguardia y en constante evolución respaldados por la investigación científica. Más aún, son menos los que se encuentran accesibles para la población de escasos recursos.

Por esta razón, es importante cultivar la pasión por la investigación y el desarrollo de sistemas computarizados que apoyen al sector salud tanto en tareas básicas como la gestión de programas de salud hasta tareas complejas como la medición cuantitativa de datos correspondientes a variables discretas para la elaboración de planes preventivos por medio de proyecciones estadísticas en cada paciente.

2.4 Restricciones y limitaciones

2.4.1 Restricciones

La aplicación debe ser programada para ambientes Windows utilizando el .NET Framework.

La aplicación utiliza el sensor Microsoft Kinect v1.

2.4.2 Limitaciones

La captura de datos medibles está limitada a terapias en la que el torso del paciente se encuentre perpendicular al suelo, o sea, terapias en las que el paciente se encuentre sentado o de pie.

2.5 Objetivos

2.5.1 Generales

- Diseñar y desarrollar una aplicación que proporcione apoyo a pacientes de fisioterapia y terapeutas, a la hora de realizar la ejecución de terapias con actividad motora y captura de datos relevantes a la misma.

2.5.2 Específicos

- Adquirir información directamente de fisioterapeutas con experiencia, para toma de

requerimientos del sistema.

- Adquisición de retroalimentación tanto de pacientes como fisioterapeutas acerca de la facilidad de uso del programa.
- Leer la documentación de las investigaciones realizadas por Microsoft acerca del reconocimiento de imágenes con el sensor Microsoft Kinect y el rastreo del esqueleto de una persona (*skeletal tracking*).

3. Kinect para Windows

Kinect es una línea de dispositivos de entrada para la detección de movimiento por parte de Microsoft para las consolas Xbox 360 y Xbox One y PC con Windows.

Basado en torno a un estilo de cámaras web como periféricos complementarios, permite a los usuarios controlar e interactuar con su consola o computador a través de una interfaz de usuario natural usando gestos y comandos de voz .

Se están desarrollando soluciones compatibles con Kinect para su uso en salas de operaciones, para la terapia física en el hogar y en las clínicas, y de monitorización de pacientes, mejorando una multitud de escenarios de atención médica para los pacientes y los médicos mientras que ofrece el potencial de ahorro de costes y mejores tratamientos basados en datos.

3.1 Requerimientos del sistema. Arquitecturas y sistemas operativos soportados

- Windows 7
- Windows 8
- Windows Embedded Standard 7
- Windows Embedded Standard 8

Si la versión de Windows 7 es Windows 7 N o Windows 7 KN, debe instalar el Media Feature Pack, el cual es requerido por el Kinect para el Windows runtime.

3.1.1 Requerimientos de Hardware

Un computador con las siguientes especificaciones mínimas:

- Procesador de 32-bit (x86) o 64-bit (x64).
- Procesador doble núcleo a 2.66 GHz o superior.
- Puerto USB 2.0 bus dedicado al sensor Kinect.

- 2 GB de memoria RAM.
- Tarjeta de video con soporte para DirectX 9.0c.
- Un sensor Microsoft Kinect for Windows.

3.1.2 Requerimientos de Software

- Visual Studio 2010 o Visual Studio 2012.
- .NET Framework 4 (instalado con Visual Studio 2010), o .NET Framework 4.5 (instalado con Visual Studio 2012).
- Microsoft Speech Platform Software Development Kit (Versión 11).
- Microsoft Speech Platform Runtime (Versión 11).

3.2 Instalación del Sensor Kinect

A continuación se muestran una serie de pasos para instalar el sensor Kinect:

- Montar el sensor en una superficie estable.
- No colocar el Kinect encima o frente a una bocina o una superficie que vibre o emita sonidos.
- Mantener al Kinect fuera de contacto directo con la luz del sol.
- Usar el sensor dentro del rango de temperatura de operación especificado (de 5 a 35 grados Celsius).
- Instalar Kinect for Windows SDK.
- Conectar el sensor Kinect.
- Conectar el adaptador de corriente hacia una fuente externa.
- Conectar el sensor Kinect en un puerto USB en el computador y esperar a que Windows lo reconozca.
- Todos los drivers y configuraciones serán cargadas automáticamente.

3.3 Espacio de interacción

El espacio de interacción es un área en frente del sensor Kinect en donde los sensores infrarrojo y de color tengan una vista de todo lo que hay enfrente del sensor.

Si la iluminación no está tan alta ni tan baja, y los objetos no son tan reflexivos, se obtendrán buenos resultados.

Para incrementar el espacio de interacción, incline el sensor utilizando el motor de inclinación integrado. El mismo soporta una

inclinación adicional de +27 a -27 grados, como se muestra en la figura.

El SDK provee una sofisticada biblioteca de software y herramientas para facilitar la forma completa de lectura de datos naturales basados en Kinect, los cuales reaccionan a eventos del mundo real.

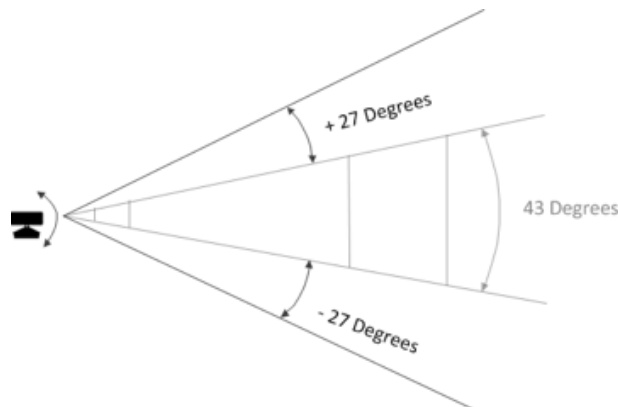


Figura 1. Extensión de inclinación.

La siguiente figura muestra como Kinect y su biblioteca de *software* interactuar con aplicaciones.

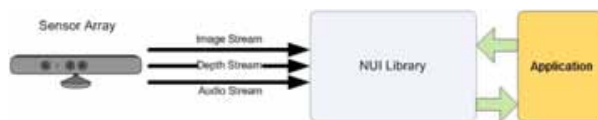


Figura 2. Interacción del Software y Hardware con una aplicación.

La siguiente figura muestra como Kinect y su biblioteca de *software* interactuar con aplicaciones.

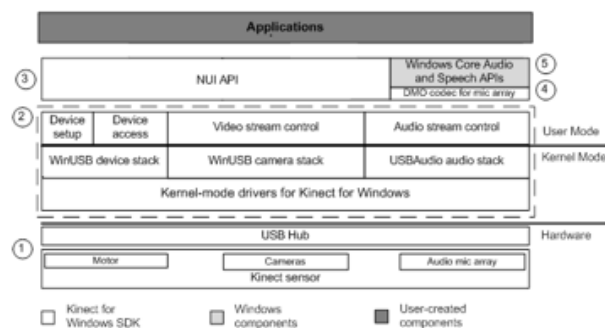


Figura 3. Arquitectura del SDK.

Hardware Kinect

Los componentes hardware, incluyendo el sensor Kinect y el puerto USB en el que el sensor es conectado al computador.

Drivers Kinect

Los drivers de Windows para trabajar con el sensor Kinect, que son instalados como parte del SDK, tal y como fue descrito en secciones anteriores de este documento. Los *drivers* soportan:

- Arreglo de micrófonos Kinect como dispositivo de audio que se puede acceder a través del API estándar de audio de Windows.
- Controles para *streaming* de audio y video.
- Funciones de enumeración de dispositivos para el uso de más de un sensor Kinect.
- Componentes de audio y video.
- DirectX Media Object (DMO) para análisis y localización de audio.
- APIs estándares de Windows 7 [6].

3.5 Componentes y especificaciones

Dentro de un sensor Kinect, se encuentran los siguientes componentes:

- Una cámara RGB que almacena 3 canales de datos en una resolución de 1280x960.
- Un emisor infrarrojo y un sensor de profundidad infrarrojo.
- Un micrófono de múltiples arreglos, que contiene 4 micrófonos para capturar sonido.
- Un acelerómetro.

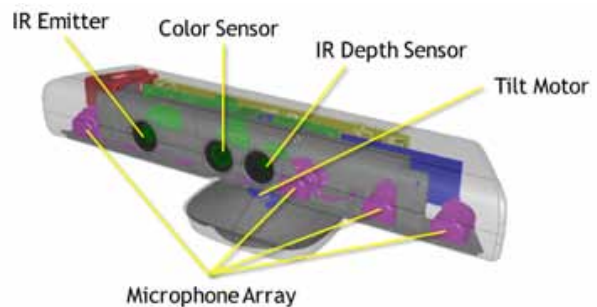


Figura 4. Componentes del Kinect.

Las especificaciones para el Kinect se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Especificaciones del Kinect.

Kinect	Especificaciones
Ángulo de visión	Campo de vista a 43° vertical y 57° horizontal
Ángulo de inclinación vertical	±27°
Velocidad de cuadro	30 cuadros por segundo
Formato de audio	16 kHz, 24 bit mono PCM
Características de entrada de audio	Arreglo de 4 micrófonos con convertidor análogo-digital de 24 bits y proceso de señal que incluyen cancelación de eco y supresión de ruido
Características de acelerómetro	Configurado para rango 2G con 1° de precisión

3.6 Flujo de datos

El sensor Kinect puede capturar datos de audio, color y profundidad. Para prevenir bajas en la velocidad de cuadros, la aplicación debe:

- Identificar que flujos de datos son necesarios.
- Abrir el flujo de datos.
- Asignar *buffers* para mantener los datos del sensor.
- Obtener los nuevos datos para cada flujo por cada cuadro.
- Liberar el *buffer* para poder llenarlos en el siguiente cuadro.

3.6.1 Flujo de audio

El sensor Kinect incluye un arreglo lineal de 4 micrófonos como se muestra en la siguiente figura, en color púrpura.

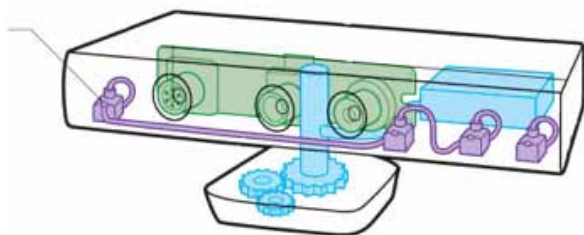


Figura 5. Arreglo de micrófonos.

Estos sensores habilitan escenarios como: captura de audio de alta calidad; enfoque de audio proveniente de una dirección en particular; identificación de la dirección de una fuente de audio; reconocimiento del habla

mejorado y datos de voz sin procesar.

3.6.2 Flujo de color

Los datos del color de la imagen están disponible en diferentes resoluciones y formatos. El formato determina si el flujo de datos de imagen en color se codifica como RGB, YUV, o Bayer.

El sensor utiliza una conexión USB que proporciona una cantidad dada de ancho de banda para pasar datos. Su elección de la resolución le permite sintonizar cómo se utiliza ese ancho de banda. Imágenes de alta resolución envían más datos por trama y se actualizan con menor frecuencia, mientras que las imágenes de menor resolución se actualizan con más frecuencia, con alguna pérdida en la calidad de imagen debido a la compresión.

Tabla 2. Formatos de color

Formato de Color	Descripción
RGB	32-bit, en espacio de color sRGB
YUV	16-bit, en donde la corrección de gamma en espacio YUV es equivalente a gamma sRGB en espacio RGB
Bayer	32-bit, en espacio de color sRGB

3.6.2 Flujo de profundidad

Cada cuadro del flujo de datos de profundidad se compone de píxeles que contienen la distancia (en milímetros) desde el plano de la cámara al objeto más cercano. Una aplicación puede utilizar los datos de profundidad para seguir el movimiento de una persona o identificar objetos de fondo a ignorar.

Los datos de profundidad corresponden a la distancia, en milímetros, hacia el objeto más cercano en esa coordenada (x, y) en particular en el campo de visión del sensor de profundidad. La imagen de fondo está disponible en 3 diferentes resoluciones: 640x480 (por defecto), 320x240 y 80x60.

3.7 Lenguaje

El reconocimiento de voz es una de las funciones claves del API. El arreglo de micrófonos del sensor Kinect es excelente para aplicaciones basadas en reconocimiento de voz.

Proporciona una mejor calidad de sonido que un micrófono único y es mucho más cómodo de usar que un auricular.

Las aplicaciones pueden utilizar el micrófono de Kinect con el API Microsoft.Speech, que soporta los últimos algoritmos acústicos. Kinect para Windows SDK incluye un modelo personalizado acústico que está optimizado para arreglo de micrófonos del sensor Kinect.

4. Guía de interfaz de usuario

Al estudiar y aplicar los patrones sugeridos en las guías para el diseño de una interfaz de usuario aseguramos una interfaz consistente, evitando que el usuario pase por una curva de aprendizaje, y haciendo el uso del sistema intuitivo.

4.1 Diseño de interacción

Para proveer una buena experiencia y evitar frustrar a los usuarios, se necesita un fuerte diseño de interacción con gestos y voz que cumpla una serie de requerimientos. Para empezar, la interacción debe ser algo natural, con una suave curva de aprendizaje para los usuarios. Una curva de aprendizaje más alta puede ser usada para funciones más complejas en usuarios expertos que utilizan la aplicación frecuentemente.

4.2 Gestos

Se utiliza el término gesto ampliamente para referirse a cualquier forma de movimiento que se puede utilizar como una entrada o interacción para controlar o influir en una aplicación. Los gestos pueden tomar muchas formas, desde el simple uso de la mano para apuntar algo en la pantalla, a lo específico, patrones de movimiento aprendidos, a largos tramos de movimiento continuo utilizando todo el cuerpo.

Un gesto es un método de entrada emocionante de explorar, pero también presenta algunos desafíos interesantes. Los siguientes son algunos ejemplos de tipos de gestos de uso común.

4.2.1 Gestos innatos

Gestos que el usuario conoce intuitivamente o que tienen sentido, basado en la comprensión

que tiene persona acerca del mundo, incluyendo las habilidades o la formación que estas personas puedan tener.

Ejemplos: Señalar para apuntar; agarrar para recoger y empujar para seleccionar.

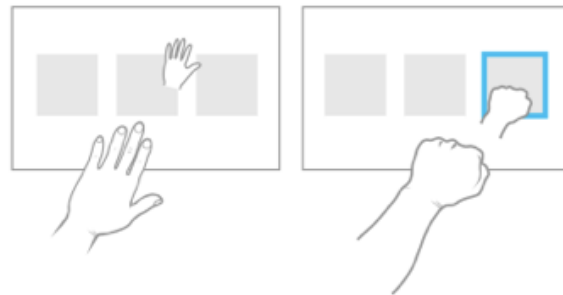


Figura 6. Gestos innatos.

4.2.2 Gestos aprendidos

Gestos que se le deben enseñar al usuario antes de que puedan interactuar con Kinect para Windows.

Ejemplos: el agitar para participar: la realización de una determinada pose para cancelar una acción.

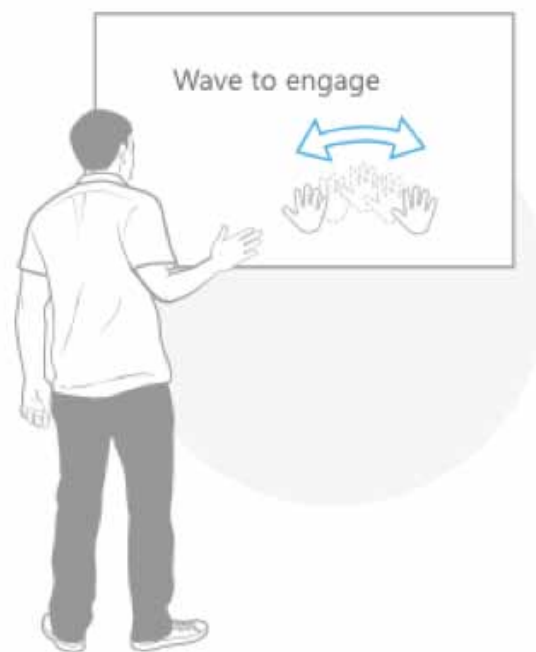


Figura 7. Gestos aprendidos.

4.2.3 Gestos dinámicos

Un movimiento definido que le permite al usuario manipular directamente un control u objeto en la aplicación y recibir retroalimentación de ello.



Figura 8. Gestos dinámicos.

4.2.4 Gestos continuos

Seguimiento prolongado de movimiento donde no se reconoce ninguna pose específica pero el movimiento se utiliza para interactuar con la aplicación.

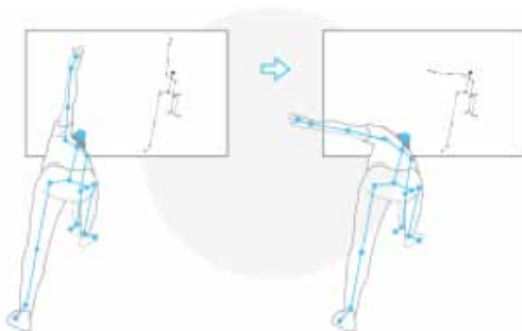


Figura 9. Gestos continuos.

4.3 Voz

El uso de la voz le permite elegir las palabras o frases específicas para escuchar y desencadenar eventos. Las palabras o frases que se hablan como comandos no son conversacionales y podrían no verse como una forma natural de interactuar, pero cuando la entrada de voz está bien diseñada e integrada, puede hacer que se experimente de manera rápida y aumentando la confianza con la intención del usuario.

4.3.1 Modos de habla

Existen dos métodos de uso de voz con el sensor Kinect: palabra clave, o siempre activa.

4.3.2 Palabra clave

El sensor sólo escucha una sola palabra clave. Cuando el sensor escucha esa palabra, escucha palabras o frases adicionales especificadas. Esta es la mejor manera de reducir las falsas

activaciones. La palabra clave que usted elija debe ser muy distinta para que no se malinterprete fácilmente.

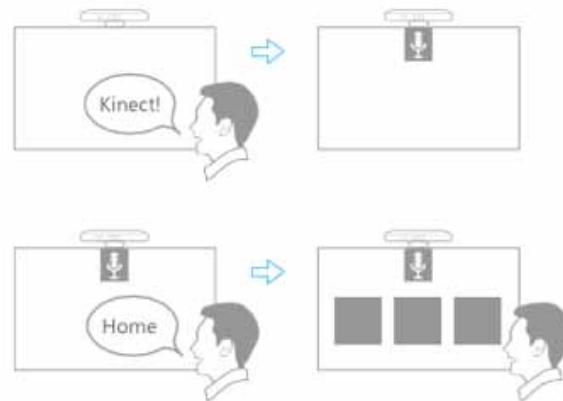


Figura 10. Activación de voz por palabra clave.

4.3.3 Siempre activa

El sensor está siempre a la escucha de todas las palabras o frases definidas. Esto funciona bien si la aplicación tiene un número muy pequeño de palabras o frases distintas. Pero cuanto más se tiene, más probable es que la aplicación tenga falsas activaciones.



Figura 11. Modo de voz siempre activo.

5. Desarrollo del Prototipo

Es importante considerar, aparte de los detalles en interfaz gráfica y experiencia de usuario, el valor que el sistema va a representar para un fisioterapeuta. Es decir, las funcionalidades mínimas que este debe tener, en concepto de procesos clínicos, para que los procesos de medición de ángulos y formulación de estadísticas tengan un valor relevante que este respaldado por un sistema de información.

Para esto es necesario adentrarse a los procesos internos que maneja un fisioterapeuta y capturar requerimientos de *software*.

5.1 Conceptos generales

Antes de la captura de requerimientos, es

necesario conocer los conceptos del modelo de dominio (*domain model*), de tal manera que exista un glosario de términos técnicos que defina al sistema.

Articulación medible: Son todas las siguientes articulaciones:

- Hombro derecho
- Hombro izquierdo
- Codo derecho
- Codo izquierdo
- Carrera derecha
- Carrera izquierda
- Rodilla derecha
- Rodilla izquierda.

Diagnóstico: La descripción del problema que presenta el paciente dada previamente por el doctor, que abarca las observaciones o comentarios del terapeuta aunado a las expectativas del paciente.

Movimiento Articular: Patrón de movimiento definido por un vértice, un ángulo inicial, un ángulo de tolerancia y un ángulo ideal.

Resultado de la terapia: El ángulo obtenido para cada una de las repeticiones de la terapia, junto con su tiempo de ejecución.

Sesión de terapias: Se define como una serie de N terapias que se ejecutan en un lapso indeterminado de manera secuencial.

Terapia: Número de repeticiones y series que van a ser aplicadas de un movimiento articular, tomando en cuenta parámetros extra opcionales como peso y tiempo de descanso.

5.2 Requerimientos de alto nivel

En esta etapa se trabaja en conjunto con el terapeuta: se analizan los objetivos que se quieren lograr con la implementación del sistema, se definen las restricciones que ha de tener, y finalmente se obtienen los requerimientos.

5.2.1 Objetivos

Asistir en la medición de ángulos en movimientos articulares.

Apoyar y motivar al usuario al realizar sus terapias a través de *biofeedback*.

5.2.2 Restricciones

El prototipo abarca procesos automáticos, es decir que todas las mediciones y valores serán obtenidos a través de algoritmos que utilicen flujo de datos provenientes del Kinect.

Se trabajan solamente movimientos articulares activos.

5.2.3 Requerimientos

- Captura y edición de información general del paciente.
- Búsqueda de pacientes en el sistema.
- Evaluación del paciente, tomando en cuenta las expectativas y diagnóstico médico inicial
- Selección de movimientos articulares a evaluar.
- Uso del *biofeedback* para guiar al paciente en el movimiento correcto de un ejercicio de terapia, a través de animaciones interactivas.
- Definición de sesiones de terapia con múltiples movimientos articulares previamente definidos en el diagnóstico.
- Control sobre el inicio y fin de una sesión de terapia.
- Medición automática del ángulo de una articulación en la ejecución de un movimiento articular
- Visualización de los resultados de una sesión de terapia.
- Despliegue del historial de sesiones de terapias de un paciente a través del tiempo.

5.3 Kinect

El núcleo del proyecto consiste en el uso del Kinect para la medición automática de ángulos en las articulaciones humanas a la hora de hacer ejercicios de fisioterapia, y del uso de *biofeedback* para que el paciente visualice y aprenda la forma correcta de realizar un ejercicio de fisioterapia. Sin embargo, la aplicabilidad del Kinect es mucho más profunda.

El uso del Kinect expande las posibles concreciones en términos de experiencia de usuario. Esto quiere decir, que a través del uso de sus componentes hardware, podemos ampliar las formas de interacción humano-computador. La siguiente imagen muestra una pantalla de evaluación para un movimiento articular. El recuadro blanco contiene un *feedback* del campo

visual del Kinect en tiempo real.



Figura 12. Pantalla de evaluación de paciente.

Como es de esperarse, es posible que el usuario esté físicamente distanciado del sistema a la hora de ejecución de un movimiento articular. Esta distancia limita la interacción del usuario con el sistema, creando un problema a la hora de dar instrucciones como “avanzar” o “finalizar”. Este tipo de problemas pueden ser resueltos a través del uso de gestos o comandos de voz, que serán reconocidos por el programa a través del Kinect, ejecutando acciones que sean relevantes al contexto.

Por ejemplo: Una sesión de terapia conste de 2 movimientos articulares de distintas articulaciones. Para finalizar la ejecución del ejercicio de uno de los movimientos y proceder con el siguiente, el terapeuta puede usar su mano como puntero y presionar un botón. De la misma manera, el terapeuta puede utilizar su voz diciendo la palabra “siguiente” y el sistema cambia al siguiente ejercicio.

5.4 Escenarios de uso

El prototipo del sistema presenta dos escenarios en los que un paciente puede hacer uso del mismo.

Uso Individual: El paciente se posiciona en frente del dispositivo Kinect, y sigue las instrucciones para realizar la evaluación del o los movimiento(s) articular(es) correspondiente(s) a su diagnóstico. Ejemplo: telemedicina, pacientes en casa.

Uso asistido por el terapeuta: El terapeuta instruye al paciente en la forma correcta de

cómo realizar el movimiento articular. Ejemplo: uso en un consultorio.

5.5 Beneficios

Entre los beneficios que puede traer el uso de un sistema computarizado para la asistencia en la fisioterapia tenemos:

Menor contacto físico con el paciente (para tratar casos de pacientes con lesiones de piel tales como úlceras activas, quemaduras y exudados), contribuyendo a disminuir las contaminaciones cruzadas en las áreas sanitarias.

Puede ser usado como asistencia remota en pacientes que requieran de diagnóstico en rango de movimientos activos, o sea, el que puede realizar el paciente sin ningún tipo de ayuda.

Puede ser usado para hacer tamizajes (medir las alteraciones asimétricas en los rangos de movimiento que no se habían diagnosticado).

6. Conclusiones

El uso de la tecnología en ramas del conocimiento, como el sector salud, son áreas en donde la Ingeniería de Sistemas puede brindar aporte para su evolución, adoptando soluciones tecnológicas que ataquen a los procesos que son ejecutados manualmente por especialistas.

El Kinect proporciona una fuente de precisa de datos capturados a través del sensor de profundidad, y ésta puede ser aprovechada a través de algoritmos de reconocimiento de imagen y procesamiento de datos para aportar, a través de la automatización de procesos por medios computarizados, valor a procesos clínicos de rehabilitación en fisioterapia, de modo que soluciones de biomedicina pueden ser brindadas a través de aplicaciones *Software* que implementen estas tecnologías.

El uso de la tecnología Kinect dentro del área de fisioterapia tiene gran potencial de crecimiento y de cubrir necesidades futuras, ya que abre paso para implementaciones de mediciones matemáticas en procedimientos técnicos que realizan los fisioterapeutas.

7. Recomendaciones

A pesar de que el proyecto fue desarrollado a través del uso del Kinect en su versión 1.8, las demandas y necesidades permanecen. Por lo tanto, a medida que la tecnología evolucione, no se debe dudar en actualizar las implementaciones del sistema para que este siempre esté a la vanguardia y se abran nuevas posibilidades de mejoramiento o de solucionar nuevas necesidades dentro del sector salud.

REFERENCIAS

- [1] World Confederation For Physical Therapy (2014). Policy statement: Description of physical therapy. 18 de Junio de 2014. Sitio web: <http://www.wcpt.org/policy/ps-descriptionPT>
- [2] Australian Physiotherapy Association. Telerehabilitation. Sitio web: https://www.physiotherapy.asn.au/DocumentsFolder/Advocacy_Background_Papers_Telerehabilitation.pdf
- [3] Microsoft (2009). Project Natal. 1 de Junio del 2009.
- [4] Microsoft. Kinect – Windows app development. Sitio web: <https://dev.windows.com/en-us/kinect>
- [5] Microsoft (2012). Interaction Space. 3 de Julio de 2012. Sitio web <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh973071.aspx>
- [6] Wassef Karimeh (2014). Kinect for Windows Archi-tecture. 4 de Julio de 2014. Sitio web: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131023.aspx>
- [7] Microsoft. Kinect for Windows Sensor Components and Specifications Sitio web: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx>
- [8] Microsoft. Data Streams – Kinect for Windows. Sitio web: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh973075.aspx>
- [9] Microsoft. Speech – Kinect for Windows. Sitio web: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131034.aspx>
- [10] Microsoft. Corporation. Human Interface Guide-lines v1.8.

EVALUACIÓN DE LA SATISFACCIÓN DE LOS TURISTAS DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE TOCUMEN ENFOCADO AL TRASLADO TERRESTRE DESDE Y HACIA EL AEROPUERTO

EVALUATION OF TOURISTS'S SATISFACTION AT THE TOCUMEN INTERNATIONAL AIRPORT FOCUSED ON GROUND TRANSPORTATION TO AND FROM THE AIRPORT

Autores

Guillermo Labiosa y Betzaida Avendaño

Área

Licenciatura en Ingeniería Industrial
Facultad de Ingeniería Industrial
Universidad Tecnológica de Panamá

RESUMEN

El Aeropuerto Internacional de Tocumen, es la mayor puerta de ingreso de los visitantes que llegan a Panamá por turismo. Por lo tanto, el período de estancia en el aeropuerto es un período crítico que forma parte de la experiencia de viaje del pasajero. El principal objetivo del estudio es evaluar la satisfacción de los turistas, usuarios del Aeropuerto Internacional de Tocumen enfocado al traslado terrestre desde y hacia el aeropuerto; con el propósito de encontrar las brechas en la calidad de servicio y analizarlas para así mejorar la experiencia del turista. La metodología empleada está basada en la recopilación de información, elaboración de encuestas empleando escalas Likert, entrevistas de forma directa con los turistas que hayan utilizado o que utilizarán los servicios de transporte para su traslado hacia y desde el aeropuerto, análisis de los datos obtenidos y propuestas de mejoras. En la actualidad, no existe un estudio de la valoración de la eficiencia, seguridad, precio, entre otros aspectos importantes de los servicios de transporte que pueden ser utilizados por los turistas para trasladarse desde y hacia el Aeropuerto Internacional de Tocumen. El turismo es la actividad económica de mayor relevancia y potencial crecimiento en Panamá. Esto genera un crecimiento en la actividad de traslado de turistas; así como un desafío en la experiencia y satisfacción en la calidad de servicio de traslado. Un equilibrio entre precio, seguridad, disponibilidad y atención podría incrementar enormemente la

ABSTRACT

Tocumen International Airport is the largest gateway for visitors to Panama for tourism. Therefore, the period of stay at the airport is a critical period which is part of the passenger travel experience. The main objective of the study is to evaluate the satisfaction of who arrive as tourists to Tocumen International Airport focusing on ground transportation to and from the airport; in order to find the gaps in service quality and to analyze it to improve the tourist experience. The methodology is based on gathering information, making surveys using Likert scales, interviews directly with tourists who have used or use transportation services for transportation to and from the airport, analysis of data and suggestions for improvements. Currently, there is no study evaluating the efficiency, safety, price, among other important things of transportation services that can be used by tourists to travel to and from Tocumen International Airport. Tourism is the most important economic activity and growth potential in Panama. This generates an increase in the activity of transfer of tourists; as well as a challenge in the experience and satisfaction in the quality of service available. A balance between price, security, availability and attention could greatly increase the perception in the quality of these available services with the help of airport authorities in order to standardize operational arrangements to integrate and maximize the satisfaction of tourists. The results were announced that the shuttle service to and from the

Labiosa (et al): Evaluación de la satisfacción de los turistas del Aeropuerto Internacional de Tocumen enfocado al traslado terrestre desde y hacia el aeropuerto.

percepción en la calidad de estos servicios con la ayuda de autoridades aeroportuarias con el fin de estandarizar gestiones operativas que permitan integrar y maximizar la satisfacción de los turistas. Los resultados dieron a conocer que los servicios de traslados desde y hacia el Aeropuerto Internacional de Tocumen en referencia a cada una de las variables estudiadas poseen una mayor tendencia a un buen servicio, sin embargo hay alrededor de un 20% a 24% con tendencias a un mal servicio que necesitan ser mejoras.

PALABRAS CLAVES

Aeropuerto, nivel de satisfacción, turista, servicio, traslado terrestre.

International Airport of Tocumen in reference to each of the variables studied have a greater tendency to good service, but there are about 20 % to 24 % with trends to poor service that need improvement.

KEY WORDS

Airport, level satisfaction, tourist, service, ground transportation.

1. Introducción

El Aeropuerto Internacional de Tocumen se encuentra localizado a 24 kilómetros de la ciudad de Panamá, en la provincia de Panamá. La privilegiada posición geográfica de Panamá, como punto de encuentro entre las dos Américas y el mundo entero lo ha mantenido siempre como figura clave en el transporte aéreo, enfocándose en su experiencia y seguridad.

Esta terminal aérea es la más importante no solamente de Panamá, también lo es en Centroamérica por número de destinos y tráfico movilizad.

Esto hace que se convierta en un puerto indiscutible para ingreso y salida de turistas, visitantes del país y del mundo. Opera vuelos desde y hacia más de 70 ciudades de América y Europa, cubriendo gran parte de Latinoamérica.

Actualmente los aeropuertos no son considerados únicamente un lugar técnicamente apto para el aterrizaje y despegue de aeronaves; y esto se debe a que se ha convertido en una mini ciudad, en la cual se realizan diversas actividades comerciales, industriales y de servicio, actividades logísticas vinculadas al transporte aéreo o al traslado desde y hacia el aeropuerto, tratamiento de mercancías, parques tecnológicos, hoteles, entre otras.

Un aeropuerto genera una amplia gama de actividad económica, y toda esta actividad adicional le resulta de gran utilidad a la hora de financiarse. Una de los condicionantes importantes a la hora de situar un aeropuerto es que esté bien comunicado y que sea de fácil acceso.

El aeropuerto debe brindar productos y servicios que cumplan con los estándares de calidad estipulados, estar en un proceso de mejoras continuas que ayuden a lograr la satisfacción de sus clientes.

En la actualidad, lograr la plena “satisfacción del cliente” es un requisito indispensable para ganarse un lugar en la “mente” de los clientes y por ende, en el mercado meta. Por ello, el objetivo de mantener «satisfecho a cada cliente» se ha convertido en los principales objetivos de todas las áreas funcionales (producción, finanzas, recursos humanos, etc) de las empresas exitosas.

La presente investigación se ha propuesto evaluar la satisfacción de los viajeros del Aeropuerto Internacional de Tocumen enfocándose en el traslado desde y hacia el aeropuerto en relación con las variables de disponibilidad, precio, seguridad y atención brindada.

Para el desarrollo del estudio se implementarán los siguientes métodos: científico, sintético, analítico, inductivo, deductivo y finalmente el método descriptivo, los cuales fueron la guía para construir las partes del problema y permitieron estudiar los hechos y fenómenos particulares que se suscitan en la terminal aérea y de esta forma poder enunciar las posibles soluciones. Complementario a esto se utilizaron las técnicas de: observación directa, entrevista y encuestas con escala Likert a los viajeros de la terminal aérea.

Brindar servicios de calidad y personalizados nos permite que cada día nos preocupamos en crecer, servir y generar desarrollo, dándole gran importancia a la satisfacción de los usuarios y sin duda lograr una satisfacción personal. (Jaramillo Rodríguez, 2001).

Es preciso mencionar que este estudio no pretende ser un indicador único e irrefutable, sino más bien se fundamenta principalmente en proporcionar una guía clara y concisa para el Aeropuerto Internacional de Tocumen, debido al gran interés que representa para nuestro país. Los resultados de este estudio revelaron que el servicio brindado por el Aeropuerto Internacional de Tocumen poseen en su mayoría una tendencia de un buen servicio; pero aún cuenta con un porcentaje de 20% a 24% de mal servicio que necesita ser mejorado.

* Corresponding author:

betzaida.avendaño@utp.ac.pa

2. Metodología

La metodología utilizada está basada en la realización de encuestas de manera directa a los turistas que hayan utilizado alguno de los servicios de traslado disponibles desde y hacia el Aeropuerto Internacional de Tocumen, fue realizada a una muestra aleatoria de 200 turistas. Para conocer más sobre el nivel de satisfacción de los turistas en cuanto a la calidad de los servicios de traslado, se utilizó la escala Likert (1-5) para evaluar cuatro variables primordiales como lo son: disponibilidad, precio, seguridad y atención brindada por estos servicios. También se realizaron preguntas como el origen de procedencia de los turistas y el tipo de traslado utilizado, el cual se categorizó en tres opciones: taxi, bus turístico y mini bus.

De igual manera para el análisis de los datos obtenidos de la encuesta realizada a los turistas se utilizó la prueba de hipótesis de t de Student empleada cuando se desconoce la varianza poblacional.

3. Resultados

3.1 Análisis infográfico

Como se muestra en la Figura 1, el 23 % de los encuestados opinó que la disponibilidad de los traslados es muy buena, un 35% que es buena, un 17% como regular, en un 17.5% opinó que es mala y un 7.5% como muy mala.

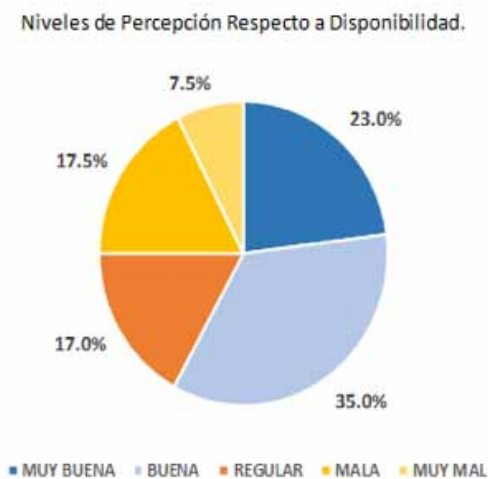


Figura 1. Gráfico de la disponibilidad del servicio de traslado brindado por el Aeropuerto Internacional de Tocumen en porcentajes.

El 17% de los encuestados consideró que el precio establecido por los traslados es muy bueno, un 33% como bueno, un 30% que es regular, un 11.5% como malo y un 8.5% como muy malo; como se puede observar en la Figura 2.



Figura 2. Gráfico de precios de los servicios brindados por el Aeropuerto Internacional de Tocumen en porcentajes.

Con los datos obtenidos en la Figura 3 el 17.5% de los encuestados opinó que la seguridad al momento de utilizar los traslados es muy buena, un 36.5% como buena, un 26% como regular, un 13% que es mala y un 7% como muy mala.



Figura 3. Gráfico de Seguridad del servicio de traslado brindado por el Aeropuerto Internacional de Tocumen en porcentajes.

De acuerdo a la figura 4 el 18% de los encuestados consideró que la atención brindada en los traslados es muy buena, un 33.5% que es buena, un 27% que es regular, un 13.5% como mala y un 8% como muy mala.

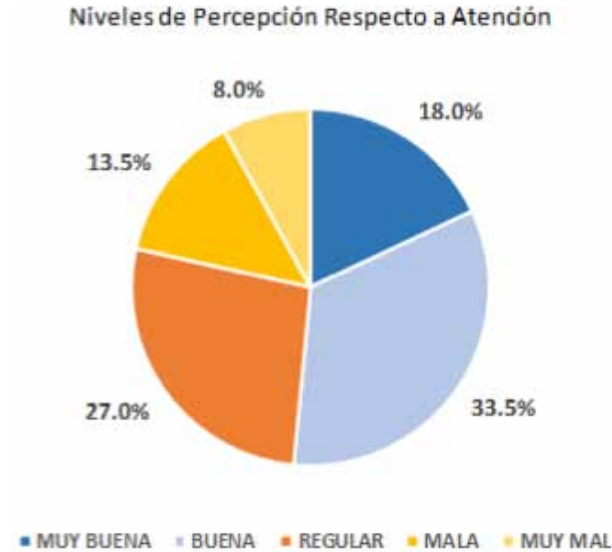


Figura 4. Gráfico de atención del servicio de traslado brindado por el Aeropuerto Internacional de Tocumen en porcentajes.

3.2 Hipótesis planteadas

Se planteó la siguiente hipótesis: La satisfacción del turista en términos de disponibilidad, precio, seguridad y atención brindada por el Aeropuerto Internacional de Tocumen presenta altos niveles; es decir mayores que 3, utilizando un intervalo de confianza de 95 %.

Se cuenta con una población normal e infinita de la cual se desconoce la varianza poblacional, para llevar a cabo el estudio de la percepción de los turistas en referencia al servicio de traslado desde y hacia el Aeropuerto Internacional de Tocumen.

La prueba de hipótesis se realizó sobre la media de la muestra para cada variable bajo estudio, Se busca conocer si el estándar de la percepción de la población tiene una media igual a 3, que nos indicaría que el servicio brindado es regular y necesita implementación de mejoras con urgencia; o si es mayor a 3, lo cual significaría que hay tendencias a un buen servicio en referencia a las cuatro variables estudiadas. Para esto, se formuló la siguiente prueba:

$$H_0: \mu = 3$$

$$H_1: \mu > 3$$

Donde el criterio de rechazo es:

$$H_0: \mu=3 \text{ es rechazada cuando } T_0 > t_{0.05, 199}$$

3.3 Ecuaciones

Para esta prueba de Hipótesis se emplean las siguientes ecuaciones:

$$t_0 = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad (1) \quad v = n - 1 \quad (2)$$

Como podemos ver en la tabla 1 la hipótesis nula es rechazada, lo que origina la validez de la hipótesis alternativa, donde $\mu > 3$ indicando que la percepción de los turistas en referencia a los servicios de traslado terrestre desde y hacia el Aeropuerto Internacional de Tocumen es mayor que 3, en la escala Likert este número es utilizado para indicar un servicio regular.

Tabla 1. Resultados de la Prueba de Hipótesis t de Student

Variable	Media muestral	Resultados	Conclusiones
Disponibilidad	3.49	5.6256 > 1.645	Se rechaza Ho
Seguridad	3.45	5.6174 > 1.645	
Atención	3.40	4.8565 > 1.645	
Precios	3.39	4.6204 > 1.645	

La Figura 5 muestra distintos porcentajes basado en la región de origen de los turistas, cabe destacar que hubo mayor ingreso de turistas de origen latinoamericano.



Figura 5. Origen de los encuestados.

En la actualidad el Aeropuerto Internacional de Tocumen brinda un servicio aceptable entre rangos mayores a regular con tendencias a un buen servicio. Catalogado como bueno en la mayoría de los casos, pero aun así existe un porcentaje oscilante entre los 20 a 24% donde el servicio es deficiente y debe ser mejorado.

El traslado más utilizado por los turistas con un porcentaje de 47% son los taxis, por lo cual debe centrarse más atención en esta opción de traslado aplicando controles de calidad con mayor regularidad.

Se debe incorporar que las personas que brindan este servicio tengan mejor manejo del idioma inglés, sean más cordiales; ya que estos aspectos fueron los que más recalcaron los turistas en la encuesta implementada.

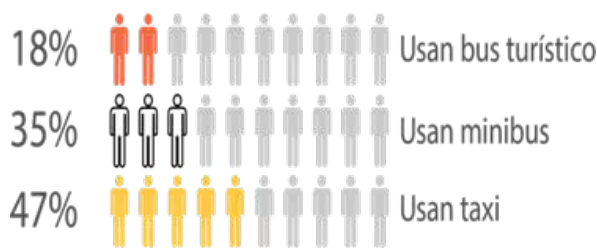


Figura 6. Tipos de traslado utilizado.

4. Conclusiones

La economía de Panamá es una de las más estables de América. Entre las principales actividades se encuentran los servicios financieros, turísticos y logísticos, los cuales representan el 75% del PIB.

La entrada de turistas a nuestro país contribuye en millones de dólares a nuestra economía, generando un crecimiento en la actividad de traslado de turistas. Un aspecto importante en las empresas que se dedican al servicio es que el mismo sea de calidad y constante, cuando hay defectos en los servicios brindado la satisfacción del cliente baja, y a nadie le agrada pagar por un servicio que no haya llenado sus expectativas o haya sido deficiente.

Nuestro grupo ha llegado a la conclusión que se necesita poseer un método y un medio que permita evaluar de forma eficiente y eficaz la satisfacción del cliente; para poder detectar

las fallas del servicio ofrecido, brindando la oportunidad a la empresa para proponer e implementar mejoras y así potenciar la satisfacción de los turistas.

Los servicios de traslado brindados por el Aeropuerto Internacional de Tocumen poseen una tendencia a un buen servicio lo que nos confirma que supera la media de 3; el cual es el número utilizado como un indicador de servicio regular.

Sin embargo no es excelente, hay que implementar una gestión de calidad total que se enfoque en el concepto de mejoras continuas; debido a que existe un porcentaje que oscila entre los 20% a 24% de servicios no satisfactorios que necesita ser corregido.

Un aspecto importante a resaltar son los comentarios de los turistas referentes al servicio de atención que se les brinda. Comentan que el trato es un poco frío y no cuenta con el nivel de cordialidad que llene totalmente sus expectativas; entran en un rango de bueno o regular; nos dicen que no es malo; sin embargo no excelente y puede mejorar en gran medida. Además, se observó falta de organización en el lugar donde los minibuses esperan a los pasajeros.

Como recomendación para futuras investigaciones creemos que la creación de una aplicación que le permita al usuario no solamente saber las tarifas, rutas de traslado, horarios disponibles, sino también la opción de evaluar el servicio brindado, dicha evaluación podrá servir como sistema de las diferentes empresas dedicadas a este servicio conocer de primera mano la experiencia de sus clientes y también como referencia para nuevos clientes.

Otra opción sería el estudio para la crear una aplicación para viajeros que contenga información de las empresas dedicadas al traslado desde y hacia al aeropuerto, así como una lista detallada de hoteles, hostales y pensiones que brinden además de hospedaje el servicio de traslado. La aplicación podrá ser utilizada desde cualquier PC, *laptop* o celular.

Labiosa (et al): Evaluación de la satisfacción de los turistas del Aeropuerto Internacional de Tocumen enfocado al traslado terrestre desde y hacia el aeropuerto.

La aplicación le permitirá al usuario saber las tarifas, rutas de los servicio de traslado brindado por las diversas compañía, le permitirá contactarse con las misma y realizar su reserva. El usuario tendrá la opción de evaluar el servicio que le brindo la compañía, dicha evaluación podrá ser usado por otro usuario de la aplicación como referencia de la calidad del servicio brindado.

En caso que el usuario haya seleccionado un hospedaje que le brinde el servicio de traslado, la aplicación le brindara las diferentes tarifas, disponibilidad de habitaciones y ubicación del hospedaje, actividades recreativas que se ofrecen.

REFERENCIAS

- [1] Aeropuerto Internacional de Tocumen. (2015). Obtenido de <http://www.tocumenpanama.aero/index.php?cccpage=historia>Mayank Suhririd, Kiran B Ladhane, Mahendra Singh, Vishwas A Sawant, “Lateral Load Capacity of Rock Sock-eted Piers Using Finite Difference Approach”, Scientific & Aca Figura 3. Gráfico de Precios en porcentajes.
- [2] Gil, M. B. (s.f.). Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de Tema 2. Conceptos de Aeropuerto: <http://ingenieriaaeroportuaria.blogs.upv.es/2013/02/08/tema-2-concepto-de-aeropuerto/>
- [3] Jaramillo Rodríguez, C. (2001). El Proceso de la Investigación en el Desarrollo del Módulo. Departamento de Publicaciones de la Facultad de Ciencias Administrativas. Loja- Ecuador: J. Padhye, V. Firoiu, D. Towsley, “A stochastic model of TCP Reno congestion avoidance and control”, Univ. of Massachusetts, Tech. Rep. 99-02, 1999.
- [4] Isabel Antón Sarmiento, C. M. (Junio de 2010). Estudio de Calidad de Servicio en el Aeropuerto de Lima: Expectativa y Percepción del Pasajero. Obtenido de Pontifica Universidad Católica del Perú: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/4562>
- [5] Ronaldo E. Walpole, R. H. (2012). Probabilidad y Estadísticas para Ingeniería y Ciencias. Ciudad de Mexico: 9 edición Pearson.

ANALYSIS OF SBR POLYMER ADAPTED TO AN AUTOMOBILE DAMPING SYSTEM

Authors

¹Adin Gil; ¹Antonio Huang; ¹Luz Jiménez; ¹Paul Madrid; ¹Fátima Reyna y ¹Delkis Vergara
²Nacari Marín*

Area

¹Naval Engineering Student, Universidad Tecnológica de Panamá.
²*Professor, Mechanical Engineering Department, Universidad Tecnológica de Panamá.

ABSTRACT

To improve the reliability of the damping system of an automobile we investigated a new design which adds a rubber bushing and spring in parallel with the existing spring. This model provides acceptable stiffness values regarding the car suspension.

Simulation shows that this model adds a resistance feature to the dynamic constant changes.

KEY WORDS

Viscoelastic material, damping system, natural frequency, styrene butadiene

1. Introduction

Springs are commonly used as shock absorbers in automotive suspension systems. As with many mechanical elements, their performance decreases with time. If the stiffness decreases, higher frequency oscillations are transmitted to the car body, resulting in degraded comfort and handling performance. Eventually the shock absorber must be replaced [1].

In this paper we present a model for an additional component whose intent is to reduce the stress on the original component thereby extending its usable lifetime. The component which we refer to as TK-40 Polsder uses the elastic polymer Styrene Butadiene Rubber (SBR). The SBR part was designed to maximize the material properties (see figure 1). The geometry of the rubber piece adds value of stiffness and damping coefficients to the system [2 -3].

The added system, TK-40 Polsder is cheaper than the original suspension spare part and its dynamic behaviour is similar to the original spring. We suggest that there would be a cost saving in installing the TK-40 Polsder initially, due to its longer operating lifetime.

2. Parameters identification

To compare our design with the original design we chose a Formula SAE racecar model. Table 1 shows the general characteristics of the vehicle.

Tabla1. Parameters for the Formula SAE UPM 08 model [4] and Shock Absorber TTX25MkII [5]

Formula SAE UPM 08			
Parameters	Mass (kg)	Stiffness Coefficient (KN/m)	Damping Coefficient (Kg/s)
Sprung Mass	173	-	-
Unsprung Mass	35	-	-
Wheel	20	127.2	1103

* Corresponding author:
nacari.marin@utp.ac.pa

Formula SAE UPM 08			
Spring	-	18.709	-
Shock Absorber	-	-	1300

2.1 Mechanical Properties and Geometry of the TK-40 Polsder

In Figure 1, it is shown the design of TK-40 Polsder of one piece of SBR polymer. This design was done to maximize the properties of the material and its assembly with the spring. The TK 40 Polsder consists on a spring confined between 2 pieces of “SRB material”.

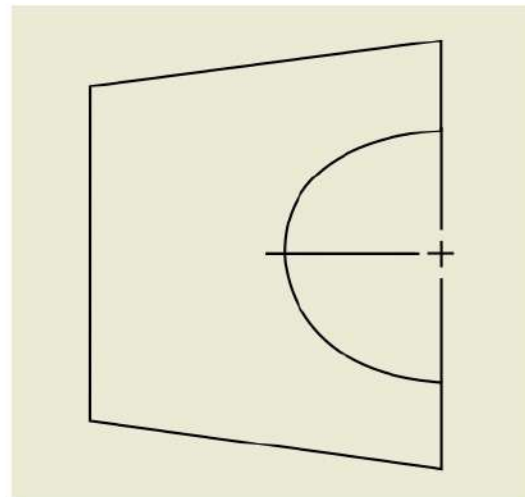


Figure 1. Design of the “SRB” - TK-40 Polsder.

The mechanical properties for both components of the TK-40 Polsder, the spring and the SBR, are shown in table 2.

Table 2. Properties of the spring [6] and SBR [3]

Spring [MATCO17751]	
Stiffness Coefficient (KN/m)	12.7
Styrene-Butadiene rubber [SBR]	
Hardness [IRDH]	50

3. Mathematical model

The mechanical properties of SBR are described using a generalized non-linear viscoelastic model [7] [8] which include a non-linear elastic spring, two Maxwell elements, and one friction element.

This model was integrated to the quartercar suspension system model [1] as shown in Figure 2.

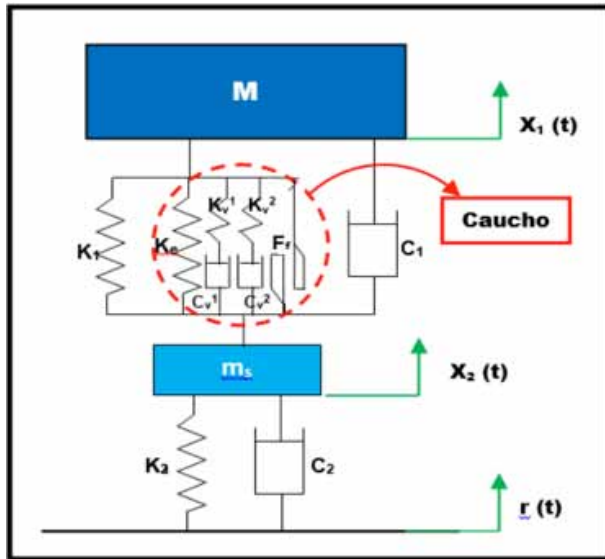


Figure 2. Mathematical Model of a Car Suspension System with integrated TK-40 Polsder.

3.1 Equations of the mathematical model

According to Newton's Second Law, the motion of the spring and unsprung mass in the car suspension system model is described by the following equations:

$$M\ddot{x}_1 = -K_1(x_1 - x_2) - F_e - F_v - F_f - C_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) \quad (3.1)$$

$$m_s\ddot{x}_2 = -K_1(x_2 - x_1) - F_e - F_v - F_f - C_1(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - K_2(x_2 - r(t)) - C_2(\dot{x}_2 - \dot{r}(t)) \quad (3.2)$$

Where: M = spring mass. ms = un-sprung mass. K1 =stiffness coefficient of suspension system. K2=stiffness coefficient of wheel and tire. C1=damping coefficient of suspension system. C2=damping coefficient of wheel and tire.

To represent the effect of rubber, the generalized model uses three forces: Fe in the equation 3.3 provides the non-linear spring element; Fv is the complex viscous force which includes a real and an imaginary component [eq. (3.5), eq. (3.6)]; and Ff represents the damping by a friction force eq. (3.3) [8].

$$F_e = \frac{K_e 2d_e}{\pi} \tan \pi x / 2d_e \quad (3.3)$$

$$F_f = \frac{F_{fmax}}{2x_{02}} (\sqrt{x_{02}^2 + r_m^2 + 6x_{02} - x_{02} - x}) \quad (3.4)$$

$$F_{v0Re} = \left(\frac{(\omega c_{v1})^2}{1 + (\frac{\omega c_{v1}}{K_{v1}})^2} K_{v1}^1 + \frac{(\omega c_{v2})^2}{1 + (\frac{\omega c_{v2}}{K_{v2}})^2} K_{v2}^2 \right) \quad (3.5)$$

$$F_{v0Im} = \left(\frac{c_{v1}}{1 + (\frac{\omega c_{v1}}{K_{v1}})^2} + \frac{c_{v2}}{1 + (\frac{\omega c_{v2}}{K_{v2}})^2} \right) \omega x \quad (3.6)$$

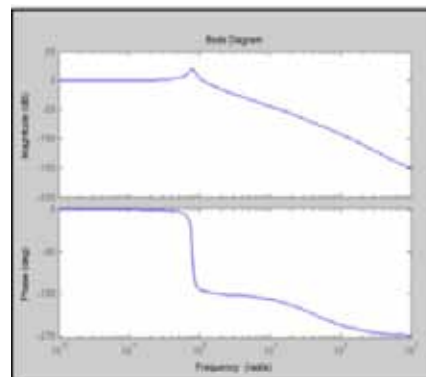
The parameters Ke, Kv1, Kv2 are the stiffness coefficients of the non-linear spring and viscous elements and Cv1, Cv2 are the damping coefficients. Ff max is the maximum friction force and x02 is the displacement required to gain this force [9]. The system is subjected to an exciting force, in this case, the effect of soil surface irregularities. According to the EUSAMA Norm [10] these irregularities can be modeled using a harmonic function, as shown in Eq. 3.7.

$$\dot{r}(t) = r_m \cos \omega t \quad (3.7)$$

4. Results

Using the mathematical model specified in the preceding section and the material specifications, we proceed to simulate the system using Matlab, for both the original suspension system and our modified system TK-40 Polsder.

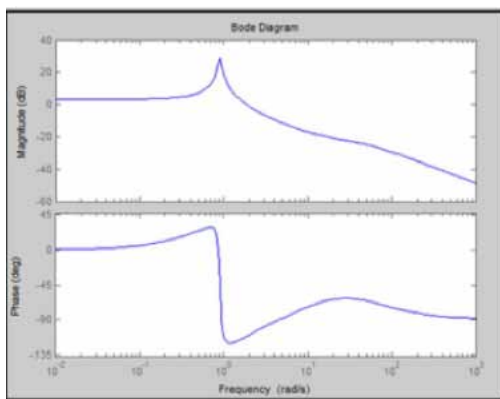
The results from the Matlab simulation of the original system and the TK-40 Polsder system are presented in the first and second graph respectively.



Graphic 1. Bode Plot- Original Suspension System.

The peak in the Magnitude vs Frequency portion of the graph occurs at the transition frequency (Mn). The frequency is independent of the damping coefficient because it depends of the permanent vibration of the disturbing force applied, instead of the speed of the function. The value at the resonance peak represents the maximum value experience by the system in response to the oscillating frequencies. The maximum magnitude depends on the load applied when the frequency increases. The amplitude reaches a maximum value when the excitation frequency is equal to the natural frequency of the system. This will lead to an over damping in the system that can therefore lead to unity gain values of the system. [13].

The second plot shows the results using the TK-40 Po l sder model. The maximum value of the resonance frequency increases by a factor of 0.5 from the original model using a new phase margin between 0 and -90 degrees. Both models were run using similar initial conditions, and both resulted in similar gains as shown the phase angle vs frequency response and the tolerance in system delays. The delay can be an extra block in the forward path of the block diagram that adds phase to the system but has no effect on the gain. The approximations of the system delay using this method is error prompt, since the magnitude depends on the frequency, increasing the magnitude of the error for small frequencies values [14].



Graphic 2. Bode Plot- Suspension System with integrated TK-40 Polster.

The response at higher frequencies need to be improved for the new design.

5. Conclusions

We presented a design, TK-40 Polster that when added to an existing suspension system, improves the system load response vs. frequency at resonance.

The design presented for the “SRB”-Spring lateral sandwich has a simple geometrical form. This analysis is only based on mathematical calculations and the next step is to fabricate the part and submitted it to a rigorous measurements.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was done under the supervision of Dr. Nacari Marin and the guidance of the Eng. Jorge de La Cruz, to whom we would like to express our sincere gratitude. A special thanks to Dr. Elida De Obaldia for her time and important comments.

REFERENCES

- [1] Víctor Chacón Hernando, “Diseño de una suspensión para un vehículo automóvil basada en amortiguadores magnetoreológicos”, Undergraduate Thesis, Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2009.
- [2] Fereshteh Motiee, Saeed Taghvaei-Ganjali and Mercedeh Malekzadeh, “Investigation of correlation between rheological properties of rubber compounds based on natural rubber/styrene-butadiene rubber with their thermal behaviors”, *International Journal of Industrial Chemistry*, 10.1186/2228-5547-4-16, 20132010.
- [3] A. Mujtaba , M. Keller , S. Ilisch , H.-J. Radosch, T. ThurnAlbrecht, K. Saalwächter, and M. Beiner “Mechanical Properties and Cross-Link Density of Styrene-Butadiene Model Composites Containing Fillers with Bimodal Particle Size Distribution”, *Walter-Hülse-Str. 1, 06120 Halle (Saale), Germany*, 2012.
- [4] Fórmula Student, “UPM Racing”, Technical University of Madrid. Proptype: UPM 08. Available on: www.upmracing.es/formula-student.
- [5] Öhlins, USA. Review day: June 3, 2015. Available on: www.ohlinsusa.com/ohlins-ttx-25-fsae.
- [6] General Motors, “Fuelle de Dirección”, MAPCO 17751, 90090811.
- [7] Fredrik Karlsson and Anders Persson, “Modelling nonlinear dynamics of rubber bushings-Parameters Identification and Validation”, Master Dissertation, Lund University, Division of Structural Mechanics, Sweden, 2003.
- [8] A.K. Olsson and P-E Austrell, “A fitting Procedure for viscoelasticelastoplastic Material Models”, *Proceedings of The Second European Conference on Constitutive Models for Rubber*, Germany, 200.
- [9] Zhang Lijun, Yu Zengliang and Yu Zhuoping, “Novel Empirical Model Of Rubber Bushing in Automotive Sus-pension System”, College of Automotive Engineering, Tongji University Cao`an road, 4800, 201804, Shangai, China.
- [10] C. Bocheński, Z. Lozia, J. Mikołajczuk, “Test of objective evaluation of build in vehicle shock absorber research method recommended by EUSAMA association”, *Diagnostyka Maszyn Roboczych*, Borówno, 1999.
- [11] National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: “Rubber Tire Manufacturing – Final Rule”, *Federal Register*. 40 CFR Part 63. Vol. 67, No. 161, 2002. pp. 45588.
- [12] “Development of Emission Factors for the Rubber Manu-facturing Industry”, Volume 4: Emission Factor Application Manual. Final Report, prepared for the Rubber Manufacturers Association (RMA) by TRC Environmental Corporation, Lowell, MA, 1995.
- [13] J.D. Ulmer, “Strain Dependence of Dynamic Mechanical Properties of Carbon-Black-Filled Rubber Compounds, *Rubber Chemistry and Technology*, Vol. 69.
- [14] S. Vieweg ET. AL, “Frecuency and Temperature Depend-ence on the Small-Strain Behavior of CarbonBlack-Filled Vulcanizates, Polym”, *Networks Blends*, 1995.

NARIZ ELECTRÓNICA INALÁMBRICA MÓVIL CON MONITOREO EN TIEMPO REAL

ELECTRONIC NOSE WIRELESS MOBILE WITH REAL TIME MONITORING

Autores

Abel Montenegro; Melvin Trejos y César Araúz

RESUMEN

En este artículo se presenta el diseño, construcción y funcionamiento de un dispositivo móvil de detección de gases o Nariz electrónica, con capacidad de ser controlado y monitoreado en tiempo real de manera remota vía WiFi. En primer lugar, se presentan los componentes principales de la nariz electrónica, como lo son sensores de gas y las tarjetas controladoras, que permiten la comunicación y el monitoreo de forma inalámbrica y en tiempo real. Seguido tenemos el diseño mecánico conformado por servomotores, ruedas y chasis, que permiten el acople de la nariz electrónica y le brindan movilidad y soporte. Posteriormente se incluye información referente al contenido de la programación de los diferentes componentes, software utilizado y su funcionamiento. Finalmente se plantea la posibilidad de utilizar este dispositivo como una solución de bajo costo al problema que representa para el hombre la medición de diferentes concentraciones de gases, ya sea en lugares desconocidos o difíciles de acceder y que presenten algún tipo de riesgo a la integridad individual o colectiva.

PALABRAS CLAVES

Inalámbrico, nariz electrónica, comunicación, sensores de gas, vehículo controlado vía WiFi.

Área

Licenciatura en Ingeniería Electromecánica
Facultad de Ingeniería Eléctrica
Universidad Tecnológica de Panamá

ABSTRACT

This article presents the design, construction and performance of a gas detection mobile device (electronic nose), with the capacity of being controlled and monitored remotely on real time by WiFi. In the first place, it presents the main components of the electronic nose (gas sensors and controlling cards), which allows the wireless communication and real time monitoring. Then it has the mechanic design (servos, wheels and chassis) which allows the electronic nose coupling and gives it mobility. Later it includes information about the content of programming the different components (software) and its performance. Finally it propounds the possibility of using this device as a low cost solution for the problem that represents to humans to measure of different gas concentrations, in unknown places or difficult to access and present some kind of risk to individual or collective health

KEY WORDS

Wireless, electronic nose, communication, gas sensors, WiFi controlled vehicle.

1. Introducción

A principios del siglo XIX se dan los primeros pasos en una nueva ciencia, que iba a revolucionar el mundo. Ésta obtuvo un gran impulso en la época de la revolución industrial donde se desarrollaron los primeros tornos mecánicos motorizados y se dio la construcción de diferentes muñecos automatizados donde surgieron avances significativos, para que esta ciencia sea como hoy en día la conocemos, la cual fue llamada Robótica.

La robótica es la rama de la tecnología que se encarga del diseño, construcción, ejecución, disposición estructural, confección y aplicación de los robots. [1]

El desarrollo de estos dispositivos va en ascenso debido a la gran cantidad de aplicaciones que estos pueden desempeñar, dando como resultado el ahorro de tareas para el ser humano o la sustitución del hombre en diversas áreas como la domótica y la medicina entre otras ciencias.

Una de las aplicaciones más novedosas es una nariz electrónica integrada a un robot móvil que es controlado a distancia, su funcionamiento se basa en el órgano olfativo de los seres vivos; consiste en un sistema sensorial usado para la detección de olores mediante la percepción químico-sensorial y a través de sus sensores químicos permite reconocer y realizar análisis cualitativos y/o cuantitativos de vapores y olores. En la actualidad las narices electrónicas no son solamente usadas para clasificaciones de aroma, sino también para la detección de olores. De ahí que su importancia y utilización se haya extendido a aplicaciones en la agroindustria, medio ambiente, la seguridad, y la medicina. [2] El objetivo principal de esta investigación fue la conexión y coordinación de una nariz electrónica sobre un dispositivo móvil controlado inalámbricamente.

Las secciones de la investigación realizada se detallan a continuación, iniciando con los antecedentes, luego la definición de nariz electrónica, seguidamente se presenta el diseño mecánico del sistema, los sensores utilizados,

continúa con los programas empleados, seguidamente la metodología, después los resultados obtenidos, luego se presentan las conclusiones y las recomendaciones, para terminar con otras aplicaciones que se le pueden dar a la nariz electrónica.

1.1 Antecedentes

Las narices electrónicas ya son una realidad industrial, existiendo más de 20 compañías capaces de comercializar este producto.

Los orígenes de la nariz electrónica se remontan a los años 60, cuando la compañía Bacharac Inc., se dispuso a construir un dispositivo conocido con el nombre de Sniffer, el cual constaba de un solo sensor de gas y por lo tanto, no se consideró una nariz electrónica. En la década de los 80, surgen dos grupos de investigadores, en la Universidad de Warwick en Gran Bretaña y en el Argonne National Laboratory (ANL) en Estados Unidos. Krishna Persaud y George Dodd, realizaron la primera publicación relacionada con las narices electrónicas en 1982. En la Universidad de Manchester, los científicos fabricaron un dispositivo que opera como una nariz electrónica, y podría ser la solución que buscan muchas comunidades y compañías de gestión de residuos, que habitualmente encuentran problemas con los malos olores y la polución aérea (72 por ciento de los desechos domésticos producidos en Gran Bretaña se procesa en vertederos), [3] la idea surge porque no existe ningún instrumento lo bastante sensible y práctico para supervisar bajas concentraciones de olores y gases en estos sitios. Normalmente los gases y olores son analizados manualmente usando detectores portátiles y paneles de voluntarios a los que se les pide oler muestras de aire, y basándose en la concentración de varios agentes químicos, el sistema puede determinar si el gas es metano o los hedores han alcanzado un nivel inaceptable.

Otros estudios Agencia FAPESP, Científicos del Instituto de Química de la Universidad de São Paulo (IQ-USP), en Brasil, desarrollaron “narices electrónicas” capaces de identificar y clasificar por el olor distintos tipos de maderas y de plásticos, y de detectar precozmente la contaminación de naranjas por hongos. [4] [5]

1.2 Nariz electrónica

Es un sistema electrónico sensorial con la capacidad de capturar, los compuestos orgánicos volátiles y diferentes elementos que forman parte de una muestra, pudiendo de esa forma reconocerla o discriminarla dentro de un conjunto de sustancias olorosas. [6]

1.2.1 Componentes

La nariz electrónica está compuesta de un conjunto de sensores capaces de detectar diferentes sustancias dependiendo de las características de los mismos.

La función de estos sensores es dar lugar a una magnitud física (conductancia, resistencia) la cual puede ser capturada por el *hardware* de adquisición y procesada por el software. Esta magnitud debe reflejar en menor o mayor la exposición de los sensores a la muestra olorosa a la cual es expuesta.

Existe una amplia variedad de sensores en el mercado, entre ellos están los basados en semiconductores de óxido metal (Metal-Oxide Semiconductor), basados en onda acústica de superficie (*Surface Acoustic Wave, SAW*), óptica, basada en fotoionización y los basados en resistencia (*Chemiresistors*) [7].

1.2.2 Funcionamiento

Una nariz electrónica es capaz de analizar una gran cantidad de gases, esto va a depender de la programación previa y de los sensores utilizados. Se utilizó como analogía el funcionamiento de la nariz humana. [8]

En el sistema olfativo los olores llegan a nuestra nariz donde son recibidos por aproximadamente seis millones de células receptoras que traducen la información y la envían en forma de impulsos eléctricos a nuestro cerebro para ser analizada, por otra parte el sistema aquí presentado utiliza sensores que interactúan con las moléculas de los gases, (lo que conocemos como olores) y mediante una resistencia interna convierten esta información en diferencias de potenciales, que entran a nuestra tarjeta de control y seguidamente son enviadas vía WiFi a un ordenador donde finalmente se recopilan, analizan y grafican en tiempo real.

2. Metodología

2.1 Diseño mecánico

En ingeniería, el diseño mecánico es el proceso de dar forma, dimensiones, utilización de materiales, tecnología de fabricación y funcionamiento de una máquina para que cumpla unas determinadas funciones. [9]

El objetivo del diseño mecánico en este proyecto era permitir la movilidad de la nariz electrónica. El mismo debía ser capaz de acceder a lugares difíciles y ser controlado remotamente vía WiFi. Pensando en esto, se diseñó un *chasis* que permitiera el acoplamiento efectivo de todos los elementos y que cumpliera con algunas especificaciones seguidamente señaladas.

Se utilizó la idea de un *chasis* ancho y con un centro de gravedad bajo para mayor estabilidad, el mismo dispone de ruedas con banda de rodamiento ancha para permitir una mejor tracción (Figura 1).

Se diseñó una extensión en el *chasis* en la parte frontal superior para colocar los sensores y permitirle una mejor interacción con los gases que va a sensor (Figura 1).

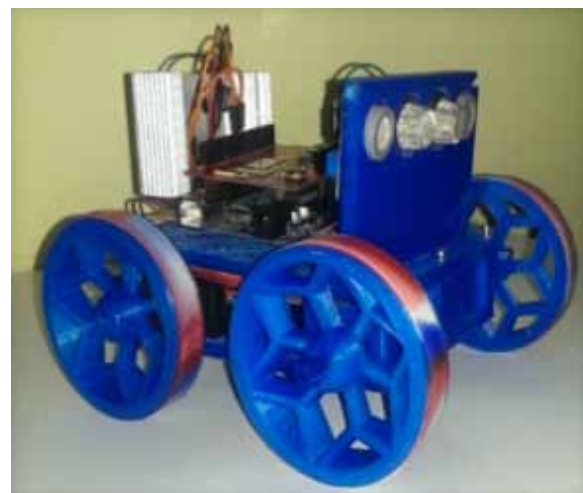


Figura 1. Prototipo terminado.

Los componentes principales son los servomotores de alta torsión modelo (MG996R) que permiten el movimiento efectivo con alto nivel de precisión, y nos brindan la oportunidad de ser controlados a distancia por el sistema Arduino.

2.2 Sensores

Se investigaron diferentes tipos de sensores que se ofrecen en el mercado electrónico mundial y se evaluó principalmente el grado de sensibilidad vs el costo del equipo.

El tipo de sensor que resultó vencedor fue el electroquímico de la serie MQ, dado que ofrece una buena sensibilidad a bajas y altas concentraciones de gas y es muy económico (B/. 7.00 por unidad). [10]

Se utilizaron cuatro sensores, cada uno de ellos está diseñado para brindarnos información precisa para diferentes tipos de gases (Tabla 1).

Tabla 1. Sensores

Sensor	Detecta	Concentración
MQ-4	Metano, Gas Natural Comprimido (GNC)	(300-10000) ppm
MQ-7	Monóxido de Carbono (CO)	(10-10000) ppm
MQ-9	Monóxido de Carbono (CO) y Propano y Butano (GLP)	(10-1000) ppm CO (100-10000) ppm GLP
MQ-135	Amoniaco, Alcohol y Benceno	(10-300) ppm NH3 (10-1000) ppm Benceno (10ppm-300) ppm Alcohol

La serie MQ utiliza un pequeño calentador interior con un sensor electroquímico para hacer sus mediciones.

Los sensores emplean la placa y el *software* Arduino como interfaz para conectarse y mostrar los valores presentados como valores analógicos de 10 bits, esto significa que asigna a las tensiones de entrada que van entre 0 y 5 voltios, valores enteros entre 0 y 1023. Estos valores son los que aparecen en las gráficas y son un referente para saber cuál es la concentración del gas sentido, esto ocurre mediante la interacción del sensor con las moléculas estudiadas en ese momento.

En este proyecto los sensores no fueron utilizados para medir la cantidad de gas existente (cuantitativo), sino para detectar la presencia de gases (cualitativo).

Los sensores presentan una característica valiosa pues no solo reaccionan a un gas particular, sino que presentan diferentes respuestas según las moléculas de gas a las que son expuestos, algunos son más sensibles a ciertas moléculas (olores) que otros, al analizar la reacción del conjunto de sensores para un gas específico podemos hacer una caracterización de los mismos, ampliando la gama de gases que pueden ser detectados.

2.3 Software

Se utilizaron diferentes tipos de software durante la programación de nuestra nariz electrónica móvil.

Primeramente se trabajó con el programa Arduino para hacer la programación de la placa controladora de los sensores, los servomotores y la placa WiFi.

Seguido se utilizó la aplicación WampServer para crear un servidor que permitió la conexión vía WiFi.

Por último se empleó la aplicación PLX-DAQ para poder exportar los valores al programa Excel y de esta manera monitorearlos y graficarlos.

2.4 Procedimientos

La metodología de este proyecto se dividió en tres áreas. El siguiente diagrama de flujo explica el proceso completo, haciendo énfasis en dichas áreas (Figura 2).

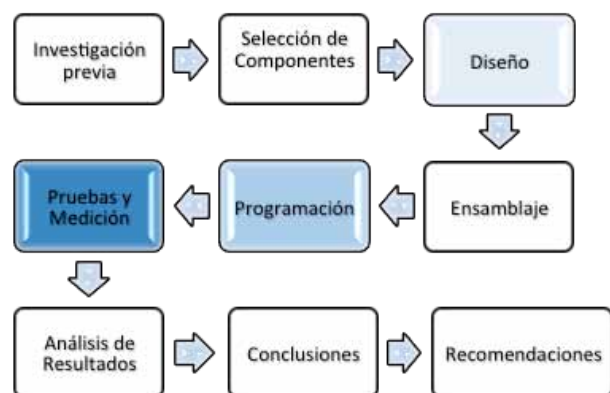


Figura 2. Diagrama de flujo.

Una vez hecha la investigación previa se llevó a cabo la primera etapa, en donde se realizó un diseño mecánico que era responsable de la movilidad y de darle soporte al dispositivo, la segunda etapa de la metodología fue la programación, esta fue vital para el desarrollo del proyecto, pues su objetivo era brindar el control y de enviar la información obtenida por los sensores en tiempo real.

Finalmente la metodología de la medición, para la cual se utilizó el conjunto de los cuatro sensores. En primera instancia se analizaron diferentes formas de mediciones, entre ellas la variación de la distancia y el ángulo en que llegaban los gases para encontrar la mejor ubicación de los sensores.

Para el diseño mecánico se trabajó en diferentes bosquejos del vehículo tomando en cuenta la posición y el espacio que ocupan cada uno de los componentes, se empleó el programa Inventor para diseñarlo de manera virtual y luego fue el turno de la impresora 3D traerlo a la realidad. La programación existente en los documentos investigados fue analizada exhaustivamente buscando beneficios y contras, hasta dar con la más adecuada.

Finalmente se hizo una investigación previa para analizar cuáles eran los rangos de operación y las salidas de los sensores en condición "normal" (temperatura, presión altura y humedad). (Tabla 2) (Figura 3).

Tabla 2. Valores de los sensores en condición normal

MQ-4	MQ-74	MQ-9	MQ-135
19-20	33-35	27-28	18-19

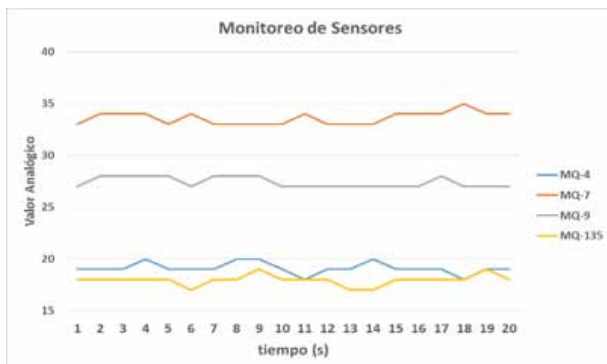


Figura 3. Monitoreo de sensores en condición normal.

Cada sensor trabaja a un nivel diferente y reacciona diferente a la presencia de un gas específico.

Una vez ensamblados todos los componentes del sistema se procedió con las diferentes pruebas. Las pruebas se realizaron en un salón de cerrado, con dimensiones de 3,5 m x 4 m, sin corrientes de aire, a temperatura de 28°C.

Las muestras de olor estaban impregnadas en el suelo en lugares específicos dentro del salón.

Se realizaron dos tipos de pruebas diferentes, las primeras consistieron en acercar el móvil a la fuente de olor de manera frontal y analizar los datos obtenidos para las diferentes distancias.

Las segundas pruebas consistieron en colocar las muestras en los flancos izquierdo, y derecho, del móvil a diferentes distancias y analizar si eran captadas por el sistema.

3. Resultados

El sistema captó diferentes moléculas de olor a las que fue sometido, se trabajó con olores químicos y naturales.

De las pruebas realizadas variando distancias y muestras, los resultados obtenidos más relevantes se presentan en el siguiente apartado. (Figuras 4, 5 y 6)

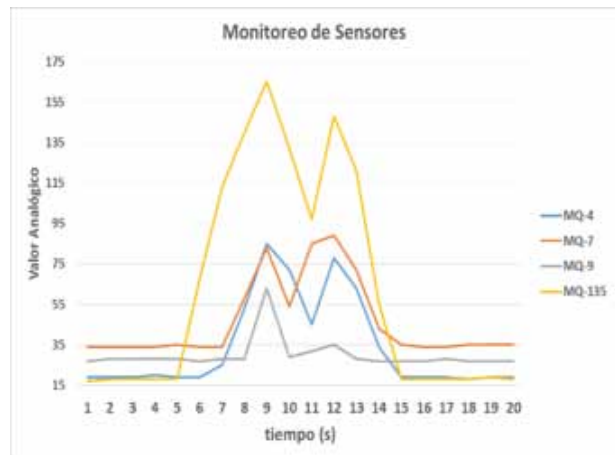


Figura 4. Alcohol a 3cm de frente al móvil.

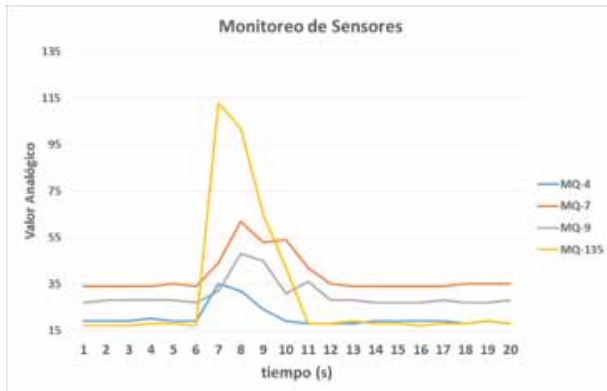


Figura 5. Humo a 5 cm de frente al móvil.

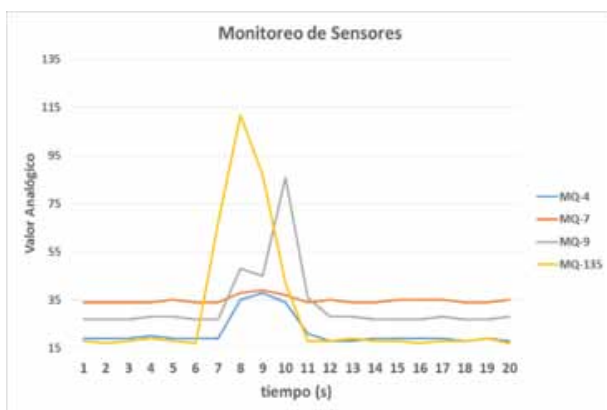


Figura 6. Gasolina a 3 cm de frente al móvil.

4. Conclusiones

El objetivo principal fue alcanzado pues se logró el control efectivo del móvil de manera inalámbrica y asimismo hacer mediciones de diferentes tipos de muestras químicas y naturales, utilizando los cuatro sensores en conjunto, mediante el acoplamiento de la tarjeta de control Arduino y la tarjeta WiFi.

El conjunto de sensores obtuvo un mejor desempeño cuando se utilizaron moléculas de gas de tipo químico, que cuando fueron de tipo naturales.

No fue posible realizar una caracterización de gases a falta de mayores datos.

El rango efectivo de detección fue de 15 cm (habitación cerrada, sin corrientes de aire), pero al ser móvil esto no representa una limitante.

El mejor lugar para ubicar los sensores fue la parte frontal del vehículo.

El rango para el control remoto del vehículo oscila entre los 15 y los 20 metros desde el punto del Router utilizado, recordemos que la conexión es vía WiFi.

El valor aproximado del sistema móvil presentado oscila los B/. 150.00, mientras que los cromatógrafos y detectores de gas tienen un valor superior a los B/. 800.00 y poseen la limitación de no ser móviles.

5. Recomendaciones

Utilizar fuentes de alimentación más compactas, eficientes y económicas, ya que el sistema consume mucha corriente para su operación. Incorporar algún mecanismo que permita recoger de forma más eficaz las moléculas dispersas en el ambiente, ya sea que el olor venga hacia la parte frontal o por los flancos.

Mejorar el diseño mecánico del chasis, agrandando un poco su longitud para permitir el uso de baterías y circuitos reguladores de voltaje y otros equipos que se deseen agregar. Adquirir más sensores que puedan mejorar la capacidad de analizar olores de la nariz electrónica.

Colocar una cámara y una linterna sobre el vehículo para poder trabajar de noche o en zonas con visibilidad limitada.

Este sistema es una solución de bajo costo y viable para empresas que no pueden costear equipos medición de gases y para personas que trabajan en lugares en donde puedan existir concentraciones peligrosas de gases nocivos.

Entre algunas de las aplicaciones parecidas que pueden darse al sistema presentado para ampliar su funcionalidad están:

- Nariz electrónica capaz de oler los gases de un volcán. [11]
- La nariz electrónica para la detección de contaminación causada por hongos en las bibliotecas. [12]

- Monitorización de la calidad del agua potable. [13]
- Estudio de las emisiones de un río contaminado. [14]
- Un nuevo sistema inteligente de la nariz electrónica para medir y analizar los olores en granjas de ganado y aves. [15]
- Análisis de los olores de explosivos. [16]
- Clasificación de humos. [17]

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias y a los profesores, Dra. Iveth Moreno y Dr. José Rolando Serracín.

REFERENCIAS

- [1] A. Barrientos, Fundamentos de Robótica, España: Mc Graw Hill, 2007.
- [2] I. Moreno, «La Nariz Electrónica: Estado del Arte,» RIAI, vol. VI, n° 3, pp. 76-91, 2009.
- [3] M. Luque, «Sólo Ciencia,» Diciembre 2014. [En línea]. Available: www.solociencia.com. [Último acceso: Junio 2015].
- [4] J. Gruber, «A conductive polymer based electronic nose for early detection of Penicillium digitatum in post-harvest oranges,» Materials Science and Engineering, vol. XXXIII, n° 5, p. 2766-2769, 2013.
- [5] C. Esteves, «New composite porphyrin-conductive polymer gas sensors for application in electronic noses,» Sensors and Actuators B: Chemical, vol. CXCI, p. 136-141, 2014.
- [6] H. Gutiérrez, «Análisis Instrumental,» de 4ta Jornada de Instrumentación y Procesos, Barcelona, 1999.
- [7] L. Corona, Sensores y Actuadores: Aplicaciones con Arduino, Grupo Editorial Patria, 2015.
- [8] G. Rodríguez, «El poderoso sentido del olfato,» Resources, vol. XI, n° 2, 2004.
- [9] R. Budynas, Diseño en Ingeniería Mecánica 9, McGraw Hill, 2012.
- [10] Arduino, «www.arduino.com,» 2015. [En línea]. Available: http://playground.arduino.cc/Main/MQ_GasSensors. [Último acceso: Junio 2015].
- [11] J. Díaz, «turcon.blogia.com,» 2015. [En línea]. Available: <http://turcon.blogia.com/2006/030803-vulcanologia-inventode-una-nariz-electronica-capaz-de-oler-los-gases.php>. [Último acceso: 2015].
- [12] P. Canhoto, «Application of electronic nose technology for the detection,» International Biodeterioration & Biodegradation, vol. LIV, pp. 303-309, 2004.
- [13] W. Gardner, «An electronic nose system for monitoring the quality of potable water,» Sensors and Actuators B: Chemical, vol. LXIX, pp. 336-341, 2000.
- [14] R. Lamagna, «The use of an electronic nose to characterize emissions from highly polluted river,» Sensor and Actuators B: Chemical, vol. CXXXI, pp. 121-124, 2008.
- [15] L. Pan, «An wireless electronic nose network for odours around livestock farms,» de 14th International Conference of Mechatronics and Machine Vision, 2007.
- [16] J. Staples, «“Analysis of Odors from Explosives using an Electronic Nose”,» 2007. [En línea]. Available: http://www.znose.jp/pdf/Odors_of_Explosives1.pdf. [Último acceso: Junio].
- [17] B. Charumporn, «Classifying Smokes Using an Electronic Nose and Neural Networks,» IEEE Proceedings of the 41st SICE Annual Conference., vol. V, pp. 2661-2665, 2002.

OBTENCIÓN DE ETANOL A BASE DE LA SAVIA DE LA PALMA DE COROZO *ATTALEA BUTYRACEA*

OBTAINING ETHANOL FROM THE SAP OF THE COROZZO PALM *ATTALEA BUTYRACEA*

Autores

Ricardo Arosemena, Ana Castillo, Miriam Castillo, Valeria Castillo*, Raquel Chen, Ana Fuentes y Berneth Jaramillo

Área

Licenciatura en Ingeniería Industrial
Centro Regional de Veraguas
Universidad Tecnológica de Panamá

RESUMEN

El etanol o alcohol etílico se obtiene mediante la aplicación de varios procesos químicos, empezando por la fermentación para pasar a un proceso de destilación; dentro de este último, la fermentación alcohólica es la más utilizada. El etanol presenta una variedad de usos, que van desde combustibles, culinarios, farmacéuticos, industria química, entre otros. Una cualidad principal es su carácter renovable y la poca afectación al ambiente que produce. Los efectos ambientales que están desarrollando el cambio climático obligan a buscar alternativas de generación de combustibles y materias primas para la industria que reduzcan o mitiguen la afectación ambiental. El análisis beneficio/costo es elemento preponderante que definirá la mejor alternativa social y económica. En el presente proyecto, se logró obtener etanol de la savia de palma de corozo *Attalea butyracea*, las pruebas químicas preliminares, mostraron su buena calidad de flammabilidad. De esta forma, quedó demostrada la viabilidad técnica de producir etanol a partir de esta fuente vegetal, no obstante se hace necesario seguir investigando y documentando aspectos como volumen y eficiencia de producción y experimentar otras tecnologías que permitan mejores rendimientos, buscar nuevos mercados, fuentes de financiamiento, y a futuro investigar sobre la disponibilidad de áreas destinadas para la plantación, producción, macro de especies vegetales de este tipo de palmas y la localización de una futura planta de producción de etanol, entre otros.

PALABRAS CLAVES

Bio combustible, etanol, palma de corozo, tecnología

ABSTRACT

Ethanol or ethyl alcohol is obtained by applying various chemical processes, fermentation starting to move to a distillation process; within the latter, the alcoholic fermentation is the most used. Ethanol has a variety of uses, ranging from fuels, culinary, pharmaceutical, chemical industry, among others. A major quality is its renewable nature and little affectation to the environment that produces. Environmental effects that are developing climate change require using alternative generation fuels and raw materials for industry to reduce or mitigate environmental involvement. The analysis benefit / cost is a dominant element that will define the best social and economic alternative. In this project, we were able to obtain ethanol from the sap of corozzo palm *Attalea butyracea*, preliminary chemical tests showed its good quality of flammability. Thus demonstrated the technical feasibility of producing ethanol from the plant source, however it is necessary to continue investigating and documenting aspects such as volume and production efficiency and experience other technologies to better yields, new markets, sources financing, and future research on the availability of areas intended for planting, production, macro of plant species of this type of palms and location of future ethanol production plant, among others.

KEY WORDS

Bio fuel, ethanol, corozzo palm, technology

1. Introducción

La principal motivación para desarrollar cualquier trabajo de investigación está sustentada en el deseo de aportar conocimientos y experiencias que contribuyan al desarrollo de cierta actividad.

Un proyecto, descrito en forma general se basa en la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema tendiente a resolver, entre muchas, una necesidad.

En la actualidad, una necesidad principal, es la obtención de energía, a este respecto, el etanol se convierte en una fuente importante de producción de energía, además presenta otros usos dentro de la actividad industrial.

El uso de biocombustibles se presenta como una competencia al uso de la tierra para la producción de alimentos, por el hecho de que la fuente de materia prima proviene de todo cultivo que produzca azúcares susceptibles de fermentación. El uso final que tenga el uso tierra es una discusión social económica que tendrá que realizarse, pues las repercusiones ambientales cada vez son más notorias.

1.1 Características del etanol

El etanol es un compuesto químico, conocido también como alcohol etílico. Es un alcohol que se presenta en condiciones normales de presión y temperatura como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78.4 °C.

Mezclable con agua en cualquier proporción; a la concentración de 95% en peso se forma una mezcla azeotrópica. El etanol a temperatura y a presión ambiente es un líquido incoloro y volátil que está presente en diversas bebidas fermentadas. [1, 2, 3]

1.1.1 Formas de obtener etanol

Para obtener el etanol, el compuesto debe pasar por varios procesos que permiten la obtención del mismo, los cuales se describen en los siguientes párrafos:

Fermentación alcohólica: es un proceso biológico de fermentación en ausencia de aire, originado por la actividad de algunos

microorganismos que procesan los hidratos de carbono (por azúcares, por ejemplo la fructosa glucosa sacarosa, sirve con cualquier sustancia que tenga la forma empírica de la glucosa, es decir, que sea una Hexosa.) para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol (cuya forma química es: $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$), dióxido de carbono (CO_2) en forma de gas y unas moléculas de ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico. [4]

El etanol resultante se emplea en la elaboración de algunas bebidas alcohólicas, tales como el vino, la cerveza, la sidra y otros. Aunque en la actualidad se empieza a sintetizar también etanol mediante la fermentación a nivel industrial a gran escala para ser empleado como combustible. [5]

La fermentación alcohólica tiene como finalidad biológica proporcionar energía anaeróbica a los microorganismos unicelulares (levaduras) en ausencia de oxígeno a partir de la glucosa. En el proceso las levaduras obtienen energía disociando las moléculas de glucosa y generan como desechos alcohol y dióxido de carbono CO_2 .

Purificación: el método más antiguo para separar el etanol del agua es la destilación simple donde los vapores producidos son canalizados hacia un condensador, el cual lo refresca y condensa de modo que el destilado no resulta puro. Su composición será idéntica a la composición de los vapores a la presión y temperatura dados.

No obstante la pureza está limitada a un 95-96% debido a la formación de un azeótropo de agua-etanol de bajo punto de ebullición. En el transcurso de la destilación hay que desechar la primera fracción que contiene principalmente metanol, formado en reacciones secundarias. Éste es el único método admitido para obtener etanol para consumo humano.

Para poder utilizar el etanol como combustible mezclándolo con gasolina, hay que eliminar el agua hasta alcanzar una pureza del 99.5 al 99.9%. El valor exacto depende de la temperatura, que determina cuando ocurre la separación entre las fases agua e hidrocarburos.

La literatura consultada hace referencia de que para obtener etanol libre de agua se aplica la destilación azeotrópica (en una mezcla con benceno o ciclohexano). De estas mezclas se destila a temperaturas más bajas el azeotrópo, formado por el disolvente auxiliar con el agua, mientras que el etanol se queda retenido. Otro método de purificación muy utilizado actualmente es la adsorción física mediante tamices moleculares.

A escala laboratorial, también se pueden utilizar desecantes como el magnesio, que reacciona con el agua, formando hidrógeno y óxido de magnesio, como hace referencia la literatura.

Síntesis química: el etanol para uso industrial se puede sintetizar mediante hidratación catalítica del etileno con ácido sulfúrico como catalizador. El etileno suele provenir del etano (un componente del gas natural) o de nafta (un derivado del petróleo). [4-5]

Tras la síntesis se obtiene una mezcla de etanol y agua que posteriormente hay que purificar mediante algunos de los procesos mencionados anteriormente.

Según algunas fuentes, este proceso es más barato que la fermentación tradicional, pero en la actualidad representa solo un 5% de la capacidad mundial de producción de etanol. [6]

1.2. Usos y aplicaciones

1.2.1 Generales

Además de usarse con fines culinarios (bebidas alcohólicas), el etanol se utiliza ampliamente en muchos sectores industriales y el sector farmacéutico, como excipiente de algunos medicamentos y cosméticos (es el caso del alcohol antiséptico 70° GL y en la elaboración de ambientadores y perfumes). Es un buen disolvente, y puede utilizarse como anticongelante, y también es un desinfectante.

Su mayor potencial bactericida se obtiene a una concentración de aproximadamente el 70%.

1.2.2 Industria química

La industria química lo utiliza como compuesto de partida en la síntesis de diversos productos, como el éter dietílico, acetato de etilo (un disolvente para pegamentos, pinturas, etc), entre otros.

1.2.3 Combustible

Se emplea como combustible industrial y doméstico.

Estudios del Departamento de Energía de los Estados Unidos hacen referencia al uso en automóviles reduce la producción de gases de invernadero en un 85%. En países como México existe la política del ejecutivo federal de apoyar los proyectos para la producción integral de etanol y reducir la importación de gasolinas que ya alcanza el 60%. [7]

Existen varias opciones que utilizan un producto u otro como sustituto de la gasolina. Así es el caso de los coches y autobuses que emplean gas natural; los coches híbridos que funcionan usando electricidad y gasolina alternativamente y los biocombustibles, que son mezclas de bioetanol y gasolina, o bien de aceites vegetales y diesel.

El empleo de estos biocombustibles tiene como objetivo principal el reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que sobrecalientan la superficie terrestre y aceleran el cambio climático. Adicionalmente, se persigue una segunda meta que es la menor dependencia de las importaciones de crudo. Al consumir bioetanol se impulsa la actividad agrícola e industrial y se aumenta el grado de autosuficiencia energética.

1.3 Ventajas y desventajas

Las principales ventajas de usar etanol en lugar de gasolina son las siguientes:

- Al ser renovable y producido localmente, el etanol permite disminuir la dependencia del petróleo, lo que mejora la seguridad energética de los países.
- El etanol al ser un oxigenante de las gasolinas, mejora su octanaje de manera considerable, lo que ayuda a descontaminar nuestras ciudades y reducir los gases causantes del efecto invernadero. [8]

* Corresponding author:
valeria.0392@hotmail.com

- El octanaje del etanol puro es de 113 se quema mejor a altas compresiones que la gasolina, por lo que da más poder a los motores.
- Aumenta el valor de los productos agrícolas de los que procede, mejorando así los ingresos de los habitantes rurales y, por ende, elevando su nivel de vida.

Las principales desventajas de usar etanol en lugar de gasolina que se le podrían atribuir son:

- El etanol se consume de un 25% a un 30% más rápidamente que la gasolina; para ser competitivo, por tanto, debe tener un menor precio por galón.
- Cuando es producido a partir de caña de azúcar, en muchos lugares se continúa con la práctica de quemar la caña antes de la cosecha, lo que libera grandes cantidades de metano y óxido nitroso, dos gases que agravan el calentamiento global.

El etanol es un combustible que puede producirse a partir de un gran número de plantas, con una variación, según el producto agrícola, del rendimiento entre el combustible consumido y el generado en dicho proceso.

Este etanol, conocido como bioetanol, está sujeto a una fuerte polémica: para unos se perfila como un recurso energético potencialmente sostenible que puede ofrecer ventajas medioambientales y económicas a largo plazo en contraposición a los combustibles fósiles, mientras que para otros es el responsable de grandes deforestaciones y del aumento del precio de los alimentos, al suplantar selvas y terrenos agrícolas para su producción, dudando además de su rentabilidad energética.

El bioetanol tiene las mismas características y composición química que el etanol ya que se trata del mismo compuesto. La diferencia radica en su proceso de producción.

Todos los licores alcohólicos que proceden de la fermentación del azúcar de alguna planta se pueden denominar como bioetanol.

Debido al aumento de las medidas tomadas para controlar las emisiones totales de gases con efecto invernadero, la utilización de este alcohol como combustible para el transporte por

carretera está creciendo muy rápido. Un análisis del ciclo de vida completo de este producto como combustible muestra como las emisiones generadas en el proceso de producción del combustible y las de operación son compensadas por las fijadas en el cultivo durante su crecimiento.

El etanol se obtiene fácilmente del azúcar o del almidón en cosechas de maíz y caña de azúcar, entre otros. Sin embargo, los actuales métodos de producción de bio-etanol utilizan una cantidad significativa de energía en comparación con la energía obtenida del combustible producido. Por esta razón, no es posible sustituir enteramente el consumo actual de combustibles fósiles por bio-etanol.

1.4 Materia prima

En la naturaleza existen diversas fuentes de materia prima para la producción de etanol, como es el caso de la palma de corozo (*Attalea butyracea*).

Este tipo de palmera se distribuye desde el sur de México, Centroamérica, Venezuela y Trinidad y Tobago (Caribe) hasta el noroeste de la región amazónica de Colombia, Perú, Ecuador, Bolivia y Brasil.

La *Attalea butyracea* presenta un estípite de 8 a 10 metros de altura y 35 a 75 cm de diámetro. Posee entre 25 y 40 hojas con vaina de 1 a 1,5 m de longitud por 30-45 cm de ancho, con un raquis de 4 a 5 m de largo y cada hoja con 180-240 pares de pinnas.

El mesocarpio es comestible, carnoso y anaranjado, y el endocarpio posee de una a tres semillas de 3 cm de longitud por 0,8 cm de diámetro.

La fruta de esta especie se ha usado como alimento en varias comunidades indígenas de Sudamérica durante milenios. La industria alimentaria la usa para la alimentación de porcinos. El endocarpio se usa como combustible. El mesocarpio del fruto se utiliza para preparar bebidas como vinos. La semilla es una oleaginosa promisoriosa de la que se extrae aceite utilizado en la fabricación de jabones, mientras que la torta resultante se usa en alimentación animal. Las hojas sirven para

techar casas y elaborar artesanías. Además, el palmito es un rico alimento.

En Panamá no existen plantaciones de palma de corozo propiamente establecidas, las plantas que existen crecen en forma silvestre y son utilizadas para la extracción de savia para consumo humano, para la elaboración de vinagre artesanal y bebidas fermentadas, se estima que la palma produce fruto a los cuatro años y tiene una vida útil de hasta veinte años. Cabe destacar que este cultivo es poco exigente en cuanto a las condiciones agronómicas.

Este trabajo demuestra la factibilidad de obtener etanol de la palma de corozo, la producción a nivel industrial involucra el levantamiento de los costos de producción, para poder determinar la rentabilidad de producir etanol de esta fuente.

El potencial a futuro se debe inclinar hacia usos farmacéuticos, industriales y combustibles, no debe utilizarse en la fabricación de bebidas alcohólicas, por las repercusiones sociales que implica.

2. Materiales y métodos

El principal objetivo de este trabajo es verificar la capacidad de obtener etanol de la palma de corozo.

Para realizar este trabajo de investigación, se utilizó como fuente para obtener el etanol, la *Attalea butyracea* denominada comúnmente como palma de corozo.

Las pruebas realizadas en el laboratorio de química general del Centro Regional de Veraguas de la Universidad Tecnológica de Panamá, para la obtención de etanol se realizó de la forma como se describen en los siguientes párrafos.

2.1 Extracción de la savia

Para la extracción de la savia se procedió a cortar la palma de corozo, específicamente en el corregimiento de La Montañuela distrito de Atalaya provincia de Veraguas.

A la misma se le hizo un hueco en forma

rectangular, y se recogió la savia por la mañana y por la tarde, durante una semana obteniendo diariamente aproximadamente un litro del líquido. Figura 1.



Figura 1. Extracción de la savia.

2.2 Etapa de fermentación natural

Una vez obtenida la savia de dicha palma, se colocó el líquido en frascos por aproximadamente 4 semanas, para alcanzar el punto de fermentación adecuada para el siguiente proceso.

2.3 Proceso de destilación

Posterior a la etapa de fermentación se procedió a tomar una muestra de 1000 ml de la savia de la palma la cual se llevó a una temperatura de 78 °C, temperatura necesaria para la ebullición del etanol; la temperatura se mantuvo constante hasta obtener los primeros mililitros de la destilación.

Posterior a ello en un tiempo aproximado de cinco horas se obtuvo 300 mL de la muestra de etanol Figura 2.



Figura 2. Sistema de destilación.

2.4 Análisis químicos

Para determinar la presencia de etanol en la muestra destilada se hicieron dos pruebas, la primera fue con el permanganato de potasio y la segunda con la de flamabilidad, que a continuación se explican.

2.4.1 Con permanganato de potasio

El permanganato de potasio es un compuesto químico para determinar la presencia de alcoholes, es de un color morado, y al estar en presencia del alcohol toma un color chocolate oscuro. Utilizando este compuesto en tres sustancias que fueron: agua, la muestra que se destiló y etanol al 95% ya preparado obtenido del laboratorio, como se muestra en la Figura 3. Dando positivo a la prueba en presencia de alcohol.



Figura 3. El permanganato de potasio con agua, la muestra destilada y etanol al 95 %.

2.4.2 Flamabilidad

Una vez comprobada la presencia de alcohol en la muestra, se realizó la prueba de flamabilidad la cual consiste en encender con un fósforo a la prueba destilada hasta que se consume. Oportunamente se dieron resultados positivos como se muestra en la Figura 4 comprobando así la presencia de etanol.

3. Discusión y resultados

A las primeras muestras destiladas se procedió a realizarles pruebas químicas la de flamabilidad



Figura 4. Encendido de la muestra.

para determinar que era etanol, ya que debido a sus propiedades, es volátil.

Sin embargo cuando se realizó no se obtuvo el resultado que se quería; ya que no encendió, entonces para asegurar que se había destilado un alcohol y no agua se realizó otra prueba química con el permanganato de potasio; ya que esta indica la presencia de alcohol, la misma dio positiva en presencia de etanol.

Por tal motivo se volvió a redestilar la muestra obtenida de la primera destilación.

En esta segunda redestilación si se obtuvo etanol, ya que se aplicó otra vez la prueba de flamabilidad, y esta vez sí encendió con éxito confirmando que se había destilado etanol.

Una vez terminado el presente proyecto, se concluye que sí es posible obtener etanol a partir de la savia de la palma de corozo, como quedó demostrado con las experiencias realizadas.

4. Conclusiones

La producción de etanol es una posibilidad que adquiere mayor importancia, sin importar la fuente, la búsqueda debe ser continua, cada día se

genera un aumento progresivo en combustibles y la demanda de alcoholes para uso industrial y medicinal adquiere mayor importancia.

Por tanto en este proceso de investigación, sí se pudo obtener etanol a partir de la savia de la palma de corozo, con el proceso de destilación mencionados anteriormente, demostrando así de forma exitosa que esta palma es una fuente potencial de etanol, quedando por determinar la tecnología para los volúmenes adecuados para las necesidades del mercado.

REFERENCIAS

- [1] Marcial Córdoba Padilla, "Formulación y Evaluación de Proyectos", Bogotá, Ecoe Ediciones, 2006.
- [2] Nassir Sapag Chain, Reinaldo Sapag Chain, "Preparación y Evaluación de Proyectos", 5ta edición, Méjico: McGraw-Hill Interamericana, 2007.
- [3] Wikipedia. (2015, mayo) *Attalea butyracea*, [online] Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Attalea_butyracea
- [4] Wikipedia. (2015, junio) Etanol [online]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/Etanol>
- [5] Martínez, F.; Gómez, A & Ávila, C. (2002) volúmenes molales parciales de transferencia de algunas sulfonamidas desde el agua hasta la mezcla agua-etanol ($x=0.5$). *Acta Farm. Bonaerense* 21 (2) pp: 107-118.
- [6] Monsalve, J.; Medina de Pérez, V.; Ruiz Colorado, A. (2006). Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. *Dyna* 73 (150) pp: 21-27.
- [7] González, A.; Jiménez, I.; Rodríguez, M.; Restrepo, S. & Gómez, J. (2008). Biocombustible de segunda generación y biodisel: una mirada a la contribución de la Universidad de los Andes. *Revista de Ingeniería*. (28) pp: 70-82.
- [8] Ortiz, S. (2003) Buscando combustibles alternativos: el bioetanol. *Anales de medicina y Electricidad*. pp.46-53.

REMOCIÓN DE PIGMENTOS DE EFLUENTES A TRAVÉS DE UN BIOFILTRO DE GRAVEDAD DE LECHO FIJO DE EXOESQUELETOS DE ESPECIES MARINAS

REMOVAL OF PIGMENTS FROM EFFLUENTS BY USING GRAVITY BIOFILTER OF FIXED LAYER OF EXOSKELETONS OF MARINE SPECIES

Autores

Ramón Bonilla; Mariela Campos, Katrina Concepción, Carla Díaz*, Héctor Herrera, Lisbeth López, Sonia Mojica

Área

Licenciatura en Ingeniería Industrial
Centro Regional de Veraguas
Universidad Tecnológica de Panamá

RESUMEN

En este proyecto se confecciona un biofiltro de lecho fijo a base de exoesqueletos (escamas) marinos finamente pulverizados. La característica principal de las escamas, es que contienen un principio activo denominado quitina, en las paredes de su estructura, la cual, según reporte de la literatura consultada es utilizada como material adsorbente de intercambio iónico. El biofiltro construido tiene como objetivo fundamental remover pigmentos, sean estos orgánicos o inorgánicos disueltos en efluentes sintéticos. El procedimiento involucró distintas fases, entre las cuales, se incluyen: secado, pulverización; lavado de las escamas de pescado; confección del lecho del filtro, montaje de las unidades y tratamiento de los efluentes. Los resultados obtenidos en el tratamiento de efluentes con pigmentos disueltos, a base de compuestos químicos o con muestras de pigmentos orgánicos y pasados por gravedad a través del biofiltro construido, es que a medida que se adsorben los pigmentos, el efluente se clarifica cada vez más, situación que resulta eficiente, por el hecho de que las escamas no son solubles en medio acuoso. En este orden de ideas, los biofiltros construidos fueron capaces de remover pigmentos inorgánicos en unidades de tratamiento sencillas,

ABSTRACT

In this project a biofilter fixed bed is constructed based on marine exoskeletons (scales) finely pulverized. The main characteristic of the flake, is containing an active substance called chitin, on the walls of the structure, which according to the literature report, is used as adsorbent material inter-exchange ion. The built biofilter's main purpose is to remove pigments, whether they are inorganic-organic or synthetic effluent dissolved mechanics. The procedure involved different phases, which include: drying, spray; washing the fish scales; making the filter bed, mounting units and effluent treatment. The results obtained in the treatment of effluent with dissolved pigments based chemical compounds or organic samples and past pigments gravity constructed through the biofilter, is that as the pigments are adsorbed, the clarified effluent increasingly gets clearer each time. This situation is efficient, due to the fact that the flakes are not soluble in an aqueous medium. In this vein, the built biofilters were able to remove inorganic pigments simple treatment units, while less proved effective in removing organic pigments of animal origin; for which the use of various treatment units in series is needed; as it could be verified in laboratory tests.

Bonilla (et al): Remoción de pigmentos de efuentes a través de un biofiltro de gravedad de lecho fijo de exoesqueletos de especies marinas.

mientras que se mostraron menos efectivos en la remoción de pigmentos orgánicos de origen animal; para los cuales se hace necesaria la utilización de varias unidades de tratamiento en serie; como pudo ser verificado en los ensayos de laboratorio.

PALABRAS CLAVES

Biofiltro, efluentes líquidos, escamas, exoesqueleto, quitina.

KEY WORDS

Biofilter, chitin, exoskeletons, fish scales, liquid effluents.

1. Introducción

Cada año, una cantidad considerable de subproductos derivados del pescado o de molusco es eliminada y no es totalmente aprovechada, cosa que puede ocasionar un serio problema medioambiental [1], entre estos encontramos las escamas que son las menos reutilizadas por la poca y no específica información que se tiene de ellas [2].

Las escamas son aquellas láminas aplanadas presentes en la dermis de muchos seres vivos, en este caso, los pescados [2]. Éstas se presentan en gran cantidad, están imbricadas entre sí, recubriendo la piel, y otorgando, principalmente protección y aislamiento [3]. Actualmente se ha creado un mercado, que está generando interés en las industrias para la elaboración de cosméticos y artesanía, sin embargo no se le explota al máximo el potencial que aquellas tienen dándole un uso más significativo en nuestra sociedad [4].

Es por esto que se toma la iniciativa de crear un biofiltro a base de escamas de pescado que funcione para la filtración de pigmentos de efluentes líquidos, de esta forma se contribuirá a disminuir los niveles de contaminación en industrias que pongan en práctica este método. Los filtros que utilizan materiales orgánicos como empaque (paja, escamas, pasto, madera, turba, etc.) son los llamados “biofiltros”. El efluente, aguas servidas o residuos líquidos con pigmentos son compuestos diseñados para ser altamente resistentes, incluso a la degradación microbiana, por lo que son difíciles de eliminar en las plantas de tratamiento convencionales [5]

Por lo expuesto anteriormente, se ha basado la formulación del presente proyecto de investigación en la búsqueda de una alternativa al poner en función el biofiltro elaborado, el compuesto atraviesa la superficie del mismo y se escurre por el medio filtrante quedando retenida las partículas de los pigmentos de efluentes líquidos, la cual es consumida por

la actividad microbiológica. Como objetivo principal del proyecto, es clarificar el agua que contiene pigmentos, mediante la utilización de un biofiltro de gravedad de lecho fijo elaborado a partir de escamas de pescados finamente pulverizadas.

2. Métodos y materiales

En esta sección se muestran los materiales y la metodología utilizada para la elaboración de biofiltro a base de escamas.

2.1 Obtención de la materia prima

Se recolectaron las escamas del pescado, especialmente de escamas de la corvina, las cuales fueron obtenidas de industrias procesadoras de productos marinos de la región, mercados de mariscos y restaurantes de la localidad, quienes no les daban un uso y las desechaban. Las escamas fueron extraídas manualmente.

Posteriormente, las escamas se lavaron con agua potable de la red pública con el objetivo de retirar la materia orgánica adherida. Seguidamente, las mismas se procedieron a secar a la acción de los rayos ultravioletas durante un periodo de tiempo entre 6 a 10 días, hasta que estuviesen completamente secas.

2.2 Tamizado y pulverización

Una vez pasado el tiempo de secado se procedió a la trituration de las escamas para luego minimizarlas a los diámetros menores a 1.18 mm en un tamiz número 16.

2.3 Confección del biofiltro

Se decidió elaborar un biofiltro de lecho fijo, como se observa en la figura 1, el cual deja pasar el efluente solo por el efecto de acción de la gravedad, estos también llamados filtros lentos, ya que tiene como ventaja, la eficiencia de clarificar el agua, debido a que a medida que el líquido atraviesa el lecho de escamas, se le facilita la separación de los sólidos (pigmentos) que no se sedimentan al momento de crear la solución.

* Corresponding author:
carla_adc22@hotmail.com



Figura 1. Confección manual del biofiltro.

2.4 Lavado final

El proceso de lavado de las escamas se realizó a base de agua. Una vez pulverizadas y colocadas en el embudo de separación cilíndrico, se le vierte agua al filtro, para que éste suelte su color natural y quede libre de cualquier colorante no deseado, y se pueda filtrar las diferentes soluciones de la manera correcta y más eficiente. El lavado se realizó hasta observar que en el agua de lavado final estuviera lo más transparente posible. En la fotografía de la Figura 2 a continuación, se observa una secuencia de diferentes coloraciones del agua proveniente del lavado de las escamas pulverizadas.



Figura 2. Etapas del residuo de la limpieza de las escamas (biofiltro).

2.5 Tratado de efluentes

Las pruebas realizadas se llevan a cabo después que las escamas fueron lavadas. Los efluentes sintéticos tratados se prepararon tanto con

compuestos orgánicos como inorgánicos.

Las observaciones preliminares dieron como resultado la degradación y retención de las partículas de pigmentos en las partículas de escamas. Esto se debe a la propiedad que tienen las escamas como medio adsorbente, ya que las escamas poseen un polímero llamado quitina la cual es un compuesto cuya principal función en la naturaleza es estructural, es decir que forma parte esencial de tejidos que dan soporte y protección al cuerpo del organismo.



Figura 3. Tratamiento de efluentes sintéticos con azul de metileno y con sangre.

3. Resultados y discusión

El biofiltro fue elaborado a base de exoesqueletos (escamas) de especies marinas pulverizadas porque estas tienen un polímero llamado quitina la cual cuenta con propiedades peculiares que la hace atractiva para el desarrollo de procesos de adsorción y remoción de pigmentos, metales, compuestos de interés o contaminantes.

De acuerdo a los resultados obtenidos en cuanto a pigmentos inorgánicos en soluciones utilizadas y sus propiedades medidas como el pH y la turbidez podemos concluir que este biofiltro logra su propósito en un alto porcentaje ya que el agua potable al mezclarlo con el pigmento aumentó estas propiedades y luego de ser tratado estas disminuyeron y dieron resultados muy parecidos al agua potable sin mezclar; sin embargo la conductividad muestra que entre el agua potable y la solución sin tratar son muy semejantes y la que difiere es la solución tratada, aumentando debido que al pasar por el biofiltro de escamas, éstas le aportan iones.

Para lograr que las escamas den con los objetivos deseados es necesario que éstas pasen por un lavado luego de ser recolectadas para remover la suciedad que éstas contienen, seguidamente pasan a ser secadas al ser expuestas al sol por aproximadamente 10 días, así al momento de pulverizarlas podemos obtener la mayor materia prima deseada.

Una vez preparada las escamas se procede a estructurar el biofiltro como se mencionó anteriormente.

El lecho que tiene como función la adsorción de los pigmentos. Como se mencionó, fue necesario un lavado previo de las escamas que poseen un recubrimiento mucoso en su piel de origen glandular que ocupa cierto espacio en las paredes de su estructura que la protege contra la abrasión producida por condiciones inadecuadas en el agua (modificaciones del pH, dureza, salinidad, temperatura, etc.).

Cuando esas modificaciones superan los niveles soportados por la mucosa protectora, ésta se desprende, característica que aprovechamos

para la adsorción de los pigmentos porque al cambiar las propiedades del medio en el que se encuentra al verter agua en ellas y ésta al desprenderse deja paso a que las partículas de pigmentos entren en el espacio liberado.

Una vez terminado el biofiltro se procede a realizar pruebas con pigmentos o sustancias orgánicas e inorgánicas.

3.1 Remoción de pigmentos orgánicos

Entre los orgánicos se utilizan sustancias como la sangre y la clorofila dando como resultado la remoción del pigmento como se muestra en las siguientes figuras.



Figura 4. Resultados obtenidos del tratamiento de efluentes conteniendo clorofila.

Como se puede observar en la figura a continuación, el biofiltro construido fue capaz de remover pigmentos orgánicos vegetales en una única etapa, es decir, no fue necesario un re-filtrado posterior, situación que sí fue necesaria en el tratamiento de efluentes con pigmentos orgánicos animales, como se muestra en la figura a continuación.



Figura 5. Resultados obtenidos del tratamiento de efluentes para la remoción de pigmentos orgánicos animales.

Lo anterior pone de manifiesto, que pareciera ser que para el tratamiento de efluentes industriales conteniendo pigmentos orgánicos de origen animal, serían necesarias varias etapas de filtración.

El sistema de varias etapas de filtración se conseguiría mediante la utilización de un número determinado de biofiltros colocados o distribuidos en serie como se presenta en la figura a continuación.



Figura 6. Disposición de biofiltros en serie para el tratamiento de efluentes con pigmentos orgánicos de origen animal.

Estas figuras reflejan que el biofiltro para pigmentos orgánicos lleva consigo más de una etapa de filtración porque suponemos que como los compuestos orgánicos presentan enlaces covalentes es más complicado la separación entre sus componentes por lo que la filtración resulta lenta y se necesitan más etapas de filtración.

3.2 Remoción de pigmentos inorgánicos

Al probar con compuestos inorgánicos se observa un resultado más efectivo ya que estos presentan enlaces iónicos que son más fáciles de romper, lo que da una filtración más rápida que conlleva solo una etapa.



Figura 7. Tratamiento de efluente con azul de metileno.

Al verificar las propiedades físico-químicas del efluente tratado se arrojaron los siguientes datos que se muestran en la Tabla 1:

Tabla1. Propiedades físico-químicas de los efluentes

Parámetro	Efluente		
	Agua del grifo	Efluente	Efluente tratado
Oxígeno disuelto (mg/L)	0.04	0.04	0.04
Conductividad (mS/cm)	0.007	0.079	0.079
Temperatura (°C)	29.9	30.7	30.7
Salinidad (%)	0	0	0
pH	7.03	8.56	8.56
Turbidez (NTU)	4.34	6	6

Estos resultados se pueden interpretar de la siguiente manera:

En cuanto a la salinidad se muestra que cada efluente no cuenta con salinidad.

Se puede notar que el pH en el agua del grifo y la solución tratada son semejantes, pero la solución antes de filtrarse posee un pH más básico.

La turbidez refleja la calidad y claridad del agua, a medida que es mayor, es más turbia y viceversa, se observa que la solución con el pigmento está más turbia y la solución tratada no, pues se asemeja más al agua del grifo.

La conductividad se asemeja mucho entre el agua del grifo y la solución sin tratar, pero se puede notar que a medida que la solución es filtrada su conductividad aumentó.

4. Conclusiones

Como sabemos el agua es el bien máspreciado que hay en la tierra y es importante que tomemos iniciativas para su conservación, implementando métodos para su reutilización en actividades ya sean domésticas, industriales o agrícolas.

Al realizar este proyecto, se le puede dar un uso secundario tanto a las escamas de pescado, que son muy abundantes y poco reutilizadas en nuestro país y al agua que es tratada, ya que como se vio anteriormente, ésta en comparación con el agua potable, no tiene gran diferencia en las propiedades químicas, sin embargo no es recomendable para beber, pero si se le puede dar un buen uso en el área agrícola, en el lavado de infraestructuras, automóviles, mobiliario, entre muchas otras cosas, que principalmente no implique la acción de ser ingerida.

Una vez culminado el presente trabajo, se puede concluir que las escamas aparte del uso artesanal que le dan en Panamá también se puede utilizar de una manera más significativa y de mayor valor agregado como es la creación de un biofiltro que podría ayudar a la reducción de la contaminación de las industrias textil y cosméticos, entre otras, para remover los pigmentos debido a que estos son difíciles de eliminar en plantas de tratamientos convencionales debido a que estos son altamente resistentes incluso a la degradación microbiana; es por esto que nuestro proyecto resultaría más efectivo ya que retiene las partículas de pigmento y no degradarlo.

Finalmente, este sería el inicio de un significativo proyecto, que podría ser implementado en grandes industrias en donde la principal materia prima utilizada es el agua, pigmentos

y colorantes sintéticos, generándose así gran cantidad de aguas residuales que le hacen daño al medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar le agradecemos a Dios por permitirnos contar con la sabiduría, entendimiento, tiempo y paciencia que necesitábamos para llevar a cabo la realización de este proyecto, debido a que sin él, hubiese sido un fracaso.

También al profesor, Dr. Alexis Tejedor, quien nos incentivó a la investigación y realización de este proyecto y nos dedicó su tiempo para su culminación.

A nuestros padres y demás familiares por el apoyo durante esta educación universitaria y a todas las personas que hicieron posible la elaboración de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Noejovich, H.O. (1991) Normatividad, institucionalidad y tecnología: el comportamiento peculiar de agentes en la industria pesquera. *Economía*, vol. 14, N. 28, 345 - 397 pp.
- [2] Rahy., N.A. (1993) El pescado blanco (género *Chirostoma*) del Lago de Patzcuaro, Michoacán, Composición de especies. *Ciencia Pesquera*, Vol. 9, 113 - 128 p.
- [3] Hurtado, V.L.; Herrera, Y.M. & Gómez, D.A. (2013) Efecto del uso de la escama de pescado en la alimentación de codornices sobre la calidad del huevo. *Revista CITECSA*, Vol. 4, N, 6, 59 - 69 p.
- [4] Avdalov, N. (2015). Manual de calidad y procesamiento para venta minorista de pescado. Disponible: <http://www.mercadosinternos.infopesca.org/operarios.pdf>. Accesado 20 de jun. 2015.
- [5] Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Iztapalapa (2011). «Producción de quitina y quitosano - Nuevo proceso biotecnológico».

SISTEMA EDMO COMO PROTOTIPO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS SUPERFICIALES

SISTEMA EDMO COMO PROTOTIPO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SUELOS SUPERFICIALES

80

Autores

Cristhian Velásquez*; Caroline Santamaría; Edgar Moreno; Melissa Miranda; José Martínez; Mario Martínez; Carolina Gómez; Francisco Chan y Roger Blanco

RESUMEN

Actualmente existen varios mecanismos sofisticados para obtener información del subsuelo, la idea consiste en hacer un sistema tipo geófono conformado de placa Arduino con sensores por medio del cual podemos adquirir el tiempo en que viaja una onda de Rayleigh (onda superficial) de sensor a sensor, usando la programación como herramienta de interpretación de estos datos, para posteriormente determinar la velocidad en la que viaja la onda de Rayleigh y así poder predecir el tipo de suelo según la velocidad registrada. Este posee la ventajas de ser adaptado para detectar ondas en cualquier eje (eje x, y, z) al mismo tiempo o individualmente. Este sistema resulta novedoso, práctico y económico.

PALABRAS CLAVES

Suelo, velocidad, onda, Arduino, acelerómetro, geófono, estrato.

Área

Licenciatura en Ingeniería Civil
Centro Regional de Chiriquí
Universidad Tecnológica de Panamá

ABSTRACT

Actually there are several sophisticated mechanisms subsurface information, the idea is to make a geophone-type system composed of Arduino with sensors by which we can acquire the time when a Rayleigh wave travels from sensor to sensor, using the program as a tool for interpretation of these data, to then determine the speed at which the Rayleigh wave travels so we can predict the type of soil according to the recorded speed. This has advantages of being adapted to detect waves in any axis (x, y and z) simultaneously or individually. This system is new, practical and economical.

KEY WORDS

Soil, velocity, wave, Arduino, accelerometer, geophone, layer.

1. Introducción

El estudio se basa en el diseño de un sistema de caracterización de suelos, utilizando herramientas tecnológicas para los movimientos sísmicos generados. Éste se basa en la recolección de datos sísmicos que son captados a través de acelerómetros y posteriormente interpretados a través de una placa Arduino.

Arduino es una plataforma de arquetipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar [1].

La variedad de las placas crece conforme a la creatividad de los desarrolladores. Cada placa hasta la fecha creada, cuenta con avances y mejoras en aspectos como la cantidad de memoria disponible, número de puertos, entre otras [2].

El análisis de ondas sísmicas es el principal objetivo para este sistema, utilizando la velocidad de ondas que ocurren a través de los estratos, como la variable para poder apreciar y cuantificar diferencias en los tipos de suelos existentes. Además de esto, se considera como fundamental la relación de vacíos, porosidad, gravedad específica, densidad del suelo y otras propiedades del suelo que se ven involucradas en la caracterización del mismo.

1.1 Antecedentes

Muchos estudios de caracterización de suelos se han realizado a nivel mundial, con el fin de optimizarse, se han desarrollado nuevos métodos y técnicas en el campo geotécnico. Con el impulso de la tecnología hoy día la ingeniería busca cada vez más el perfeccionamiento óptimo de los métodos.

Estos métodos se basan en pruebas realizadas en el campo, que permiten explorar el suelo y obtener informaciones básicas para la utilización y construcción de obras de ingeniería.

Estudios avanzados usan geófonos, elemento

* Corresponding author:
cvelazquez3193@gmail.com

que registra cualquier tipo de movimiento de la tierra por medio de una señal eléctrica [3], como herramientas de captación de ondas, que como en la sísmica se obtienen velocidades con las que viaja la misma y de esta manera interpretar el tipo de suelo según un rango de velocidades.

Los geófonos han sido históricamente dispositivos análogos pasivos, y a grandes rasgos es una bobina que cuelga en una perforación desde la superficie, esta interactúa con campos magnéticos producidos por imanes colocados a sus alrededores, para así obtener una señal eléctrica, como lo hace un generador [4].

Buscamos con este proyecto desarrollar un sistema similar al geófono pero con el uso de herramientas mucho más sencillas y prácticas, basados en ciencias como la mecánica y electromecánica, además de la programación como herramienta de la investigación.

1.2 Referencial teórico

Busca relacionar la velocidad de propagación de una onda imitando movimientos sísmicos y usando herramientas tecnológicas. Mediante un prototipo de captación de esas vibraciones con sistemas Arduino y sensores, este procedimiento de exploración geofísica nos permite obtener una idea general de las características del suelo.

Detectamos las ondas por medio de sensores que captan las vibraciones a través de placas Arduino, basados en una data de programación; que serán interpretadas en un software para su posterior análisis.

La propagación de las ondas elásticas en el suelo, causadas por perturbaciones mecánicas, es el principio de las pruebas geofísicas, las cuales buscan mantener las propiedades geotécnicas naturales del suelo [5].

Las ondas elásticas se clasifican en ondas de cuerpo y ondas de superficie. Las ondas de cuerpo se dividen a su vez en ondas de compresión y ondas de corte. Las ondas de superficie son las ondas de *Rayleigh* y las ondas *Love* [6].

En el estudio de suelos, una de las ondas de superficie de mayor importancia son las ondas de *Rayleigh*. Estas son utilizadas en pruebas geofísicas y caracterización de los suelos, puesto que presentan propiedades físicas para la prospección sísmica. Estas ondas son fácilmente medibles desde la superficie del terreno y presentan una relación directa con la velocidad de propagación de ondas de corte [7].

El experimento consiste en obtener la velocidad (VR) en que se propaga la onda de *Rayleigh* en diferentes suelos.

Las ondas *Rayleigh* causan un movimiento rodante y sus partículas se mueven en forma elipsoidal en el plano vertical, que pasa por la dirección de propagación. En la superficie el movimiento de las partículas es retrogrado con respecto al avance de las ondas [8].

La velocidad de las ondas de *Rayleigh* (VR) es menor que la velocidad de las ondas de corte (Vs) y es aproximadamente [8]:

$$V_R = 0.90 V_s \tag{1}$$

La velocidad de las ondas creadas como resultado de un impacto en un estrato de suelo dado se representa como muestra la ecuación (2). Por tanto podemos representar, entonces la velocidad de propagación de la onda de *Rayleigh* como se expresa en la ecuación (3).

Con la determinación de la velocidad de propagación de las ondas de *Rayleigh* se puede determinar el módulo de rigidez al esfuerzo cortante [5]. El módulo de cortante del suelo Gs, se determina a partir de la relación (4): [9]

$$V_s = \frac{L}{t} = \sqrt{\frac{G_s}{(\gamma/g)}} \tag{2}$$

$$V_R = \frac{L}{t} = \sqrt{\frac{G_s}{(\gamma/g)}} \tag{3}$$

$$G_s = \frac{\left(\frac{V_R}{0.90}\right)^2 \gamma}{g} \tag{4}$$

Donde:

VR = velocidad de propagación de la onda de *Rayleigh*

L = longitud entre sensores

t = tiempo de viaje de la onda

Gs = módulo cortante del suelo

Γ = peso específico del suelo

G = aceleración de la gravedad.

2. Materiales y construcción del sistema

El equipo esencial para obtener los datos, independientemente de cada suelo, consiste en sensores, la unidad para captar los datos, la unidad de almacenamiento de los datos y los cables de conexión. Los datos registrados por cada uno de los sensores brindan la información necesaria de los movimientos que adquiere el suelo en función del tiempo en que se propagan las ondas. Estos datos se analizan con el fin de obtener el tiempo en que llegan las ondas a cada uno de los sensores desde el punto de perturbación [5].

Para la fabricación del sistema de análisis de velocidad de onda se utiliza el siguiente *Hardware*:

- Sensor: Acelerómetro de 3 ejes ADXL335
- Placa de Arduino UNO
- Cables de red
- Placas Protoboard
- Computadora
- Mazo de 8 lb.

La cantidad de sensores nos representan los puntos en los que se procede a obtener la velocidad de onda de corte para un suelo específico.

El software necesario se resume en:

- Programa Arduino 1.6.4.
- Driver para el Puerto USB de reconocimiento de la Placa Arduino.
- Para la construcción del Sistema EDMO se programaron los sensores a una sola placa con el fin de sincronizar los datos de cada uno de los sensores, conectándolos por medio de cables de red, pues tienen el diámetro necesario para captar los datos.

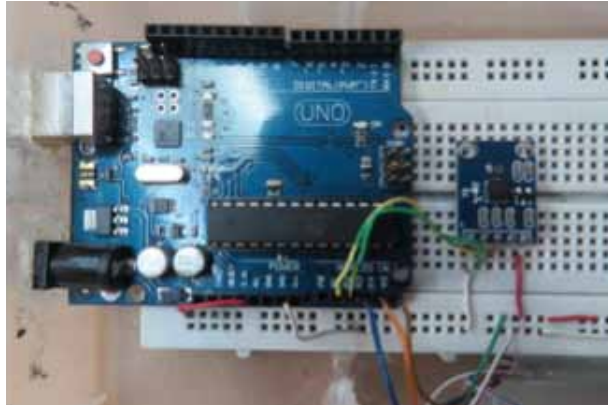


Figura 1. Placa pre-ensamblada Arduino UNO con sensor (A: acelerómetro ADXL335; B: Placa Arduino UNO).



Figura 2. Sistema EDMO, la placa protoboard se usa como soporte de los sensores acelerómetros. (C: Placa protoboard).

El Acelerómetro ADXL335 es el sensor que registra los datos de las aceleraciones, éste responde a una señal eléctrica ante cualquier perturbación. Los datos obtenidos se redujeron a voltajes proporcionales a la aceleración de cada eje en miliVoltios (mV) entre la gravedad de la Tierra (g) [10]. Luego de armado el Sistema de Arduino y sensores, se procedió a conectarlos a una computadora, generando finalmente el geófono para captar los datos.

2.1 Programación del sistema

La programación para el sistema en general debe ser lo más sencilla posible, con la finalidad de que se pueda disminuir el tiempo de captación de los datos en los sensores. Como se describió anteriormente se conectaron los sensores a una sola placa Arduino UNO; esta es la placa de Arduino que se conecta al PC a través de un cable

USB. Esta conexión permite la alimentación de la placa, además de programarla y utilizarla [4]. Arduino dispone de un terminal para visualizar las peticiones enviadas y recibidas en el momento que se establece una comunicación con dispositivos externos.

El rol de los dispositivos hardware dentro de un sistema está fundamentado en los procesos de captación, procesamiento y respuesta de las señales obtenidas del contexto, definidas como sensores y actuadores. Los sensores definidos como dispositivos encargados de obtener la información del contexto para transmitirla a la unidad de procesamiento, luego, los actuadores, quienes representan las acciones que afectan el ambiente. Los primeros signos son detectados a través de sensores, en este caso de movimiento, capaces de estimar los signos de la perturbación en el suelo [11].

El lenguaje de programación de Arduino será la herramienta para establecer la conexión del Sistema EDMO. (Ver figura 3). La programación en esta ocasión sólo se enfoca en obtener los datos de la dirección Z de los tres ejes disponibles para estudio que es capaz de captar cada sensor, se escogió este eje por ser el que más se relaciona con la dirección de propagación de las ondas de Rayleigh.

```

suelos_MODIFICADO_Z3 | Arduino 1.0...
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
suelos_MODIFICADO_Z3
int Z1=2; //Pin analogo 2
int Z2=5; //Pin analogo 5
int z1,z2;
void setup()
{Serial.begin(115200);}
//Rangos:X1=338::X2=337(1) Y1=335::Y2=338(-3) Z1=404::Z2=406(-4)
void loop() {
  z1 = analogRead(Z1); //Sensa el eje Z1
  z2 = analogRead(Z2); //Sensa el eje Z2
  Serial.print(z1);
  Serial.println(z2);
}

```

Figura 3. Programación usada para el Sistema EDMO.

3. Resultados y discusión

3.1. Metodología en campo

El sistema EDMO desarrollado constará de un conjunto de sensores, en esta experiencia se emplearon en primera instancia dos sensores para determinar el factor de escala $F\delta t$, que se desarrollará posteriormente en este artículo; luego se dotará de un conjunto de seis sensores dispuestos de manera lineal a distancia de 5 m entre sensores.

Como la base de este proyecto consiste en la captación de propagación de una onda imitando movimientos sísmicos, como generador de ondas se usa un mazo con peso de 36 N y 89 N, este último se prevé su uso cuando se conecten todos los sensores (ver Figura 4).

La cantidad de veces y el tiempo de ejecución de producción de las ondas con el mazo, son factores independientes de los datos obtenidos, las mismas no representan hasta el momento en este proyecto factores a considerar en este estudio; sin embargo para futuro se puede establecer rangos o lapsos establecidos para generar las ondas con fines de mayor exactitud de datos.

Después de captada la data necesaria del subsuelo a través del Sistema EDMO, previamente registrada en la computadora y almacenada, se procederá al análisis de la misma.



Figura 4. Sistema EDMO, generación de las ondas con un mazo de 36 N.

3.2 Metodología analítica de datos

A partir de la data obtenida en campo se procederá a determinar el tiempo en que los sensores captaron la onda, desde el primer

sensor hasta el último. Luego de obtenido el tiempo de registro de onda de cada sensor, se procede a determinar la diferencia de tiempo entre sensores (5) de la siguiente manera:

$$\Delta t_i = t_n - t_{n-1} \quad (5)$$

Se procede entonces con el tiempo entre sensores (Δt_i) y conocida la distancia entre sensores, usando la ecuación (3) de velocidad de las ondas Rayleigh V_R ; obtendremos la velocidad del suelo en cada tramo:

$$V_{Ri} = \frac{L}{\Delta t_i} \quad (3)$$

Donde:

V_{Ri} = velocidad de la onda de *Rayleigh*

L = longitud entre sensores, 5 m

Δt_i = diferencia de tiempo entre sensores

Posteriormente realizando un promedio de las velocidades obtenidas, tendremos una velocidad media \bar{V}_R ; la cual representa la velocidad del suelo estudiado. Con el uso de la ecuación (1), podemos la velocidad de onda de corte a partir de la velocidad de onda de *Rayleigh* determinado y con el uso de la Tabla 5. Buscamos en los rangos de velocidad establecidos, la velocidad obtenida y establecemos el tipo de suelo. Como proyección futura se pretende establecer un rango de velocidades usando este Sistema EDMO para cada suelo.

3.2 Datos obtenidos

3.2.1 Factor escala $F\delta t$

El factor escala consiste en un valor promedio, el cual representa el tiempo que tardan los sensores en captar en ciclos los datos que representan la aceleración del suelo. El mismo fue obtenido en un número de 4 pruebas durante un lapso de tiempo de un minuto y dos minutos con un retardo (*delay*) de valor 0 para los sensores y una velocidad de entrada (*serial begin*) de 115200; velocidad de datos en bits por segundo (*baudios*) para la transmisión de datos en serie para comunicarse con el equipo. (Ver Figura 3).

Tabla 1. Determinación del factor escala $F\delta t$.

Prueba	Cantidad de datos	Tiempo (s)	$F \delta t$ (s/datos)
1	91007	60	0.00065929
2	91975	60	0.00065235
3	180935	120	0.00066322
4	180908	120	0.00066332

Factor de escala: $F\delta t = 0.00066 \text{ s /datos}$.

A partir de la data obtenida en campo y con el factor de escala se puede determinar el tiempo en que los sensores captaron la onda, con la siguiente expresión (6):

$$t_n = F\delta t \times N_{datos} \quad (3)$$

Donde:

t_n = tiempo registrado de la onda por sensor (s)

$F\delta t$ = Factor de escala [0.00066 s /datos]

N_{datos} = cantidad de datos (datos)



Figura 5. Sistema EDMO, sondeo en suelo usando dos sensores dispuestos de manera lineal.

3.3 Pruebas de campo

Realizando la metodología en campo se obtuvo la siguiente data de información para un ensayo en suelo, usando dos sensores a 5 m de distancia. (Ver Tabla 2).

Después de obtenida la data de campo, se procede entonces al análisis de los datos para el sondeo realizado.

3.3.1 Sondeos en suelo

Calculamos la diferencia de tiempo entre sensores.

$$\Delta t_a = t_2 - t_1 = 3.44850 \text{ s} - 3.43596 = 0.01452 \text{ s.}$$

Conociendo la longitud de separación entre sensores $L = 5 \text{ m}$ y Δt_a , obtenemos la velocidad de onda de corte para el suelo.

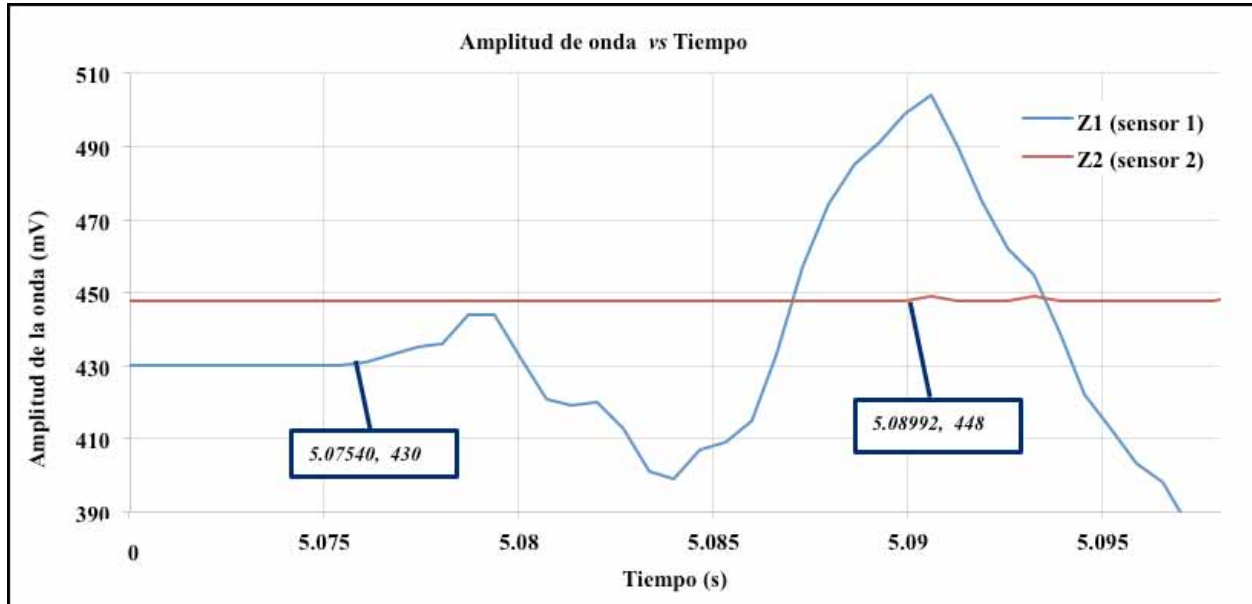
$$V_R = \frac{5 \text{ m}}{0.01452 \text{ s}} = 344 \text{ m/s}$$

Con la velocidad de onda de Rayleigh de 344 m/s, calculamos la velocidad de onda de corte (V_s) en función de V_R , así entonces:

$$V_s = \frac{344 \text{ m/s}}{0.90} = 382 \text{ m/s}$$

Clasificándolo así como suelo muy denso y roca suave, según rango de velocidades de la Tabla 5. Con referencia a la Tabla 5, podemos deducir que según el sistema de clasificación de suelos establecido por la norma REP-04, Reglamento estructural de Panamá, el mismo es un suelo tipo C. Como podemos ver el sistema no solo permite establecer el tipo de suelo y sus características; sino además, se determina sin realizar ningún tipo de perforación.

En general los resultados obtenidos demuestran que este sistema al instante en que esté armado o disponga de más cantidad de sensores contribuiría al desarrollo de la geotecnia, específicamente en el campo de las exploraciones del subsuelo. A futuro se considera crear un propio rango de valores para este sistema.



Grafica 1. Tiempo vs Amplitud para una prueba realizada durante 15 segundos sobre un suelo usando dos sensores a 5 m.

Tabla 2. N dato de 19210 por 15 segundos

No. Dato	Z1 (sensor 1) mV	Z2 (sensor 2) mV	Tiempo (s)
7690	430	448	5.07474
7691	430	448	5.07540
7692	431	448	5.07606
7693	433	448	5.07672
7694	435	448	5.07738
7695	436	448	5.07804
7696	444	448	5.07870
7697	444	448	5.07936
7698	432	448	5.08002
7699	421	448	5.08068
7700	419	448	5.08134
7701	420	448	5.08200
7702	413	448	5.08266
7703	401	448	5.08332
7704	399	448	5.08398
7705	407	448	5.08464
7706	409	448	5.08530
7707	415	448	5.08596
7708	433	448	5.08662
7709	457	448	5.08728
7710	474	448	5.08794
7711	485	448	5.08860
7712	491	448	5.08926
7713	499	448	5.08992
7714	504	449	5.09058

Tabla 5. Valores representativos de la velocidad de propagación de la onda de corte (Vs) para el tipo de perfil del suelo.

Tipo de perfil de suelo	Velocidad de onda de corte (VS)
A	>1500 m/s
Roca dura	
B	760 a 1500 m/s
Roca	
C	370 a 760 m/s
Suelo muy denso y roca suave	
D	180 a 370 m/s
Suelo rígido	
E	<180 m/s
Suelo blando	

FUENTE: Noma REP-04, Reglamento estructural de Panamá 2004.

4. Conclusiones

Teniendo en cuenta todas las aplicaciones que posee un geófono; el Sistema EDMO diseñado puede servir para detectar la presencia de otras propiedades del suelo que se ven involucradas en la caracterización del mismo; además de poder detectar el agua bajo los estratos de tierra por medio de refracción sísmica, entre otras posibles aplicaciones.

El sistema construido en esta investigación es muy versátil, eficiente y muy económico. Además presenta ventajas como poder ser adaptado mediante programación para detectar ondas en cualquier eje (eje x, y, z) al mismo tiempo o individualmente.

Proyectamos para el futuro establecer rangos de valores propios de este sistema para cada tipo de suelo, con el fin de obtener información mucho más exacta para dicho sistema.

5. Recomendaciones

Se descubrió que los geófonos han de ser colocados a gran distancia puesto que los sensores no consiguen detectar de manera adecuada los movimientos si se encuentran muy cerca; además desarrollando un código con menor cantidad de comandos, el sensor ofreció mejores resultados.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias a la colaboración del Ingeniero Eloy Lezcano, Ingeniero Electrónico en computadoras; quien con su amplio conocimiento en el área de la electromecánica y programación nos encaminó en el desarrollo del mismo. También a nuestro compañero Juan Carlos Castillo quien aconsejó y proporcionó información de gran valor. Al Magister Luis Gómez por apoyarnos con equipo y asistencia electromecánica. A la Universidad Tecnológica de Panamá Centro Regional de Chiriquí por todo el apoyo brindado para el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS

- [1] J. P. L. E. y. T. A. Mayorca, «Pisco earthquake, Perú,» JSCE/JAEE/UT Investigation Team, p. 109, 2007.
- [2] C. Acuña, «Proyecto de grado: Sistema de control de bajo costo con arduino para diodos laser,» Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 2010.
- [3] C. A. Bautista, «Desarrollo de un arreglo sísmico en base a microcontroladores RFPIC,» 06 abril 2006. [En línea]. Available: <http://www.bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1940/1/CD-0170.pdf>. [Último acceso: mayo 2015].
- [4] C. E. y. O. C. Bello, «Geófono, lector de movimiento de la tierra que salva vida,» Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2007.
- [5] J. A. Aponte, «Evaluación de métodos no convencionales de caracterización geotécnica,» Universidad Javeriana, Bogotá, 2011.
- [6] C. J. A., «Medición de módulo de Young y módulo de corte in situ de la formación de Panpeano mediante técnicas Geofísicas,» Colombia.
- [7] J. A. Pérez Santiesban, «Caracterización geotécnica de los suelos de Madrid mediante la técnica REMI,» Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2011.
- [8] W. y. G. K. S. Griem, «Métodos geofísicos, geología general,» geovirtual2, 1999.
- [9] D. Braja, Principios de Ingeniería de Cimentaciones, California: Ceange Learning, 2011.
- [10] «ADXL335 Applications informations,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.analog.com/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL335.pdf>. [Último acceso: abril 2015].
- [11] E. Lledo, «Diseño de un sistema de control domótico basado en la plataforma Arduino,» Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2012.