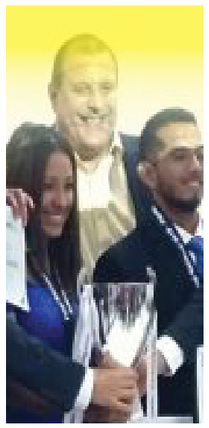


EDITORIAL TECNOLÓGICA

Universidad Tecnológica de Panamá

Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso,
Edificio Administrativo
Teléfono: (507) 560-3703 / Telefax: (507) 560-3442
Correo Electrónico: editorial@utp.ac.pa
Web: www.utp.ac.pa
Apartado Postal 0819-07289 El Dorado,
Panamá Provincia de Panamá
República de Panamá.

RIC

REVISTA DE INICIACIÓN CIENTÍFICA

JOURNAL OF **UNDERGRADUATE** RESEARCH

Vol. 6 - N.º 2- JULIO - DICIEMBRE 2020

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

EDITORIAL TECNOLÓGICA

latindex Directorio y Catálogo · ROAD · MIAR · UTP-Ridda² · BASE Bielefeld Academic Search Engine · Google Académico · OpenAIRE · PKP|INDEX · MENDELEY · Repositorio Centroamericano SIIDCA

REVISTA DE INICIACIÓN CIENTÍFICA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ

Cuerpo de Evaluadores-Mentores de este Volumen

Área de investigación	Revisor / mentor	Facultad, Centro de Investigación o Centro Regional
Energía y ambiente	Dr. José Fábrega	Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH)
Energía y ambiente	Dra. Nathalia Tejedor Flores	Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH)
Energía y ambiente	Mgtr. Cenobio Cárdenas	Facultad de Ingeniería Civil
Educación en ingeniería	Dra. Norma Miller	Facultad de Ciencias y Tecnología
Infraestructura	Dra. Milagros Pinto Núñez	Centro Experimental de Ingeniería (CEI)
Infraestructura	Dra. Ka Lai Ng Puga	Centro Experimental de Ingeniería (CEI)
Logística y transporte	Dr. Ariel Antonio Grey G.	Facultad de Ingeniería Civil

Logística y transporte	Dr. Jorge Quijada A.	Facultad de Ingeniería Civil
Robótica, automatización e inteligencia artificial	Dr. Cristian Pinzón	Centro Regional de Veraguas
Robótica, automatización e inteligencia artificial	Dr. Carlos A. Rovetto R.	Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Robótica, automatización e inteligencia artificial	Dr. Héctor Montes F.	Facultad de Ingeniería Eléctrica
Tecnologías de la información y comunicación	Dr. Carlos Medina	Facultad de Ingeniería Eléctrica
Tecnologías de la información y comunicación	Mgtr. Geovanny Caballero	Centro Regional de Bocas del Toro
Tecnologías de la información y comunicación	Dr. Edwin Collado	Centro Regional de Azuero
Educación en ingeniería	Dra. Rita Araúz de Takakuwa	Facultad de Ingeniería Industrial

RIC

REVISTA DE
INICIACIÓN
CIENTÍFICA
JOURNAL OF UNDERGRADUATE RESEARCH

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

Revista semestral, es un proyecto educativo universitario, publicada a partir del 2015, como iniciativa del Ing. Alexis Tejedor De León, PhD, ING-PAED-IGIP, de la Facultad de Ingeniería Mecánica del Centro Regional de Veraguas de la Universidad Tecnológica de Panamá, con la finalidad de brindar una oportunidad, única, a los estudiantes universitarios de experimentar plenamente el método científico, a partir del desarrollo de trabajos originales para su publicación y visibilidad internacional, por medio del proceso de revisión por pares.

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

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

Misión

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

Proceso de revisión

En primer lugar, el Director del Comité Editorial realiza una selección preliminar de los manuscritos sometidos, tomando en consideración la Misión de la RIC.

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

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

Dra. Casilda Saavedra de Madrid
DIRECTORA

RIC
REVISTA DE
INICIACIÓN
CIENTÍFICA

MENSAJE DE LA DIRECTORA

La Revista de Iniciación Científica de la Universidad Tecnológica de Panamá es el espacio propicio para fomentar la cultura de investigación en los futuros profesionales de Panamá, a través de la publicación de artículos de la tesis de grado, artículos de la Jornada de Iniciación Científica-JIC, artículos de revisión del estado del arte y otros trabajos estudiantiles de investigación. El espíritu de la RIC es servir de puente, de manera que sus autores aumenten progresivamente la calidad de su trabajo y puedan posteriormente publicar en revistas profesionales indexadas, tanto a nivel nacional como internacional.

La Revista de Iniciación Científica-RIC es una revista semestral, está indexada en Catálogo 2.0 de Latindex y forma parte de las bases de datos: ERIHPLUS, ROAD, MIAR, Google Académico, Open Aire, PKP-INDEX, BASE, Mendeley, el repositorio Centroamericano SIIDCA y el repositorio de UTP-RIDDA2.

Nos complacemos en presentar a la comunidad universitaria y al público en general el segundo número del año 2020, Volumen 6, N.° 2 de la RIC. En este número contamos con diez artículos, con temáticas muy diversas de la ingenieria civil, ambiental, informática e industrial. El primer artículo trata sobre la creación de mapas de temperatura, a través del software ArcGIS. El segundo artículo es una aplicación móvil para localizar baños y estacionamientos. El tercer artículo se enfoca en una propuesta para mejorar el proceso de obtención de sal en las salinas de la región de Azuero.

En el cuarto artículo se evalúa la gestión de seguridad en las cadena de suministro del sector ganadero en Panamá, mientras que el quinto artículo se enfoca en el diseño de un generador eléctrico para biclcletas. El sexto artículo trata sobre el diseño conceptual de un sistema automatizado de ventosas para muelles. El séptimo artículo

se enfoca en las potenciales consecuencias de la privación del sueño en el rendimiento universitario. El octavo artículo se concentra en la comparación de algoritmos en videojuegos. Seguidamente, el noveno artículo se enfoca en la eficiencia de coagulantes en el proceso de tratammiento de agua.

Finalmente, el décimo artículo es un diseño conceptual de sistema para la estabilización de taludes utilizando neumáticos usados.

Deseo expresar nuestro profundo agradecimiento a los autores y especialmente al cuerpo de mentores-evaluadores que nos han apoyado en la revisión y recomendaciones de mejoras de los artículos de este número. Reitero la cordial invitación a los profesores y estudiantes de la Universidad Tecnológica de Panamá y otras universidades a que aprovechen este espacio para dar a conocer los resultados de sus proyectos de investigación y desarrollo, contribuyendo de esta manera a incrementar la cultura de investigación tan necesaria en nuestros países.

Que Dios les bendiga.

Vol. 6 - N.° 2- JULIO - DICIEMBRE 2020 P-ISSN 2412-0464 & E-ISSN 2413-6786

CONTENIDO

9-14	USO DE REGISTROS DE TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE ETESA, PARA LA CREACIÓN DE MAPAS DE TEMPERATURA MEDIANTE EL USO DE PROGRAMA ARCGIS	Danna G. Villarrea, Sergio Bernal, Martín E. Candanedo G.
15-20	PARBATH: APLICACIÓN MÓVIL PARA LOCALIZAR BAÑOS Y ESTACIONAMIENTOS	Pablo Domínguez, Samuel Sánchez, Guelda Carballeda
21-27	PROPUESTA DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA OBTENCIÓN DE SAL EN AZUERO, REPÚBLICA DE PANAMÁ	Paola Fuentes, Lissette Peña, Omar Sánchez y Yessica Sáez

28-37	EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE SEGURIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTRO EN EL SECTOR GANADERO DE PANAMÁ	Emily Saldaña, Práxedes Torres
38-48	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR ELÉCTRICO LINEAL EN LA SUSPENSIÓN DE BICICLETAS	Jahir Argote, Arianne Troudart, César Moreno, Daniel De Los Ríos Arthur James
38-46	SISTEMA DE RIEGO CON MOVILIDAD A BASE DE ENERGÍA SOLAR	Dayaneth Arrocha Abel Camargo Jorge Petit Yineska Rosas Vladimir Villarreal Lilia Muñoz
47-52	DISEÑO CONCEPTUAL DE MUELLE MARGINAL CON SISTEMA AUTOMATIZADOS DE VENTOSAS PARA EL ATRAQUE Y DESATRAQUE DE EMBARCACIONES	Ruby Vallarino, George Mejía, Francisco Grajales
53-59	LA RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO UNIVERSITARIO Y LA PRIVACIÓN DE SUEÑO	José Castillo, Ashley Lan, Jayson Morá, Enrique Aparicio, Valerie Tuñón, Matías Gutiérrez, Carmen Ortega
60-66	COMPARACIÓN DE LOS ALGORITMOS DE BÚSQUEDA EN PROBLEMAS DE VIDEOJUEGOS DE ESTRATEGIA	José Castillo, Jayson Morán, Ashley Lan, Nicholas Béliz Osorio
67-71	EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL COAGULANTE SUPERFLOC SD 2080 FRENTE AL CLORURO FÉRRICO EN PROCESOS DE CLARIFICACIÓN DE AGUA	Anel Alcedo, Jesús Bravo, Kelly Castrejo, Guillermo Herrera, Mayte Sánchez, Thaily Valencia, Erick Vallester
72-79	DISEÑO CONCEPTUAL DE SISTEMA ALTERNATIVO PARA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES CON NEUMÁTICOS USADOS	Manuel Isaac Pérez, Emmanuel Jiménez, Manuel Arcia

Uso de registros de temperatura máxima promedio de las estaciones meteorológicas de ETESA, para la creación de mapas de temperatura mediante el uso de programa ArcGIS

Use of average maximum temperature records from ETESA meteorological stations, for the creation of temperature maps using the ArcGIS program

Danna G. Villarreal[1], Sergio Bernal[2], Martín E. Candanedo G.[2]*
[1] Licenciatura en Ingeniería Ambiental- Facultad de Ingeniería Civil- Universidad Tecnológica de Panamá, [2]Licenciatura en Ingeniería Civil- Facultad de Ingeniería Civil- Universidad Tecnológica de Panamá*

Resumen Ante el incremento del consumo energético en la República de Panamá debido a la sensación térmica en la población, nace la idea de verificar la existencia de un incremento de la temperatura con el tiempo. Bajo este objetivo, se analizan registros de temperaturas máximas de las estaciones meteorológicas de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA) para el período comprendido entre 2010-2017. Al no existir registros para muchas zonas en el país, se tabulan los datos de temperaturas máximas por meses y se calculan los promedios por año. Estos valores sirven para la creación de mapas de temperaturas máximas en el territorio nacional utilizando el programa ArcGIS. Estos mapas confirmaron un incremento considerable de temperatura desde el año 2010.

Palabras clave ArcGIS, estación hidrometeorológica, ETESA, mapa de temperatura, sensación térmica, temperatura.

Abstract Given the increase in energy consumption in the Republic of Panama due to the thermal sensation in the population, the idea of verifying the existence of an increase in temperature over time was born. With this objective, records of maximum temperatures of the meteorological stations of Empresa de Transmission Eléctrica, S.A. (ETESA) are analyzed for the period between 2010-2017. As there are no records for many areas in the country, maximum temperature data are tabulated by months and averages are calculated by year. These values are used to create maps of maximum temperatures in the national territory using the ArcGIS program. These maps confirmed a considerable increase in temperature since 2010.

Keywords ArcGIS, hydrometeorological station, ETESA, temperature map, thermal sensation, temperature.

* Corresponding author: martin.candanedo@utp.ac.pa

1. Introducción

Panamá experimenta un gran auge en el sector de la construcción. El número de permisos de construcción aumentaron 19% en los primeros cuatro meses de 2017, respecto al mismo periodo del año previo [1]. Sin duda alguna, este progreso en el sector solo indica que el número de construcciones va en ascenso. De igual manera, con el pasar de los años, las olas de calor y la sensación de fogaje en el país son cada vez más frecuentes. Estas sensaciones han alcanzado valores tan altos como 42 grados centígrados [2]. Esto puede deberse a la relación directa entre el área de construcción y de asfalto con el incremento en la sensación térmica en diferentes ciudades [3].

La Empresa de Transmisión Eléctrica de Panamá -ETESA comunica que esto puede deberse a la temporada y el clima del país. Sin embargo, también comenta que la brisa que se sentía en veranos anteriores se está debilitando [2]. Es un hecho que en la ciudad este fenómeno se magnifica con el aumento de áreas urbanizadas en la ciudad y la pérdida de vegetación. Esta situación produce un alto consumo energético, debido al uso generalizado de acondicionadores de aire [4]. Así, el consumo energético llega en el año 2017 al valor de 1650 kW, siendo una cifra récord sin precedentes [5].

Para poder encontrar una explicación a esta observación, primero se debe determinar si en realidad los registros de temperatura que existen muestran incrementos o si es una cuestión de sensación (percepción) térmica.

1.1 **Objetivos:**

- Determinar la existencia de un incremento de la temperatura máxima promedio a nivel nacional por medio del análisis del registro de datos de estaciones meteorológicas de ETESA.
- Desarrollar mapas de temperatura, mediante el uso del programa ArcGIS con los registros de temperatura.

2. Antecedentes

El incremento de las ciudades como respuesta al crecimiento de la población trae consigo el incremento de la densidad de edificios y el aumento de áreas de construcción. Este desarrollo urbano influye en la modificación de la distribución espacial de la temperatura y humedad [7]. Este cambio en la temperatura trae consigo afectaciones en la calidad de vida de la población y otros seres vivos, atribuida en muchos casos al incremento de la sensación térmica.

Es importante hacer la salvedad de que la sensación térmica es determinada por un conjunto de parámetros como lo son: la temperatura seca, la temperatura radiante media o temperatura de bulbo negro, la humedad relativa del aire y la velocidad del aire, siendo la sensación térmica un mal indicador directo de temperatura [8]. Aquí radica la importancia de medir directamente la temperatura y no la sensación térmica, ya que al medirla estamos midiendo también los factores que determinan su crecimiento.

El tener una infraestructura verde y vegetación sana, permite reducir estos riesgos hidrometeorológicos [9]. Se ha identificado una correlación entre los registros de temperatura más bajos y espacios con mayor vegetación [7]. Sin embargo, en áreas rurales esta riqueza de vegetación se ha visto comprometida por motivo de la deforestación, la ganadería y el uso de fertilizantes [10], además del incremento de construcciones.

Por parte de la naturaleza, se deben tomar en cuenta los aspectos climáticos presentes en cada región del país. Otra posible causa de este incremento de las temperaturas es el aumento de los gases de efecto invernadero o GEI. Los GEI son generados por actividades antropogénicas urbanas, como el consumo elevado de combustibles fósiles, el alto consumo de energía eléctrica y automóviles, el uso de materiales de bajo albedo y la mala geometría urbana [3].

Es de vital importancia reconocer que el incremento de temperaturas tiene otras afectaciones en el aspecto climatológico como el aumento del nivel del mar, creando erosión costera, inundaciones y afectaciones a los ecosistemas coralinos [11]. Además, cambios muy altos de temperaturas pueden tener afectaciones en la salud de las personas por la gran concentración de calor [12].

3. Delimitación de datos

Para la realización de esta investigación se tomó como datos los registros de temperaturas promedios y temperaturas máximas que tiene a disposición la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA) y se hizo una tabulación de estos. El período elegido para el análisis fue de 2010- 2017. Las temperaturas promedio por mes son graficadas para ver su comportamiento, mientras que las máximas son indicativas de la condición más crítica de temperatura y el principal interés de esta investigación.

4. Metodología

4.1 Selección de estaciones meteorológicas

De las once estaciones meteorológicas vigentes y con registros en el periodo 2010-2017, solamente las estaciones de Tocumen, Albrook, David, Santiago y Los Santos cuentan con registros de datos de temperaturas promedio durante todos los meses de este periodo. En la figura 1, se demuestra el formato para la tabulación de datos por parte de ETESA. Para el análisis de temperaturas máximas promedio en cada mes, se usó, además, la estación de Bocas del Toro.

ESTACIÓN TONOSÍ

	Temperatura Promedio			Temperatura Extrema			
2013	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	
	35.90	23.50	29.70	37.60	20.80	31.30	
	36.70	22.90	29.80	38.80	20.80	31.50	
	36.10	24.80	30.50	38.60	22.60	31.90	
	35.70	24.40	30.00	38.80	20.00	32.90	
	32.00	23.80	27.90	36.40	22.80	29.70	
	31.80	22.80	27.30				1
	32.00	24.70	28.40	32.10	24.60	28.40	2
	31.40	23.30	27.40	33.00	21.80	28.50	
	31.70	23.30	27.50	33.60	21.30	29.00	

Figura 1. Durante la selección de datos, estaciones como Tonosí no contaban con suficientes datos de temperatura y por esto, no fueron analizados.

4.2 Gráficas de temperaturas promedio y temperaturas máximas

Con los registros obtenidos de las estaciones con las temperaturas promedio, se hicieron gráficas de barras en Excel, para poder observar cuál era su comportamiento. Se graficaron los datos de los años 2010, 2013 y 2017 obtenidos de las estaciones de Tocumen, Albrook, David, Santiago y Los Santos.

Además, con los registros de 2010-2017, se realizó una gráfica de dispersión en Excel con los datos de las temperaturas máximas para las estaciones meteorológicas de Tocumen, Albrook, David, Santiago, Los Santos y Bocas del Toro.

4.3 Creación de mapas de temperatura con ArcGIS

Tras obtener las coordenadas de cada una de las estaciones meteorológicas, se transformaron a proyección de coordenadas UTM (WGS 84), se subieron al programa

ArcGIS junto con los registros de temperaturas máximas para cada estación desde 2010 a 2017. Luego, se escogió un método de interpolación apropiado para crear los diferentes mapas de temperaturas de cada año para obtener una distribución de las temperaturas máximas en estos años a nivel nacional.

5. Resultados

En la figura 2 se comparan las estaciones de Tocumen, Albrook, David, Santiago y Los Santos, observándose un incremento gradual de la temperatura promedio, con excepción de Tocumen y Albrook, donde se observa una pequeña disminución desde 2013 (ver figura 2). Sin embargo, cuando se observan las temperaturas máximas extremas (mayores valores de temperaturas máximas en cada mes del año) se observa que los valores son cada vez mayores.

En Tocumen, para abril 2017, se muestra una temperatura máxima de 35,9 °C, mientras que la máxima en todo el año 2013 es de 34,60 °C. Al observar la estación de Albrook, se observa una temperatura máxima de 35,5 °C en el mes de abril, mientras que la máxima registrada en todo el 2013 fue de 35°C. Esto quiere decir que a pesar de que las temperaturas promedio no necesariamente incrementan, cada vez se observan valores mayores de temperaturas en fechas individuales. Este decrecimiento en temperatura promedio también puede deberse al fenómeno del "El niño" [13].

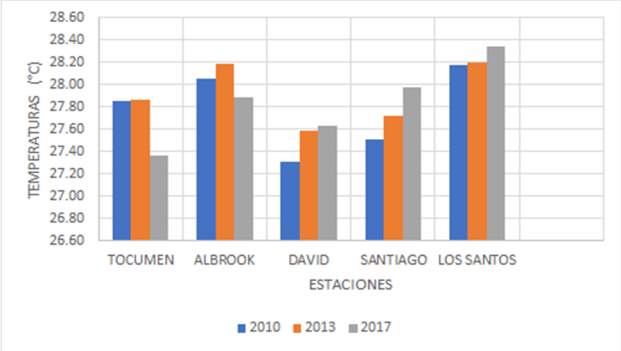
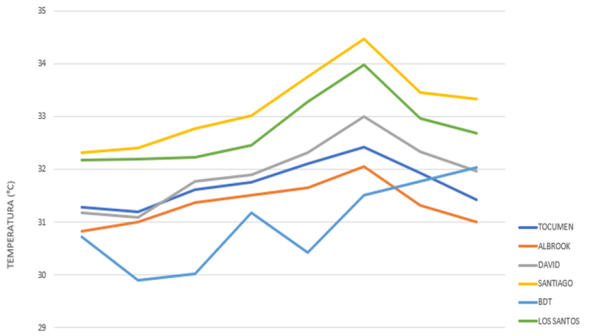


Figura 2. Gráfica de barras de registros de temperaturas promedio. Se observa un incremento de temperatura promedio en David, Santiago y los Santos. En Tocumen y Albrook hay incrementos de temperaturas máximas.

Ahora, tomando en cuenta esta información, se procede a analizar las temperaturas máximas para cada una de las estaciones con registros (incluida la estación meteorológica de Bocas del Toro). Al analizar la figura 3, se puede concluir fácilmente que las temperaturas han ido incrementando desde 2010 hasta la fecha y que el pico de promedios de temperatura máximo se ve en 2015. Los comportamientos en cinco de las seis estaciones meteorológicas son bastante similares (Tocumen, Albrook, David, Santiago, Los Santos). Los registros en Bocas del Toro, al igual que en las otras estaciones muestran un incremento de las temperaturas promedio máximas. Sin embargo, el comportamiento no es tan parecido al que muestran las otras líneas.



	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
TOCUMEN	31.28	31.2	31.62	31.76	32.11	32.42	31.93	31.43
ALBROOK	30.83	31	31.37	31.51	31.66	32.05	31.32	31.00
DAVID	31.18	31.1	31.78	31.89	32.32	33.01	32.34	31.97
SANTIAGO	32.31	32.4	32.78	33.02	33.76	34.48	33.45	33.34
BOCAS DEL T.	30.73	29.9	30.02	31.18	30.42	31.52	31.78	32.03
LOS SANTOS	32.17	32.2	32.23	32.45	33.29	33.98	32.96	32.68

Figura 3. Gráfica de dispersión de temperaturas máximas promedio por año (2010-2017). Nótese el incremento de temperatura máxima en todas las estaciones desde 2010.

Para la selección del método de interpolación, se han utilizado los métodos de Kringin, Lineal y de ponderación por distancia inversa (IDW, Inverse Distance Weight). Al observar la figura 4, el comportamiento de las isotermas, se escoge la que mejor representa la distribución real de temperaturas en el país, haciendo referencia a los datos de ETESA. Cabe destacar que el método de IDW y Krigin presentan cierta similitud mientras el método lineal dispersa los valores del rango de comportamiento de los datos. El método de IDW es el más apropiado, por su mayor representatividad con respecto al comportamiento descrito en el registro de temperatura.

Una vez seleccionado el método de interpolación, se procede a generar los mapas con los registros de temperatura promedio máxima anual para el período 2010 al 2017 (ver figuras 5-8). Se observa como el espectro de temperatura se amplifica en los algunos sitios adyacentes al área de influencia de las estaciones de medición, mostrando un aumento de temperatura desde el año 2010 hasta el 2014 y una disminución considerable en los años restantes (ver figura 3).

Se puede identificar el mayor patrón de aumento de temperatura a nivel nacional en el año 2012, siendo esto un factor a considerar en la sensación térmica de dicho año. Un posible efecto consecuente para el año 2013, puede ser la crisis en los niveles de agua de embalses de hidroeléctricas, que condujo al desarrollo de un plan de emergencia de ahorro energético [14].

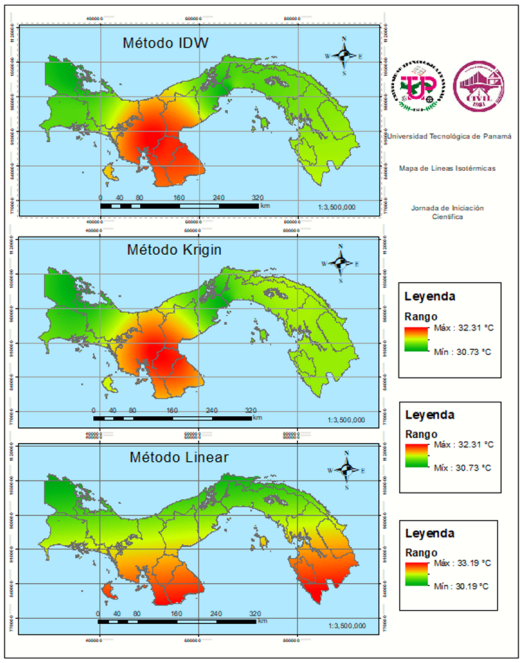


Figura 4. Análisis cartográfico del método de interpolación para registros de temperatura máxima promedio del año 2010.

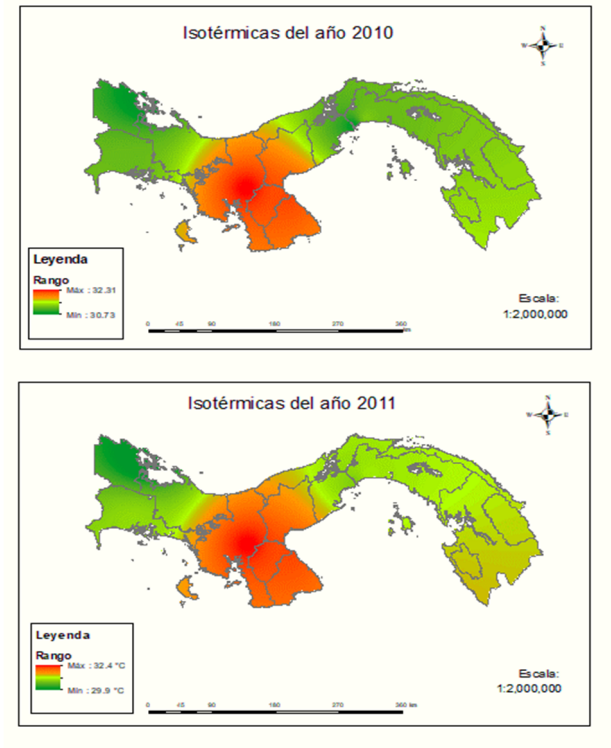


Figura 5. Análisis multitemporal comparativo de las cartográfico temperaturas máximas promedio por año (2010-2011).

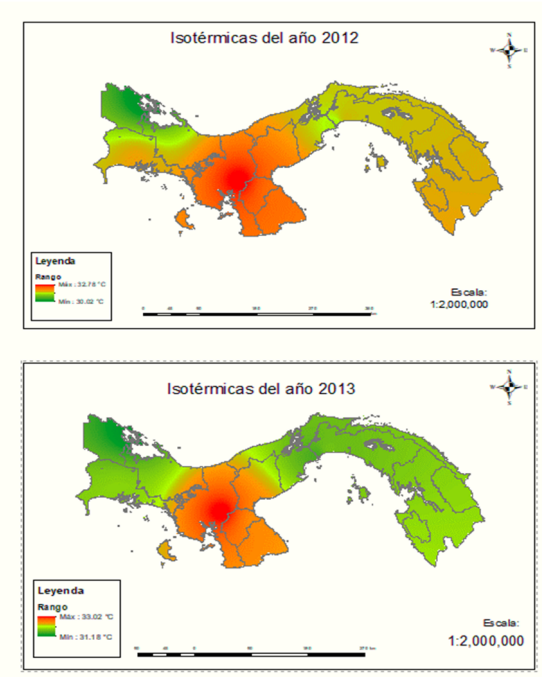


Figura 6. Análisis multitemporal comparativo de las cartográfico temperaturas máximas promedio por año (2012-2013).

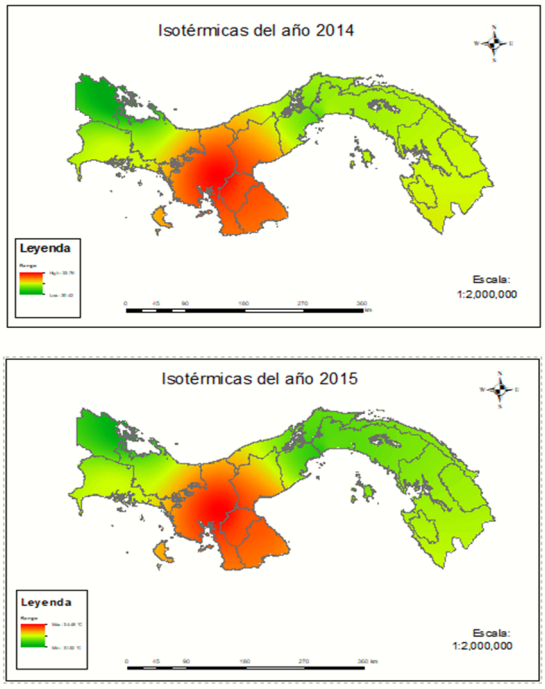


Figura 7. Análisis multitemporal comparativo de las cartográfico temperaturas máximas promedio por año (2014-2015).

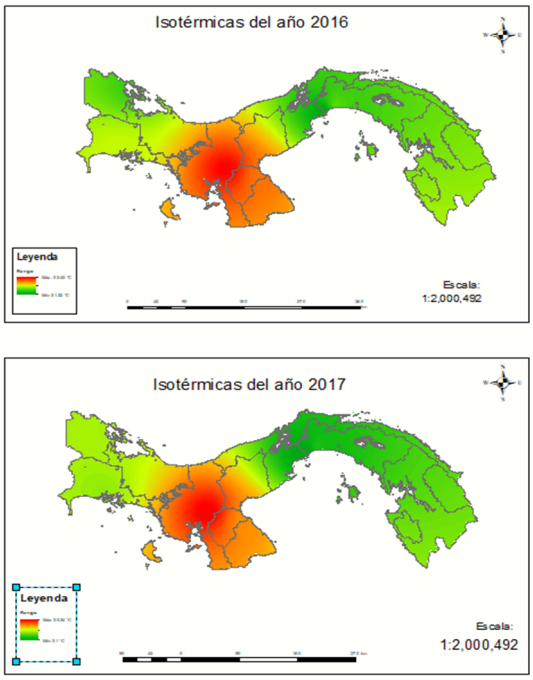


Figura 8. Análisis multitemporal comparativo de las cartográfico temperaturas máximas promedio por año (2016-2017).

5. Conclusiones y recomendaciones

Gracias al tabulado y selección apropiada de los datos a utilizar en esta investigación, se puede concluir que existe un incremento en la temperatura máxima promedio registrada en las estaciones meteorológicas, lo que posiblemente explica además, el incremento en la sensación térmica y el mayor consumo energético.

El aumento de temperatura posiblemente esté vinculado a otros factores, como el desarrollo urbano, el aumento de construcciones, las alteraciones en el clima en las distintas áreas de la República de Panamá, donde puede traer como consecuencia la reducción de zonas verdes por la deforestación y la ganadería.

Además, el uso del programa ArcGIS permitió la confección de mapas de temperatura para poder visualizar de una manera más comprensible el comportamiento de las temperaturas. Con los registros ya existentes de temperaturas máximas promedio de las estaciones meteorológicas incompletas se pudo elegir el método indicado para encontrar el mapa de temperatura mejor ajustado a la realidad.

Las estaciones de Tocumen, Albrook, Santiago, David y Los Santos exhibieron un comportamiento parecido cuando se analizó la variación de la temperatura máxima promedio con respecto al tiempo. Las temperaturas promedio también presentaron aumento en Los Santos, Santiago y David. En Tocumen y Albrook los valores de temperaturas extremas máximas también presentaron un incremento en los años 2010 y 2013. A pesar de que las temperaturas promedio no necesariamente incrementan, cada vez se observan valores mayores de temperaturas en fechas individuales.

Se recomienda la implementación de un mejor sistema de registro de datos por parte de ETESA, ya que la cantidad de datos faltantes hace que el tabulado y análisis de resultados sea complejo y desalentador. Solamente existieron cinco estaciones meteorológicas con los registros 2010-2017 de temperaturas promedio y seis con los registros de temperatura promedio máxima en esa misma cantidad de tiempo.

Se propone la implementación de medidas para disminuir y mantener la temperatura en rangos aceptables en Panamá como la reforestación, la implementación de ganadería y agricultura sostenible, disminuir el consumo de energía eléctrica y mejorar sistemas de transporte público para incentivar el uso de este.

AGRADECIMIENTO

Al ingeniero Daniel Cachafeiro, por habernos inspirado a realizar este artículo. Al profesor Raúl Elizondo, por su apoyo y su tiempo para solucionar nuestras dudas y ayudarnos en la realización de esta investigación y por su gran ayuda durante el manejo de datos en el programa ArcGIS.

REFERENCIAS

[1] M. González. (3 de Abril de 2017). Ola de calor en Panamá alcanza los 42 grados centígrados. Panamá América.
[2] M. Rodríguez. (4 de Julio de 2017). Permisos de construcción crecen 19% hasta abril 2017. La Estrella de Panamá.
[3] United States Environmental Protection Agency. (2008). Obtenido de Heat Island Compendium: https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium
[4] A. Lawrence, J.r., K Berko, & P. du Pont. (1996). Air Conditioning in the Tropics: Cool Comfort or Cultural Conditioning? Delaware: Center for Energy and Environmental Policy.
[5] R. Pérez. (15 de Abril de 2017). Se registra consumo récord de energía en Panamá, en meses calurosos. El capital financiero.
[6] P. Pérez. (22 de Marzo de 2018). Etesa proyecta un aumento en el consumo de energía entre abril y mayo de 2018. El capital financiero. [Online]. Available: shorturl.at/ehHMT
[7] F. Ferrelli, M. Bustos, M. Piccolo, "Modificación en la distribución espacial de temperatura y la humedad relativa como resultado del crecimiento urbano" Revista de Climatología, vol. 16: 51-61, Abril 2016. [Online]. Available: shorturl.at/ezDR6.
[8] E. Urriola, ""Índice de Confort, Sensación Térmica e Impacto de Olas de Calor en las Personas"," 2007. [Online]. Available: http://www.hidromet.com.pa/sensacion_termica.php.
[9] Y. Ochoa, L. Ojela, "Conservación de vegetación para reducir riesgos hidrometeorológicos en la metrópoli fronteriza" Estudios Fronterizos, vol. 18 no. 35, Abril 2017. [Online]. Available: https://doi.org/10.21670/ref.2017.35.a03.
[10] U. EPA, "Heat Island Effect," 28 february 2014. [Online]. Available: www.epa.gov/heat-islands.
[11] C. M. Kauffman and J. M. Moran, Our Changing Climate: Introduction to climate science, Boston: American Meterorological Society, 2014.

[12] G. Luber and M. Micheal, "Climate Change and Extreme heat events," American Journal of Preventive Medicine, vol. 12, pp. 8773-8789, 2008
[13] ETESA. Fenómeno El Niño, [Online]. Available: http://www.hidromet.com.pa/nino_nina.php.
[14] M. Vega, “Supermecados, bares y discotecas también deben acogerse al ahorro energético”, La Prensa, 07 mayo 2013.

PARBATH: Aplicación móvil para localizar baños y estacionamientos

PARBATH: Mobile application to locate bathrooms and parking lots

Pablo Domínguez[1], Samuel Sánchez[1], Guelda Carballeda[2]*
[1]Licenciatura en Desarrollo de Software - Centro Regional de Coclé - Universidad Tecnológica de Panamá
[2]Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales – Centro Regional de Coclé – Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen En este artículo se presenta el desarrollo de la aplicación PARBATH, basada en el sistema operativo Android, la cual es una propuesta para localizar baños y estacionamientos públicos. La aplicación ha sido diseñada para ser utilizada por personas con discapacidad, incluyendo la discapacidad visual, ya que cuenta con diversas funciones de accesibilidad para su uso. No obstante, dada su versatilidad, también puede ser utilizada por otros usuarios que no tengan discapacidad. Adicionalmente, en este artículo, se hace una revisión breve de la literatura relacionada, la cual ha sido tomada como base para el desarrollo de la aplicación PARBATH. Finalmente, se hace una explicación detallada del funcionamiento de esta aplicación y se presenta los resultados experimentales obtenidos durante su validación.

Palabras clave Accesibilidad, android, baños, discapacidad visual, estacionamientos.

Abstract This article presents the development of the PARBATH application, based on the Android operating system, which is a proposal to locate toilets and public parking lots. The application has been designed to be used by people with disabilities, including the visually impaired, since it has various accessibility functions for its use. However, given its versatility, it can also be used by other users who do not have a disability. Additionally, in this article, a brief review of the related literature is made, which has been taken as a basis for the development of the PARBATH application. Finally, a detailed explanation of the operation of this application is made and the experimental results obtained during its validation are presented.

Keywords Accessibility, android, bathrooms, visual impairment, parking.

*** Corresponding author:** guelda.carballeda@utp.ac.pa

1. Introducción

La discapacidad visual representa una limitación considerable para las personas que padecen esta condición. Al ritmo con el que avanza la tecnología, esta evoluciona, se adapta y abre paso a innumerables posibilidades para ayudar a quien no puede llevar una vida cotidiana normal; como es el caso de las personas con discapacidad visual (PcDV).

La Organización Panamericana de la Salud (OPS), reporta que en América Latina y el Caribe por cada millón de habitantes hay 5,000 personas invidentes y 20,000 personas con discapacidad visual. En cifras totales mundiales, hay alrededor de 269 millones de personas con discapacidad visual y 45 millones de invidentes. La ceguera parece ser más frecuente en el género femenino, puesto que los reportes señalan que cerca del 60% de la población invidente está conformado por mujeres. El 87% de las personas con discapacidad visual habitan países en desarrollo [1].

Según un estudio realizado por la Secretaría Nacional de Discapacidad de Panamá (SENADIS) [2], en Panamá por cada tres viviendas hay, al menos, una persona con algún tipo de discapacidad. Esto equivale a una tasa de 11.3%, que representa a una población de 370,053 de personas con discapacidad (PcD) según la Primera Encuesta Nacional de Personas con Discapacidad (PENDIS), realizada en 2006. Se entiende que, actualmente, hay más personas con discapacidad, pero no se ha realizado otra encuesta de este tipo desde el año mencionado. Con relación a las personas con discapacidad visual (PcDV), el proceso para lograr cierta independencia para realizar sus actividades cotidianas es muy difícil y toma mucho tiempo para su entrenamiento, sin considerar el hecho de que existan otras limitantes que dificulten, aún más, alcanzar ese objetivo.

Este proyecto lleva por nombre: PARBATH (Sistema Localizador de Baños y Estacionamiento), el cual es una aplicación diseñada y desarrollada para teléfonos móviles

basados en el Sistema Operativo (SO) Android desde la versión 4.4 y posteriores. Esta aplicación (app) pretende mejorar la calidad de vida de las PcDV y personas con algún otro tipo de discapacidad, ya que incorpora un motor de texto a voz y los mapas de navegación de *Google Maps* [3], con los servicios necesarios para trazar rutas, calcular distancias, localizar la posición del usuario, etc. Además, en el sistema propuesto se ha diseñado un prototipo con el uso de un módulo wifi esp8266, para procesar y enviar los datos obtenidos de un sensor ultrasónico a una base datos compartida con la aplicación, a fin de determinar, en tiempo real, si el baño o estacionamiento, localizado por la app, está libre u ocupado. Para lograr mostrar esta información a través de este prototipo se debe instalar los módulos wifi con su debido sensor en los lugares que se han identificado en la aplicación. En caso contrario, solo se indicará en la aplicación si el establecimiento o lugar posee baños o estacionamiento, pero sin entrar en detalle que esté libre u ocupado, en adición a otras características importantes para el conocimiento del usuario.

2. Antecedentes

Se han revisado algunos proyectos, modelos y propuestas, en la literatura científica, relacionados con el trabajo que se presenta en este artículo. Entre ellos, en [4] se encuentra un modelo orientado a objetos de representaciones enriquecidas, definidas como una representación espacial en interiores, que posee al menos una entrada, además de redes de circulación, con el fin de brindar la asistencia a los usuarios en la navegación en interiores y exteriores. Esta propuesta utiliza los sistemas de posicionamientos actuales, como Google Maps, que utiliza el GPS y, además, se basa en mapas generales y no brinda mapas internos. En el artículo presentado en [4] también se presenta un caso con ejemplos de instancia del modelo planteado.

Entre algunos proyectos, modelos y propuestas similare, encontramos un modelo orientado a objetos de representaciones enriquecidas, que posee al menos una entrada, además de redes de circulación, con el fin de brindar la asistencia a los usuarios en la navegación en interiores y exteriores, ya que los sistemas de posicionamientos actuales como *Google Maps* utiliza el GPS y además se basa en mapas generales y no brinda mapas internos. En el artículo presentado en [4] también se muestra caso de ejemplos de instancia del modelo planteado.

Otro proyecto interesante es el proyecto VIABLE (Entorno colaborativo, Tecnología web y Movilidad para la vida independiente y la accesibilidad) desarrollado por Treelogic, el Instituto Tecnológico de Informática y ONCE-CIDAT. Con VIABLE se ha desarrollado una plataforma inteligente basada en el concepto de red social, que es capaz de ofrecer información sobre las vías públicas y los posibles “puntos negros” de una ruta introducida. En caso de encontrar un punto, se considera si existe una ruta alternativa que no suponga un exceso innecesario de distancia a recorrer y que no tenga ninguna incidencia [5].

Por otro lado, en [6] se presenta una implementación de una aplicación móvil como solución viable para localizar a personas con discapacidad visual (total o parcial) dentro de recintos cerrados. Esta app utiliza el *Bluetooth* para conectar un bastón blanco, que permite la transmisión de información capturada por medio de la tecnología de Identificación por Radio Frecuencia (RFID) y una cinta magnética como guía [5].

3. Descripción general

Para el diseño y desarrollo de la aplicación PARBATH, se han utilizado las siguientes tecnologías:

- *Google Maps* API [7], utilizada para la integración del mapa de Google en la aplicación desarrollada,
- *Google Maps Distance Matrix* API [8], para determinar las distancias entre PcDV y los puntos de interés,
- *Google Maps Directions* API [8], para generar en el mapa las rutas más cortas al marcador seleccionado,
- *Firebase* [9], para almacenar la información de baños y estacionamientos,
- *GPS* [10], para determinar la posición de las PcDV,
- *WIFI* [11], para el acceso a internet y la interconexión inalámbrica de los dispositivos electrónicos y,
- Arduino [12], para determinar la disponibilidad de un baño, si se encuentra libre u ocupado.

Cada una de las tecnologías utilizadas, enumeradas anteriormente, es indispensable para el correcto funcionamiento del sistema desarrollado. En cuanto a la accesibilidad, para las personas con discapacidad visual se implementó un motor de texto a voz en la aplicación mediante la plataforma de desarrollo *Android Studio*, además de contar con interfaces con listas que resumen la información que se desea presentar.

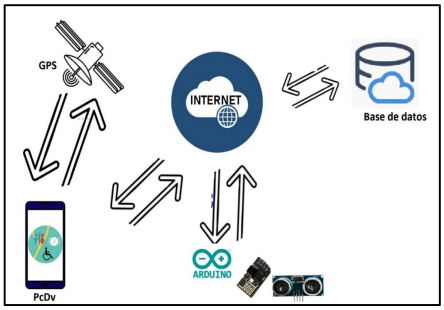


Figura 1. Modelo conceptual de la aplicación.

El modelo conceptual de PARBATH, como se muestra en la figura 1, lo inicia el usuario con un teléfono inteligente que cuente con el sistema operativo Android. La navegación se realiza por medio del GPS, la disponibilidad de baños y estacionamientos depende del módulo sensorial de proximidad

y del módulo WIFI, ambos programables en el entorno de desarrollo Arduino.

Con el uso de la aplicación y servicios de Google, se permite la movilidad de personas en ambientes abiertos. Cuando una PcDV requiere obtener información sobre la localización de baños y estacionamientos, ella inicia la utilización de la app PATBATH y por medio del motor de texto voz, se brinda información sobre lo que está en la interfaz de la app. Para ello, sobre la interfaz de mapa de la app selecciona un marcador, que contiene la información de un baño o estacionamiento, y el sistema le responde con la distancia aproximada y la ruta entre el usuario y el destino seleccionado. Adicionalmente a lo anterior, el usuario podrá encontrar lugares de interés, dentro del entorno de la ruta seleccionada, de una lista dinámica que está implementada en el sistema, proporcionando, además, la distancia aproximada a su posición. Para conocer más detalles sobre el punto de interés elegido solo basta seleccionarlo y se mostrará información específica: horario, disponibilidad y valoración. Todo esto, junto con los marcadores del mapa se encuentra alojada en una base de datos (véase la figura 1).

4. Desarrollo del sistema

PARBATH proporciona información de baños y estacionamientos como: ubicación, descripción del lugar, disponibilidad, comentarios de otros usuarios, horarios. Mediante las consultas realizadas a las APIs de Google se logra mostrar la distancia hacia un lugar, además mostrar la ubicación actual. Para que la aplicación fuera más accesible para las PcDV se optó por enseñar la información del mapa en listas, en una forma resumida, con nombre del lugar y de la distancia a la que se encuentra, además de contar con mensajes audibles.

La figura 2, 3 y 4 son muestra de algunas interfaces que se han diseñado para lograr la navegabilidad de las personas, cada una con funciones auditivas para el usuario con discapacidad visual.

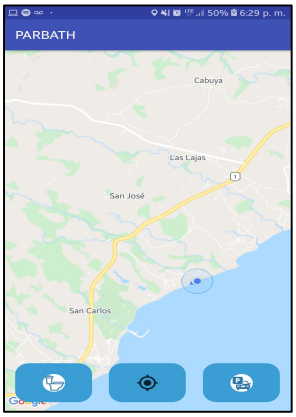


Figura 2. Interfaz ubicación.

La interfaz “Ubicación” (ver figura 2) es la primera que aparece cuando se abre la aplicación PARBATH. Esta será la primera en ejecutarse, cuenta con un mensaje audible que le indicará a la PcDV lo que puede hacer para poder utilizar la aplicación. Entre las indicaciones, se le informa que existen botones en la parte inferior, que el de la izquierda y derecha son para determinar el baño o estacionamiento más cercano y el botón del centro determinará la posición actual de la PcDV.

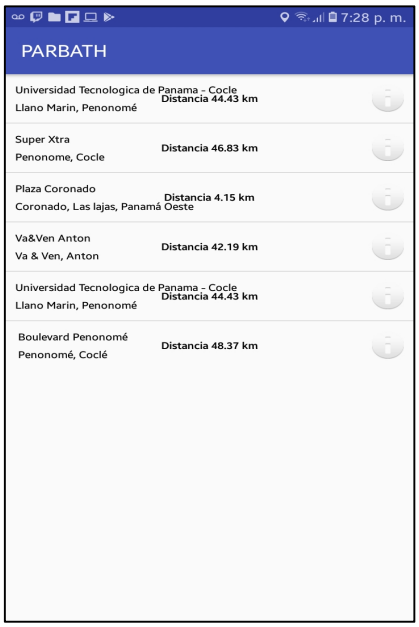


Figura 3. Interfaz alternativa *mapa*.

Con el mensaje también se le indicará que, girando el celular a la derecha, podrá acceder a la interfaz “Alternativa Mapa” (véase figura 3), que fue creada con el objetivo de mostrar los lugares registrados en el mapa en una lista de forma sencilla y con información de la distancia aproximada a la que se encuentra cada uno de estos lugares.

En la interfaz de ubicación de baño o estacionamiento, al seleccionar un marcador, se mostrará la ruta más corta para llegar al destino elegido, además en una pestaña en la parte inferior, la distancia y el nombre del lugar. Al seleccionar un lugar de lista “Alternativa mapa”, podrá acceder a la interfaz lista servicio donde se muestra un listado de baños y estacionamientos con los que cuenta el local o centro comercial. Al seleccionar un elemento de la lista, se accede a la Interfaz “Información baño o estacionamiento” (ver figura 4) que contiene la descripción del lugar, horario, disponibilidad, comentarios e información extra que puede ser de ayuda.

Al presionar el botón de reporte, se tendrá acceso al interfaz formulario, esta última es donde el cliente (PcDV) podrá realizar un comentario o dejar su opinión de la experiencia que

ha tenido durante su estancia en ese lugar, la cual servirá como una opinión de ayuda para otras personas que quieran acudir a ese sitio.

Para lograr mostrar la disponibilidad de baños en la aplicación, se realizó la investigación de algunos proyectos de Arduino que ayudaron a alcanzar este objetivo. Entre los proyectos revisados se encuentran: un circuito con sensor HC-SR04 [12], sensor infrarrojo HC-SR501 con Arduino [13]. Sin embargo, estos proyectos no contaban con una base de datos para el envío de la información registrada por los sensores. Ahora bien, para comunicar los datos de los sensores de ultrasonido e infrarrojos, se integró al sistema PARBATH el módulo WIFI ESP8266 [14,15], el cual puede conectarse a una red WIFI específica, establecida en el código del sistema, y con ello se logra comunicar los resultados con la aplicación.

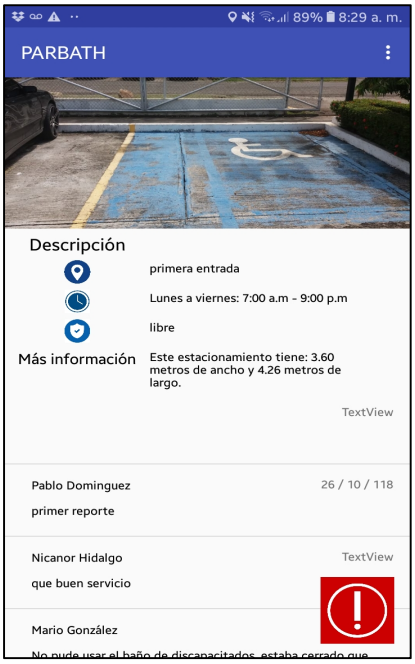


Figura 4. Interfaz Información baño o estacionamiento.

En la figura 5 se ve el diagrama de un prototipo, con diferentes componentes de Arduino para mostrar la disponibilidad de un baño en un lugar seleccionado. Los componentes utilizados son los siguientes: módulo WIFI ESP8266, sensor ultrasónico (también puede utilizarse un sensor infrarrojos), placa de 400 pines, fuente de poder con salida de 3.3 y 5 voltios, y batería de 9 voltios.

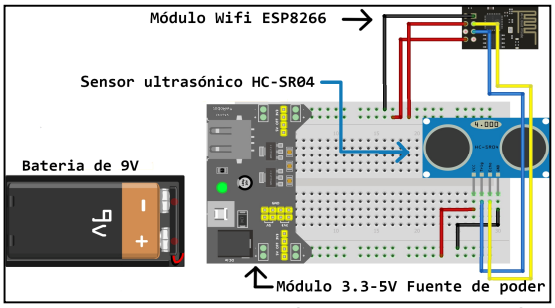


Figura 5. Sub-sistema sensorial ultrasónico compatible con Módulo Wifi ESP8266.

Este prototipo puede ser colocado en un baño o estacionamiento para lograr enviar la información y cumplir con su objetivo. Sin embargo, se debe adecuar dentro de una caja específica para su buen funcionamiento y mientras este no sea instalado, solo se mostrará la cantidad de baños y estacionamientos que posea el lugar elegido en la app. Con el sensor ultrasónico se podrá detectar si hay alguna persona utilizándolo. En este caso, el sensor envía una señal de detección al módulo WIFI, el cual debe estar conectado a una red inalámbrica, para enviar el dato pertinente a la base de datos (Firebase), y desde allí se envía la información a la app que porta la PcDV, indicando que el baño se encuentra ocupado. Los códigos implementados en el sistema PARBATH, esto es, en la app como en los módulos electrónicos de detección y WIFI, están diseñados para que se ejecuten en tiempo real, para que, en este caso, la PcDV pueda saber si el baño está ocupado o desocupado, dependiendo del momento específico.

5. Pruebas experimentales

Una primera prueba de campo fue realizada en la Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Coclé, en conjunto con Asuntos Estudiantiles se nos facilitó enviarle una carta, a la directora del centro, comentándole sobre la iniciativa y las pruebas que necesitábamos hacerles a las personas con discapacidad dentro del mismo. La directora Betty J Gómez, nos respondió con éxito nuestra solicitud para proceder. También, la estudiante Katerina Taylor (ver Figura 6) a través de una entrevista nos brindó su consentimiento, para colaborar con el proyecto probando la aplicación. En la entrevista se plantearon varias preguntas con respecto a su condición. Finalmente su firma y cédula para proceder con la prueba. Seguido la aplicación fue instalada en su teléfono Samsung Galaxy J5 Prime y no hubo ningún tipo de incompatibilidad con su modelo de celular. La app se instaló correctamente.

Figura 6. Detalle inicial de una prueba de campo.

Para el resumen de la prueba sobre la experiencia con el uso de la aplicación, al inicio fue complicado el acceso a la app, debido a los permisos de ubicación que la aplicación solicita para poder utilizar el GPS. Por tanto, la estudiante logró navegar entre las diferentes interfaces, desconociendo el uso de la app con los pocos minutos de uso, obtuvo información necesaria para localizar uno de los baños que eligió. Sin embargo, hay aspectos que se podrían mejorar, como la manera de cómo se indica la distancia al elegir un baño o estacionamiento, que existieran puntos de referencia conocidos, y que se agregaran lugares de interés. Finalmente, la joven añade que ninguna aplicación será fácil de manejar para ellos por primera vez, pero todo es cuestión de ir probando y adaptándose a la mejor manera de utilizarla.

Según los resultados de la prueba realizada, se procedió a efectuar mejoras a la aplicación para facilitar su uso.

Las mejoras realizadas son las siguientes:

- Implementación de navegación por listas como alternativa al mapa de navegación, ya que este puede resultar complicado de usar para una PcDV,
- Nuevos mensajes audibles que ayudarán al uso de la aplicación, y
- Modificación de las interfaces, para una mejor interacción con el usuario.

Una segunda prueba de campo fue realizada después de hacer las mejoras al sistema comentadas anteriormente. En ella no hubo problemas de instalación ni de acceso a la aplicación. Sin embargo, la Srta. Taylor sugirió que, una vez dentro de la app, el usuario reciba una guía rápida sobre acciones que puede realizar o atajos, por ejemplo, el uso de la interfaz alternativa al mapa, indicando que para acceder a ella solo basta girar el teléfono hacia la derecha. En comparación con la primera prueba, ella afirmó que hubo una gran mejora en las indicaciones de orientación hacia un baño o estacionamiento, lo cual es fundamental para su movilización adecuada, ya sea que vaya sola o acompañada.

En las pruebas se observó que algunos de los mensajes audibles que se establecieron en la aplicación son omitidos por el sistema, ya que entra en conflicto con el narrador del sistema (*Talkback)* y este último es el que posee prioridad sobre los mensajes que se desean transmitir.

6. Conclusiones

El prototipo presentado en este trabajo está orientado a funcionar, en espacios abiertos por el uso de la tecnología GPS y la información que se muestra de las peticiones a las APIs de Google. Con esta iniciativa de estudio de caso, se logra presentar a las personas, y también para aquellas con alguna discapacidad, una nueva opción para localizar los diversos puntos en donde puedan suplir sus necesidades básicas frente al desconocimiento que existe en la actualidad, al no contar con un sistema o protocolo que los ayude a conocer dicha información. A pesar de que se logra el objetivo planteado, se espera que con la opinión de las PcDV se puedan tomar en cuenta otras adaptaciones que podrían mejorar la aplicación e incluso la unión con otros sistemas para la movilidad en interiores y facilitar mucho más el desplazamiento en lugares cerrados.

La aplicación PARBATH, descrita en este artículo, forma parte de un proyecto investigación y desarrollo que lleva como título “Diseño e implementación de sistemas basados en las TIC para ayudas en la movilidad de personas con discapacidad visual en interiores para favorecer su inclusión social”, cuyo acrónimo es MOVIDIS-II. Esto indica que PARBATH ha sido desarrollado considerando los parámetros metodológicos científicos que todo proyecto de I+D requiere. En [16] y [17] se presenta una descripción ampliada del proyecto MOVIDIS-II.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro del marco del proyecto MOVIDIS-II financiado por la SENACYT (Programa FID2017) con Contrato por Mérito Nº: 99-2018-4-FID17-031. Agradecemos al Dr. Héctor Montes, IP del proyecto MOVIDIS-II, por la revisión de este artículo y las recomendaciones dadas.

REFERENCIAS

[1] Ministerio de Salud de Panamá MINSA. (2011, Jun). “Recomendaciones para facilitar la integración de las Personas con Discapacidad Visual”. Boletín N5. [En línea]. Disponible en: http://www.minsa.gob.pa/sites/default/files/publicaciones/boletin_5_discapacidad_visual.pdf [Consultado: 02-mayo-2020]

[2] Secretaría Nacional de Discapacidad SENADIS. (2006, Oct). “Estudio sobre la prevalencia y caracterización de la discapacidad en la República de Panamá”. [En línea]. Disponible en: http://www.senadis.gob.pa/documentos/vitacora/informe-pendis.pdf [Consultado: 02-mayo-2020]

[3] P. D. P. J. Abhishek Shakwala, “Location Based Services and Integration of Google Maps in Android”, int. jour. eng. com. sci, vol. 3, no. 03, Mar. 2014. [En línea]. Disponible en:

http://103.53.42.157/index.php/ijecs/article/view/190 [Consultado: 23-jun-2020]

[4] A. B. Lliteras, C. Challiol, C. A. Mostaccio, S. E. Gordillo. (2011). "Representaciones enriquecidas para la navegación indoor-outdoor en aplicaciones móviles", in XVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, 2011, pp. 867-876. [En línea]. Disponible en: http://hdl.handle.net/10915/18743 [Consultado: 06-may-2020]

[5] J. A. Muñoz Sevilla. (2012) "Las TIC y la discapacidad visual". [En línea]. Disponible en: http://hdl.handle.net/2183/13227 [Consultado: 06-may-2020]

[6] A. A. González Gómez, L. E. Pallares M., y R. Ferro Escobar, «Implementación de un dispositivo basado en Bluetooth y RFID para guía y posicionamiento en interiores de personas con incapacidad visual usando una APP en su dispositivo móvil.», redes ing., pp. 97-106, 1. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.14483/2248762X.11996 [Consultado: 08-may-2020]

[7] F. Wang, Y. Xu. (2011, Nov). "Estimating O–D travel time matrix by Google Maps API: implementation, advantages, and implications". [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.1080/19475683.2011.625977 [Consultado: 08-may-2020]

[8] P. D. P. J. Abhishek Shakwala, "Location Based Services and Integration of Google Maps in Android", int. jour. eng. com. sci, vol. 3, no. 03, Mar. 2014. [En línea]. Disponible en: http://www.ijecs.in/index.php/ijecs/article/view/190 [Consultado: 10-may-2020]

[9] A. R. Wiratno, K. Hastuti, "Implementation of Firebase Realtime Database to Track BRT Trans Semarang", Scientific Journal of Informatics, 2017, 4(2), 95-103. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.15294/sji.v4i2.10829 [Consultado: 08-may-2020]

[10] O. Jiménez. (2019, Jul). "Geoposicionamiento en interiores". [En línea]. Disponible en: https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/23131/TFG_OscarJimenezJimenez.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Consultado: 23-jun-2020]

[11] R. Osorio, D. Duran, P. González M. Peña, G. Lefranc. (2010). "Geolocalización usando Tecnología WiFi (Wireless Fidelity)" in In Congreso Latinoamericano de Automática-Congreso ACCA. [En línea]. Disponible en: http://mediteka.iimas.unam.mx/web/lineasInv/pdf/WIFI-GEO - LCA_RomanL Lefranc 2010.pdf [Consultado: 23-jun-2020]

[12] J. Cana. (2016, En) "Sensor HC-SR04 para crear una alarma con Arduino", HETPRO. [En línea]. Disponible en: https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-hc-sr04/ [Consultado: 17-may-2020]

[13] V. García. (2017, Nov) "Sensor HC-SR501 con Arduino." [En línea]. Disponible en https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/sensor-hc-sr501-con-arduino [Consultado: 17-may-2020]

[14] L. Hernández, "ESP8266 todo lo que necesitas saber del módulo WiFi para Arduino" Programación fácil. [En línea]. Disponible en: https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/ [Consultado: 17-may-2020]

[15] V. Ventura. (2015, Feb) "Conexión WiFi con un módulo ESP8266". Polaridad. [En línea]. Disponible en: https://polaridad.es/modulo-wifi-esp8266/ [Consultado: 17-may-2020]

[16] H. Montes, Design of a system to support the mobility of visually impaired people, congresoutp, vol. 1, n.º 1, pp. 37-44, nov. 2018. [En línea]. Disponible en: https://revistas.utp.ac.pa/index.php/memoutp/article/view/1874 [Consultado: 05-jun-2020]

[17] H. Montes, I. Chang, G. Carballeda, J. Muñoz, Y. Saez, R. Vejarano, A. Garcia, "Conceptual design of technological systems for the mobility of visual impairment people in indoor buildings", in Proc. 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC), Panama, 2019, pp. 1-6. [En línea]. Disponible en: https://ieeexplore.ieee.org/document/8943749 [Consultado: 05-jun-2020]

Propuesta de un sistema automatizado para la obtención de sal en Azuero, República de Panamá

Proposal for an automated system for obtaining salt in Azuero, Republic of Panama

*Paola Fuentes[1], Lissette Peña[1], Omar Sánchez[2], Yessica Sáez[3]**
[1]Licenciatura en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones-Universidad Tecnológica de Panamá (Sede Azuero)
[2]Licenciatura en Ingeniería Eléctrica y Electrónica- Universidad Tecnológica de Panamá (Sede Azuero)
[3]Facultad de Ingeniería Eléctrica-Universidad Tecnológica de Panamá (Sede Azuero)

Resumen En la República de Panamá, el proceso de obtención de sal emplea la mano de obra humana, careciendo de muchos avances tecnológicos, lo que influye de manera directa y sumada a otras variables, la cantidad y calidad del mineral que se llegue a producir. El objetivo principal de esta investigación es proponer un sistema remoto que le permita a los diferentes dueños y trabajadores de salinas, monitorear y controlar diferentes procesos necesarios para la producción de sal. Para la realización de esta investigación, se procedió a recolectar información sobre el proceso de producción de sal, mediante la aplicación de cuestionarios y entrevistas realizadas a las distintas personas que laboran en la Federación Nacional de Cooperativas Salineras de Panamá, R.L., así como datos y documentos facilitados que permitieron obtener una visión amplia del proceso realizado para la obtención de sal. Los resultados de estos cuestionarios muestran que Panamá produce su propia sal para el consumo nacional, siendo Azuero la región donde la producción de sal se da con mayor auge y es por ello que basamos nuestra investigación en esta zona específica. Gracias a las respuestas obtenidas de los cuestionarios aplicados a los salineros, de nuestra región de estudio, se propone un sistema automatizado utilizando un controlador lógico programable (PLC) que permitirá la medición del nivel del mar en puntos específicos con la ayuda de sensores especializados. Además de lo anterior, el sistema propuesto implementará señales GSM con el fin de informar al personal encargado de la salina sobre el estado en que se encuentra el sistema.

Palabras clave Automatización, producción de sal, salinas, tecnología.

Abstract In the Republic of Panama, the process of obtaining salt uses human manpower, lacking many technological advances, which directly influences and in addition to other variables, the quantity and quality of the mineral that is produced. The main objective of this research is to propose a remote system that allows the different owners and workers of salinas to monitor and control different processes, necessary for the production of salt. To carry out this research, we proceeded to collect information on the salt production process, through the application of questionnaires and interviews with the different people who work in the National Federation of Salinas Cooperatives of Panama R.L., as well as data and documents provided that allowed us a broad view of the process carried out to obtain salt. The results of these questionnaires show that Panama produces its own salt for national consumption, being Azuero the region where salt it is produce the most and that is why we based our research on this specific area. Thanks to the responses obtained from the questionnaires applied to the salineros in our study region, an automated system is proposed using a programmable logic controller (PLC) that will allow the measurement of sea level at specific points with the help of specialized sensors. in addition to the above, the proposed system will implement GSM signals in order to inform the personnel in charge of the saline about the state of the system.

Keywords Automation, salt production, salt works, technology.

* Corresponding author: yessica.saez@utp.ac.pa

1. Introducción

Las salinas panameñas, típicamente pequeñas empresas familiares con recursos económicos limitados, han sido muy conservadoras en cuanto a la implementación de tecnología. El proceso tradicional de producción de sal empleado actualmente en nuestro país se basa en la recolección de agua de mar y en un entorno adecuado para la evaporación solar natural. Esta técnica depende en gran medida de la temperatura diaria y los

vientos predominantes para promover la evaporación, por lo que es común y comercialmente viable en las zonas costeras. Dicho sistema pasivo, simple, con poco avance tecnológico, donde la intervención humana juega un papel crucial, se ha utilizado por siglos [1]. Como resultado, el período de producción de sal está limitado por las condiciones meteorológicas que promueven las condiciones ideales como: altas temperaturas diarias, humedad, vientos entre otros, algo que no ocurre exactamente todos los días.

La producción de sal a nivel mundial se ha visto afectada en los últimos años debido al cambio climático, mientras que la demanda de este mineral sigue en aumento, producto del incremento de la población, pues el mismo no solo juega un papel importante en varios campos e industrias como procesamiento de metales, cerámica, petroquímica, industria textil, etc., sino que además el cuerpo humano / animal requiere una ingesta adecuada de sal para asegurar su crecimiento, sistemas inmunes y reproductivos fuertes [1]. La falta de sodio en las personas puede traer grandes consecuencias, provocando una deficiencia en la génesis de los impulsos eléctricos en las neuronas, lo que deriva problemas como letargo, desorientación, debilidad muscular, convulsiones, coma y lo que es peor, la muerte [2].

Entre los años 2006 y 2014 se experimentó un incremento en la demanda de sal del 45%, atribuido principalmente al

crecimiento demográfico [3]. Hasta el año 2015 los mayores productores de sal eran Estados Unidos, China e India. En la figura 1 se muestra el *ranking* de los países con mayor producción de sal medidos en miles de tonelada [4].

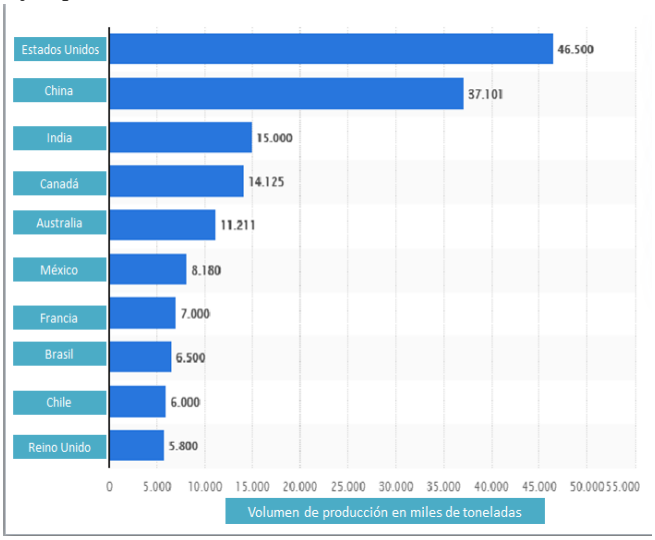


Figura 1. *Ranking* de los países con mayor producción de sal en el 2015.
Fuente: Statista [4].

Según la información de la figura 1, se aprecia que México es el país con mayor producción de sal en Latinoamérica y en el cual se encuentra la exportadora de sal más grande del mundo [5].

En la literatura se han propuesto diversas soluciones para mejorar el proceso de obtención de sal y como consecuencia, aumentar la producción de la misma. Un ejemplo de lo anterior fue un estudio realizado en España, el cual buscó implementar colectores cilíndricos parabólicos e intercambiadores de calor a las salinas tradicionales, lo que permitiría aumentar las tasas de producción [1]. Los autores se basaron en el hecho de que la producción de este mineral es mayor durante los meses de verano. En la actualidad existen empresas como Grupo Industrial Roche, ubicada en Yucatán México, quienes decidieron implementar tecnología en su planta, lo que les ha permitido aumentar su producción de 5 mil toneladas anuales, las cuales eran obtenidas de manera tradicional a 750 mil toneladas anuales mediante el uso de diversos mecanismos tecnológicos [6].

La tecnología avanzada también está disponible para la producción de sal, pero la instalación de la planta y el costo del equipo se estima que es muy alto. Por ejemplo, países con alta humedad han dedicado sus esfuerzos al uso de avances tecnológicos para producir sal a una humedad elevada, ya que a medida que esta aumenta, el proceso de producción se dificulta. Según la entrevista realizada a la Federación Nacional de Cooperativas Salineras de Panamá, R.L. (FENCOSPA, R.L), hace un par de años atrás, un holandés realizó estudios demostrando que se podría producir sal con una humedad de 2.34%. En este estudio se llegó a la conclusión de que para llevar a cabo dicho proceso se debe invertir una mayor cantidad de dinero y realizar mejoras a las diferentes salinas. Esto es muy interesante para nuestro país, ya que debemos considerar que una de las principales problemáticas en nuestra producción de sal es el alto grado de humedad que tenemos, provocando que la sal se obtenga con una humedad de alrededor del 8%, en comparación con otros países que la producen a un promedio de 1.5%.

La producción de sal en la Región azuerence de la República de Panamá se ha visto mermada no solo por el cambio climático, sino también por el uso de un método tradicional de evaporación solar en el que la mayoría de las operaciones son manejadas por los trabajadores de sal manualmente y que ha causado la deserción de muchos salineros. Esto se debe a que la fabricación de sal se realiza de manera tradicional, todas las operaciones como el llenado de agua en el estanque, el mantenimiento del nivel de agua, el nivel de salinidad del agua, la inyección de agua dulce, etc. son manejadas por los trabajadores, la figura 2 muestra la cantidad de sal obtenida anualmente desde el año 2000 hasta el 2017.

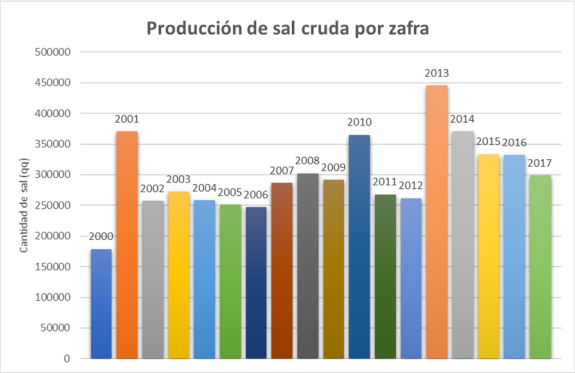


Figura 2. Producción de sal en Panamá desde el año 2000 hasta el 2017.
Fuente: FENCOSPA, R.L. [7].

En la figura 2 se puede notar la baja que ha tenido la producción de este mineral desde el año 2014 hasta el año 2017. Es por ello que el objetivo principal de esta investigación es proponer un sistema remoto que le permita a los diferentes dueños y trabajadores de salinas, monitorear y controlar mediante la utilización de un control lógico programable (PLC), operaciones como la medición del nivel del mar en los puntos especificados con la ayuda de sensores especializados, los cuales se encontrarán especificados en la sección de materiales y métodos. Para la transmisión de las señales monitoreadas, el PLC a través de una señal GSM, le hará saber a quién esté a cargo de la salina, cualquier estado en que se encuentre el sistema, además del control de la misma si es necesario.

Este artículo se encuentra organizado de la siguiente manera: la sección 2 muestra los antecedentes. La sección 3 describe los diferentes materiales y métodos utilizados. En la sección 4 se encontrarán los resultados de las encuestas aplicadas a los diferentes salineros. La sección 5 explica el diseño conceptual propuesto y en la sección 6 se encontrarán las discusiones.

2. Antecedentes

En Panamá la producción de sal se realiza aprovechando los aguajes (mareas más altas que el nivel normal). Desde la llegada de los españoles se construyeron canales para captar el agua de esas mareas, dándole un manejo para producir sal. A este antiguo sistema se le conoce como “destajos de tierra” (fosas en las que se vierte el agua salada) [5]. En tiempos de aguaje, el agua entra por los esteros (terrenos pantanosos) y se desplaza por las albinas (tierra con cierto contenido de sal), las cuales quedan inundadas por dichas aguas, quedando estancadas en pequeñas cantidades en donde, por efecto de los rayos solares, parte de esta se evapora formando cristales que se precipitan en el fondo de fosas o destajos.

En Panamá las regiones que se dedican a esta actividad son la región azuerence y la provincia de Coclé. En la región de Azuero se encuentra la Cooperativa Reyes Espino, R.L. ubicada en Guararé, la Cooperativa Salineros Santeños, R.L. ubicada en La Villa de Los Santos, la Cooperativa Sal Sarigua, R.L. ubicada en Chitré y en la provincia de Coclé se ubica Cooperativa Marín Campos, R.L. específicamente en Aguadulce [8].

Para esta investigación estaremos trabajando con la Cooperativa Salineros Santeños, R.L. La figura 3 muestra el mapa de ubicación exacta de las salinas a trabajar.

Figura 3 Salinas de Santa Ana de Los Santos.
Fuente: *Google Earth*. [9].

Por motivos de calidad y de cantidad, la actividad salinera ha evolucionado y se ha transformado en un sistema con técnicas nuevas y un tanto modernas, aunque la implementación de tecnología más avanzada pudiera permitir obtener una mayor producción de sal. En la actualidad los salineros siguen utilizando las mismas instalaciones tradicionales, pero han logrado instalar mejoras como: compuertas, construcción de lagos y la más significativa; el reemplazo de destajos de tierra a carpetas o cristalizadores de plástico, lo que han permitido obtener una sal más limpia, aumentar el almacenamiento de agua y la producción del mineral. La figura 4 ilustra el proceso actual utilizado en las salinas.

Figura 4. Proceso actualmente utilizado para la obtención de sal.
Fuente: Entrevista a salineros.

El proceso actual de producción de sal inicia con la captación del agua aprovechando las altas mareas, momento en el cual el agua contiene de 1 a 1.5 grados de salinidad. Esta agua va pasando a los lagos de reserva o "tercios" a través de compuertas pequeñas, permitiendo que el sol y el viento aceleren la evaporación, dando como resultado el aumento de la concentración de la sal. Esta agua permanece retenida en los tercios por un periodo aproximado de 15 días, hasta obtener un nivel de pre-cristalización de 18 grados o más, según la escala Baumé (escala utilizada en la medida de las concentraciones de ciertas soluciones, originalmente se basa en la salinidad del agua y salmuera) 6. Una vez se cumple este proceso se procede a bombear hacia los distintos cristalizadores, destajos o tinas plásticas, donde iniciará la precipitación de los cristales de sal hasta lograr alcanzar los 24-26 grados. Este proceso puede durar de 4 a 6 días dependiendo de la intensidad del sol y la cantidad de agua depositada en las tinas. Es importante mencionar que las tinas deben llegar a tener un espesor de 3 a 4 pulgadas. Una vez cristalizada la sal, se comienza la extracción o cosecha, la cual se suele realizar con instrumentos de madera o plástico como cepillos, escobillones u otra herramienta similar. Se amontona la sal en la tina, se deja escurrir, se extrae y se le da un reposo de 48 horas para ser depositada en los diferentes sacos y luego se traslada y procesada para su posterior comercialización [10].

Es importante mencionar que todo el proceso, desde la captación del agua hasta que la sal se traslada para ser procesada es totalmente manual, lo que de cierta manera impide el incremento de la producción. Una de las principales desventajas para los salineros o personas encargadas, es el momento de la captación del agua, ya que como se ha mencionado anteriormente estas depende de las altas mareas, por ende se debe estar en constante vigilancia y una vez suba la marea, sin importar la hora en que se de este fenómeno natural, las personas deben trasladarse a la salina para abrir las compuertas y dejar pasar el agua a los tercios hasta que los tercios alcancen el nivel requerido, es importante mencionar que el nivel de los tercios puede variar, dependiendo de la salina. Es por ello que la implementación de un sistema más moderno podría ayudar a los diferentes salineros, evitando trasladarse a las salinas durante horas de la madrugada y así los mismos puedan tener un mayor desempeño de sus funciones durante las labores diurnas en la salina.

3. Materiales y métodos

3.1 Materiales

Teniendo en cuenta el arduo trabajo de los salineros en sus labores, tanto al recolectar el agua de mar y el antiguo sistema que se utiliza para la producción de sal, se busca proponer la aplicación de tecnología que faciliten su labor, utilizando los siguientes equipos:

- Bomba centrífuga
- Disyuntor termomagnético
- Boyas
- Contactor
- Pulsador normalmente abierto
- Conmutador biestable
- Control lógico programable, EXM-8AC-R.

3.2 Metodología

Antes de realizar una propuesta de este tipo, se procedió a entrevistar al gerente de FENCOSPA, R.L., la participación de esta empresa se limita a las cooperativas asociadas que realizan la actividad de producción y mercadeo de sal, donde dos de ellas son productoras. Se han escogido las mismas ya que actualmente Azuero es la región del país que más sal produce, razón por la cual este estudio se realiza específicamente en el corregimiento de Santa Ana, provincia de Los Santos [11]. Obtuvimos información estadística interesante relacionada con las diferentes cooperativas que están afiliadas a la federación. Por ejemplo, dentro de la federación existen un total de 173 productores de sal. Estos datos sentaron las bases para el diseño de una encuesta que básicamente buscaba medir el grado de aceptación de los salineros con respecto al uso de tecnología en el proceso de producción de sal.

Se tomó en cuenta la cantidad de productores pertenecientes a la Cooperativa Salineros Santeños, que cuenta con 93 productores [8], de ahí se extrajo una muestra de 75 utilizando la formula (1) obtenida de [12]:

$$n = \frac{Z^2 PQN}{E^2(N-1)+PQZ^2} \quad (1)$$

donde Z es el valor obtenido mediante niveles de confianza (en este caso se utilizó un grado de confiabilidad de 95% para el cual Z=1.96). El producto PQ representa la varianza de la población, el cual, al ser desconocido se utilizó PQ=0.25, se estimó un grado de error del 5% y N es el tamaño de la población en estudio.

Luego se procedió a visitar las diferentes salinas ubicadas en el corregimiento de Santa Ana, provincia de Los Santos, con el objetivo de conocer más sobre el proceso de la obtención de la materia prima y así indagar sobre su opinión acerca del uso de tecnología en el proceso de producción de sal. Se aplicó la encuesta a la muestra determinada con el propósito de conocer la opinión de los trabajadores acerca del sistema antiguo y sus sugerencias en caso de querer modernizar el mecanismo utilizado. Además, se incluyó en dicha encuesta, una descripción de un sistema propuesto por nosotros para así conocer el grado de aceptación de los trabajadores hacia un sistema con mayor tecnología. Las preguntas de la encuesta fueron las siguientes:

- ¿Cómo se siente con el sistema utilizado actualmente?
- ¿Piensa que se debe cambiar el sistema?
- ¿Cómo considera el sistema propuesto?

4. Resultados

A continuación, se muestran los resultados de la encuesta aplicada a los salineros, así como el diseño conceptual del sistema propuesto.

4.1 Resultados de las encuestas

Mediante la encuesta aplicada a los distintos productores de sal pudimos obtener un referente a su grado de aceptación con respecto al uso de la tecnología en el control y automatización del sistema utilizado actualmente en las salinas. A continuación, se muestran algunas de las preguntas realizadas con sus diferentes opciones.

Un 75% de las personas encuestadas dijo sentirse bien con el sistema utilizado actualmente mientras que un 25% no se siente bien, debido a que es un trabajo muy pesado y rudimentario (ver gráfica 1).

Gráfica 1. ¿Cómo se siente con el sistema utilizado actualmente?

Con respecto a la posibilidad de añadir cambios al sistema actual utilizado, un 60% está de acuerdo, algunos sugieren que se apliquen nuevas tecnologías que no sean tan costosas y que mejoren la calidad y cantidad de la producción, sin embargo, un 40% dice que se debe dejar el sistema actual tal como está, ya que es una tradición de muchos años, y prefieren “algo bueno conocido que malo por conocer” (ver grafica 2).

Gráfica 2. ¿Piensa que se debe cambiar el sistema?

Basados en los resultados de las encuestas y las sugerencias de los trabajadores de las salinas, se procedió a realizar un diseño conceptual de un sistema cuyo objetivo principal es reducir las horas de trabajo constantes y mejorar la producción de sal. Se les mostró este diseño a los encuestados, en donde un 52.5% dijo que el sistema propuesto parece ser bueno, un 35% expresó que es regular y un 12.5% manifestó que es una excelente alternativa para mejorar el sistema (ver grafica 3).

Gráfica 3. ¿Cómo considera el sistema propuesto?

4.2 Diseño conceptual

El propósito principal del sistema propuesto es brindar la facilidad de control y seguimiento, de manera remota y local, de las salinas ubicadas en nuestro país. Actualmente el procedimiento se hace a través de bombas comerciales de combustible, por lo que el control de las mismas es complicado, ya que los inyectores electrónicos que las mismas traen tienen su diseño de control interno. Por esta razón, se ha pensado en desarrollar el prototipo en función de bombas que trabajen con motores eléctricos.

4.2.1 Diseño del prototipo

Para el diseño del prototipo se utilizaron los materiales mencionados en la sección 3. En el punto más cercano al sistema de red eléctrica, se armará un panel de control donde, como primer componente, se colocará un disyuntor termomagnético para proteger el PLC, bombas y sensores, ante cualquier tipo de falla proveniente de la red (sobrecargas, fallas en las líneas, cortocircuito, calentamientos excesivos, entre otros). Bajo este dispositivo de protección se conectará un pulsador normalmente abierto. La cantidad dependerá del número de bombas ubicadas en la salina. Al utilizar estos pulsadores estamos dándole la oportunidad a los propietarios de las salinas de manejar el sistema manualmente, al conectar la salida directamente a los contactores. Para el modo automático, se colocará entre la boya y la entrada del PLC, un conmutador biestable. De manera que se pueda controlar tanto la comunicación entre el sensor y el PLC como el apagado de las bombas. Este último proceso se configurará dentro de la lógica. En las salidas del PLC se conectarán los contactores; al igual que con los conmutadores, su número dependerá de la cantidad de bombas.

Para el control del sistema automatizado, se colocarán boyas que funcionarán como medidores del nivel del agua. Las boyas se conectarán a contactos N.A, y estos a las entradas del PLC. Al subir la marea y llenarse el canal principal, el PLC

recibirá este dato y enviará el mandato a la(s) bomba(s) ubicada(s) en el o los, lagos de reserva para que inicien a llenar el espacio físico. Las bombas deben ir conectadas al contactor. Se llenarán con agua hasta que las boyas, ubicadas ahí, lleguen hasta el máximo establecido. En este momento el PLC recibirá la señal de la boya y actuará sobre la bomba apagándola. Este proceso también se llevará a cabo en los "tercios" (lagos de reserva que están más cerca de los destajos de plástico, donde el agua alcanza el grado de salinidad adecuado más rápido) (ver figura 5)

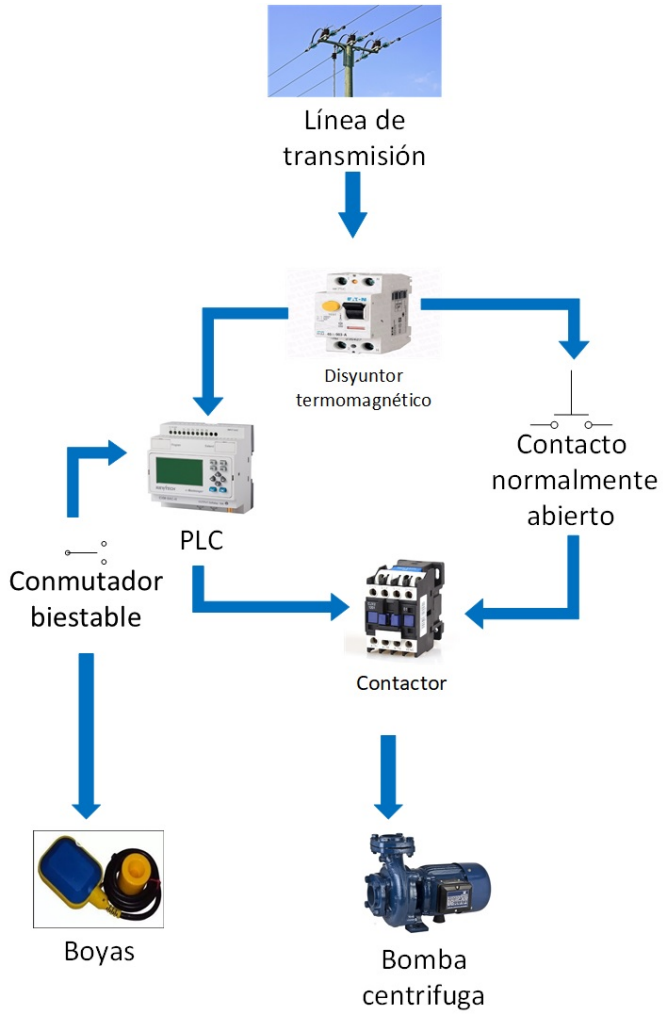


Figura 5. Esquemático del sistema propuesto.

Todo el proceso antes mencionado se logrará visualizar de forma remota, ya que el PLC cuenta con un módulo GSM incluido, por lo tanto, el prototipo contará con la disponibilidad de no solo monitorear sino de controlar desde cualquier lugar que tenga cobertura de una empresa telefónica.

No es necesario automatizar el control de calidad de la sal en términos de medir la salinidad con sensores. Este trabajo se le puede dejar a los encargados de las salinas. Una vez determinado el grado de salinidad necesario, a través del modo manual se pasará a llenar los destajos.

4.2.2 Diseño del sistema de comunicación

Cada uno de los sensores (boyas) se encargan de recoger las diferentes señales sobre el nivel del agua, las cuales una vez obtenidas, serán enviados al PLC y este por medio de una señal GSM las enviará a una plataforma, donde solamente el dueño o el personal encargado podrá tener acceso.

La plataforma recibirá los datos leídos por las boyas, dando parte a quien controla la salina de que a través de SMS o la misma aplicación, manipular en tiempo real funciones como el encendido o apagado de las bombas. Otra información que le será dispensada al usuario será en caso de algún error, ya sea problemas de algún sensor o bomba.

Esta aplicación es proporcionada por el mismo PLC por lo que no trae gran dificultad instalarlo, y por último los usuarios no deberán tener destreza de programación para parametrizar cualquier aspecto (ver figura 6).

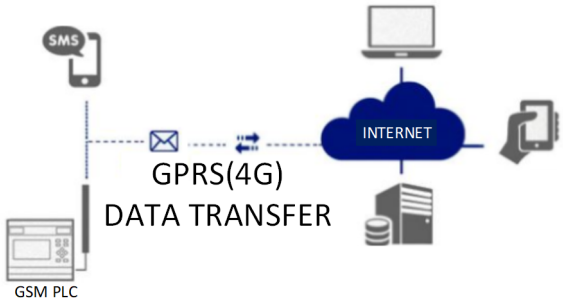


Figura 6. Esquemático del sistema de comunicación.

5. Discusión

Es importante destacar que, hasta la fecha, Panamá es un país que produce su propia sal para el consumo nacional y que Azuero es la región donde la producción de sal se da con mayor auge, sin embargo, el sistema utilizado actualmente presenta fallas debido a que se realiza de una manera manual, que a futuro junto con el cambio climático podría provocar escases del mineral y que el país tenga que exportarlo.

En nuestra visita a FENCOSPA, R.L, se conversó sobre dos proyectos propuestos para dar solución a problemáticas presentadas. El primero pretendía solucionar lo relacionado al tiempo que le toma a la sal cristalizarse. Este proyecto solo llegó a una fase inicial, ya que continuar con el nuevo sistema propuesto resultó ser de un alto costo y la federación no contaba con el presupuesto para continuarlo. El segundo es un proyecto que realizó un propietario de una salina. Este consiste en paneles solares que les proporciona energía a los motores para dejar de utilizar combustible. Estas dos propuestas demuestran que se han estado buscando alternativas para mejorar el sistema de producción de sal, pero que todavía hay mucho trabajo por realizar.

Los resultados de las encuestas muestran que más de la mitad de los salineros están de acuerdo con que se deben aplicar cambios al sistema actual. Esto debido a que las nuevas generaciones no desean participar o seguir la tradición de cómo se produce la sal actualmente por ser un trabajo muy pesado. El sistema propuesto tuvo gran aceptación por los salineros y nos hizo referencia que el sistema suena bien, ya que solo se está automatizando parte del trabajo. Cabe mencionar, que el trabajo realizado en salinas es un trabajo hecho en conjunto, en otras palabras, un grupo de trabajadores contratados por el propietario de la salina. Por lo tanto, el hecho de automatizar todo, en general, traería como consecuencia una reducción de personal, por lo que esto pudo haber influido en su respuesta.

Finalmente, el sistema presentado en este trabajo es solo una propuesta conceptual. Como trabajo futuro, se espera llevarlo a prueba para comprobar su funcionamiento, de manera que el sistema sea óptimo. Igualmente se espera realizar más investigaciones en el área, con el fin de encontrar respuestas que sean tal vez menos costosas o más sencillas para el beneficio de los salineros.

AGRADECIMIENTOS

Se le agradece al gerente de FENCOSPA, R.L., Mgtr. Modesto Delgado y a sus colaboradores, a los salineros del corregimiento de Santa Ana de la provincia de Los Santos, Panamá, por el apoyo, información y la ayuda brindada.

REFERENCIAS

[1] Flagg Díaz, Robert & Stewart y Susan & Brownson, Je, «Use of Concentrated Solar Thermal Energy System to Enhance Sea Salt Production in Southern Spain,» 2012.

[2] F. M. B., «La sal es indispensable para la vida, pero ¿cuánta?,» Revista Chilena de nutrición, vol. 39, nº 4, pp. 192-195, 2012.

[3] Statista Research Department, «Statista,» 6 Agosto 2015. [En línea]. Available: https://es.statista.com/estadisticas/613361/principales-paises-productores-de-sal-en-el-mundo/.

[4] Soriano P. y Arturo J., «Estudio técnico para la implementación de un nuevo sistema productivo, para el incremento de la producción en la empresa famovisal s.a",» 2017.

[5] Publimetro, «México tiene la exportadora de sal más grande de mundo.,» 16 febrero 2014. [En línea]. Available: https://www.publimetro.com.mx/mx/noticias/2014/02/16/mexico-tiene-la-exportadora-de-sal-mas-grande-del-mundo.html

[6] Grupo Industrial ROCHE, «Grupo roche,» [En línea]. Available: http://www.gruporoche.com.mx/historia.html.

[7] FENCOSPA, R.L., «Estadística de producción anual.,» 2017.

[8] FENCOSPA, R.L., «FENCOSPA, R.L.,» [En línea]. Available: https://fencospa.com.pa/antecedentes/.

[9] Google Earth, [En línea]. Available: https://earth.google.com/web/@7.95787708,-80.36693247,6.54403548a,5026.09950532d,30.0000412y,0h,0t,0r.

[10] Milton, «Producción de sal solar de fencospa r.l. Los Santos Panamá» losvideosdemilton1, [en línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=vAt_f9p35_c.

[11] O. Bernal, «"Proyecto Programación Financiera FENCOSPA, R.L",» Panamá, 2007.

[12] Walpole, R., Myers, R. y Cruz, R., «"Probabilidad y estadística para ingenieros"» México, 1999.

[13] OPS Panamá, «OPS Panamá» [En línea]. Available: https://www.paho.org/pan/index.php?option=com_content&view=article&id=1355:inteligencia-artificial-la-herramienta-de-panama-para-contener-el-covid-19&Itemid=442. [Último acceso: 31 mayo 2020].

Evaluación de la gestión de seguridad en la cadena de suministro en el sector ganadero de Panamá

Evaluation of the security management in the supply chain in the livestock sector of Panamá

Emily Saldaña [1], Práxedes Torres [2]*
[1] Licenciatura en Logística y Transporte Multimodal, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Panamá
[2] Facultad de Ingeniería Industrial – Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen Las cadenas de suministro son vulnerables a varios riesgos que podrían romper la continuidad del negocio y hasta pueden hacer cerrar las operaciones. El sector ganadero de Panamá, base de las cadenas de suministro alimenticio, se ve afectado primordialmente por el hurto pecuario. La provincia de Chiriquí, provincia con mayor actividad ganadera del país, es la que presenta mayor afectación por este problema. El modelo de madurez de riesgo basado en la Norma ISO 31000:2009 se utilizó como herramienta para medir el nivel de implementación de la gestión de riesgo del sector ganadero resultando, en un nivel medianamente consistente.

Palabras clave Cadena de suministro, gestión de riesgos, hurto pecuario, modelo de madurez de riesgo, norma ISO 28000, norma ISO 31000.

Abstract Supply chains are vulnerable to a number of risks that could disrupt business continuity and can even shut down operations. Panama's livestock sector, the base of the food supply chains, is primarily affected by livestock theft. The province of Chiriquí, the province with the highest livestock activity in the country, is the one that is most affected by this problem. The risk maturity model based on the ISO 31000: 2009 standard was used as a tool to measure the level of implementation of risk management in the livestock sector, resulting in a fairly consistent level.

Keywords Supply chain, risk management, livestock theft, risk maturity model, standard ISO 28000, standard ISO 31000.

* Corresponding author: emilysaldana@utp.ac.pa

1. Introducción

Actualmente, las empresas se enfrentan a riesgos internos y externos que afectan directamente la continuidad del negocio, ejemplos de estos tenemos: inundaciones, incendios, vandalismo y robo. A estas se les incluye otros riesgos frecuentes, como el contrabando y los actos delictivos que interrumpen la cadena de suministro y la continuidad de la empresa.

En un mundo globalizado, donde el comercio está creciendo y se torna dinámico, es indispensable que las empresas realicen un estudio del riesgo e impacto de la cadena de suministro y sus posibles consecuencias al verse afectados por estos riesgos.

Como soporte a las organizaciones, se han desarrollado estándares internacionales basados en buenas prácticas para la gestión del riesgo ("*security*"). Normas como BASC y la ISO 28000 resaltan entre las más utilizadas para los temas de "*security*". Sin embargo, la Norma ISO 31000:2009 es una norma completa que sirve para cualquier tipo de organización que tiene planeado implementar la gestión de riesgo, tanto en el ámbito de seguridad operacional, como de seguridad física.

En este documento se muestra la investigación realizada consistente de la medición del nivel de implementación de la Norma ISO 31000:2009, que tiene como finalidad el proporcionar un marco de referencia para la gestión de un sistema global de la seguridad de la cadena logística y así reducir la posibilidad que las operaciones sean utilizadas para ilícitos, ya que esta norma facilita a que las organizaciones se anticipen a dichos acontecimientos mediante la prevención.

La Norma ISO 31000 es una norma más genérica enfocada en la gestión del riesgo en cualquier tipo de organización. Su enfoque es, tanto en aspectos de seguridad operacional como de seguridad física.

https://doi.org/10.33412/rev-ric.v6.2.2892

El instrumento utilizado para medir el nivel de implementación de una gestión de riesgo en una organización es por medio de modelos que midan el nivel de madurez de riesgo (“*Risk Maturity Model*” – RMM). Estos modelos sirven como indicadores que miden el cumplimiento de una serie de atributos que terminan en indicadores para medir el nivel alcanzado por la organización.

2. Antecedentes

Los sucesos terroristas ocurridos el 11 de septiembre de 2001, en Nueva York, Estados Unidos; entre ellos el más emblemático de dicho día, el dado en las Torres Gemelas, han traído como consecuencia que las organizaciones, tanto públicas como las del sector privado, tuvieran una mayor consciencia y control en cuanto a la necesidad de proteger sus bienes y activos, lo que ha propulsado a las diferentes entidades gestionar la creación de normas sobre la gestión de seguridad para la cadena de suministro [1].

Para proteger la seguridad de la cadena de suministro, Estados Unidos desarrolló el programa C-TPAT *(“Customs – Trade Partnership Against Terrorism”* - Asociación Aduanera-Comercial contra el Terrorismo), el cual implementa medidas de seguridad que protege a la cadena de suministro, pues evita que esta sea utilizada por delincuentes y/o terroristas, como un camino fácil para realizar el delito. A su vez, la Organización Mundial de Aduanas, con el referente de “C-TPAT”, estableció el Marco de Estándares de Seguridad (*Framework of Standards*), dando así la publicación de esta iniciativa en su Asamblea General del año 2005. De igual manera, el Parlamento Europeo, en ese mismo año introdujo una rectificación a su Código Aduanero Comunitario, permitiendo que las aduanas europeas otorguen beneficios a los responsables del comercio exterior para calificarse como Operador Económico Autorizado.

Como no existía un ente que enlazara ambas iniciativas, es donde entra la Organización Internacional de Normalización (ISO) y confecciona la Norma ISO 28000 en el 2007, en respuesta a las necesidades de las empresas y actualmente logra unir estándares diferentes a nivel mundial y alcanza a cerrar la brecha entre los programas OEA y C-TPAT, permitiendo así su reconocimiento mutuo [2].

Las certificaciones internacionales de procesos de calidad y seguridad como: ISO, BASC (“*Business Alliance for Secure Commerce”* – Alianza Empresarial Internacional), TAPA (*“Transported Asset Protection Association”* – Asociación para la protección de activos transportados), OEA, C-TPAT son exigidos mundialmente como requisito inicial de muchos clientes. Los dos únicos sistemas de gestión en el mundo para asegurar cadenas de suministro son: Norma ISO 28000 y BASC; los demás son iniciativas de seguridad que cuentan con requisitos de este, mas no cumplen con las características de un sistema de gestión [3].

En Panamá, hemos tenido casos de rompimiento de la cadena de suministro como, por ejemplo, la Autoridad Nacional de Aduanas (ANA), en el mes de diciembre de 2018, declaró un paro laboral, en reclamo del pago de una bonificación, que se les adeudaba desde enero del mismo año [4]. Esto ocasionó afectaciones a los comercios debido a la retención de materia prima fundamental para la elaboración de productos. Una de las tantas empresas afectadas fue Krispy Kreme, que se vio obligada de cesar la operación en seis tiendas y restablecer la misma hasta que la carga saliera de aduana [5].

Posteriormente, la Asociación de Médicos Veterinarios, convocó a un paro de brazos caídos para el sector público, debido al incumplimiento de acuerdos salariales y el reconocimiento de los estudios de especialidades. Dicha medida tuvo afectación en las actividades de las diferentes entidades públicas: incluyendo los puertos, aeropuertos y puertos fronterizos. Este paro incluía la paralización de la entrada y salida de productos de origen animal, tanto por vía aérea, marítima y terrestre, al igual la paralización de los servicios en centros de salud, labores en las plantas de sacrificios y de proceso [6].

Es relevante que un país, al incrementar sus negociaciones también aumenta la inseguridad, ya que se puede presentar riesgos en el transporte, el almacenamiento de la mercancía, manipulación de esta y la presencia de personas ajenas que suelen aprovecharse de estas vulnerabilidades.

En países como México, Argentina y Uruguay, por sus características geográficas y sus actividades económicas, sufren de hurto pecuario. En Panamá, no se escapa a esta situación. Entre las mayores limitantes de este sector para su desempeño están: mercado saturado de productos importados en época de cosecha, falta de planificación y coordinación institucional efectiva en el sector gubernativo agropecuario, cambio climático, contrabando, falta de mano de obra y costos de producción [7].

Según informe del Ministerio Público del 2 de septiembre de 2016 al 31 de julio de 2017, se recibieron 651 denuncias por el delito contra el patrimonio económico, en su modalidad de hurto pecuario. Los datos estadísticos del Ministerio Público mencionan que las provincias que se reportó con más denuncias por este delito son: Chiriquí con 154; Los Santos, con 119 casos y Coclé, donde entraron 83 denuncias [8].

La mercancía es perecedera, en especial las cárnicas (aves, bovinos, equinos, entre otros). Para los ganaderos, el problema del hurto pecuario representa pérdidas monetarias, ya que el modus operandi de los abigeos/cuatreros es sustraer los animales de las fincas, luego llevarlas hasta el matadero, en

donde los sacrifican y posteriormente terminar con su comercialización [9].

En la figura 1 se aprecia las denuncias registradas por hurto pecuario en las provincias de Chiriquí, Los Santos y Coclé.

Figura 1. Denuncias por el delito contra el patrimonio económico, en su modalidad de hurto pecuario.

Para los fines de este trabajo se considera el sector ganadero de la provincia de Chiriquí, debido a la gran cantidad de denuncias registradas por la modalidad de hurto pecuario. Por ello, se quiso investigar cuál sería su nivel de madurez de su gestión de riesgo para afrontar los hurtos y los otros riesgos que esta industria afronta.

3. Marco teórico

3.1 Sector ganadero

Según el último censo agropecuario del año 2010, con respecto a la producción ganadera en Panamá, existen 10,897 explotaciones dedicadas a la ganadería bovina en la provincia de Chiriquí, de las cuales el 52 % se dedica a la cría, el 26 % a la ceba y el 22 % restante a la producción lechera [10]. En la tabla 1 se puede observar la distribución de las fincas ganaderas y las reses según el tamaño de explotación en la provincia de Chiriquí.

Tabla 1. Distribución de las fincas ganaderas y las reses según el tamaño de explotación en la provincia de Chiriquí

Tamaño de la finca (No. de reses)	Número de fincas	Número total de animales
0 - 99	6,150	173,577
100 - 499	496	114,728
500 – en adelante	54	56,981

Fuente: Contraloría General de la República de Panamá.

El proceso pecuario de producción de ganado en pie se clasifica en cinco etapas: Reproducción, cría, levante, Engorde y comercialización de ganado en pie [11].

3.2 La importancia de la seguridad de la cadena de suministro

La seguridad es un factor muy importante para el desarrollo de un comercio íntegro; esta se fortalece del aporte que empieza desde el proveedor hasta el vendedor. Sin embargo, existen otros factores que influyen en su consolidación o debilitamiento. Las empresas que no toman en serio la seguridad de la cadena de suministro se vuelven vulnerables a ataques potencialmente devastadores, por ejemplo: el terrorismo, la piratería y el robo [12].

La seguridad de la cadena de suministro busca la aplicación de políticas, procedimientos y tecnologías para velar por el correcto y oportuno funcionamiento de las cadenas de suministro [13].

3.3 La Norma ISO 28000:2007

La Norma ISO 28000:2007 es un estándar que permite a las empresas de cualquier sector, promover las mejores prácticas en auditoría de riesgos y manejo de eventos de seguridad en la cadena de suministro [14].

La Organización Internacional de Normalización (ISO), publicó en el año 2007 esta norma; la cual define requisitos y recomendaciones para aquellas empresas que están involucradas a la cadena de suministro.

Esta es la primera norma de este tipo, en señalar los riesgos que conlleva para la seguridad dentro de la cadena de suministro [15].

Esta norma fue revisada y confirmada por última vez en el año 2014 y sigue siendo esta versión actual. Para el año 2020 se espera su nueva versión [16].

La Norma ISO 28000 es una opción para que las empresas puedan establecer y documentar niveles razonables de seguridad, dentro de la cadena suministro y sus unidades. Esta norma es multimodal y no procura reemplazar o anular a los programas de seguridad de las cadenas de suministro de las direcciones de aduanas nacionales, es decir busca estar de acuerdo y complementar el Marco de Normas de la Organización Mundial de Aduanas para facilitar el comercio mundial [17].

Según la ISO, esta norma es aplicable a organizaciones de la pequeña, mediana y grande empresa, para las áreas de fabricación, servicio, almacenamiento o transporte; en cualquier etapa de la producción o cadena de suministro que desee establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de la seguridad, y a su vez, asegurar la conformidad con la política de gestión de seguridad establecida [18].

Esta norma requiere que la organización o empresa evalúe el entorno de seguridad en el que trabaja, determine si se ejecutan medidas de seguridad adecuadas y si ya existen otros requisitos reglamentarios que la misma cumpla. La base principal de la Norma ISO 28000 es la gestión del riesgo, desde

un punto de vista de seguridad física - "*security*" como es conocido en inglés [19].

3.3.1 Estructura de la Norma ISO 28000

La estructura de la Norma ISO 28000 está compuesta por:

1. Política de gestión de la seguridad
2. Planificación y evaluación del riesgo de seguridad
- Evaluación de riesgos.
- Requerimientos legales, estatutarios y otros.
- Objetivos y metas de seguridad.
- Programas de Gestión de la Seguridad.
3. Implementación y operación
- Estructura, autoridad y responsabilidades.
- Competencia, formación y toma de conciencia.
- Comunicación.
- Documentación.
- Control de documentos.
- Control operacional.
- Preparación y respuesta ante emergencias y recuperación de la seguridad.
4. Verificación y acción correctiva
- Medición y monitoreo del desempeño de la seguridad.
- Evaluación del sistema.
- Fallas relacionadas con la seguridad, incidentes, no conformidades y acción correctiva y preventiva.
- Control de registros.
- Auditoría de S.G.S.
5. Revisión por la dirección y mejoramiento continuo.
6. Mejoramiento continuo [20].

3.4 Diferencia entre *"safety"* y *"security"*

En la lengua inglesa, seguridad es un término que tiene dos formas de mencionarlos: *safety* y *security*. Según Olleros la "Diferencias entre *Safety* y *Security*" es la siguiente: "*Safety y Security* son disciplinas que se ocupan de la protección y reducción de los riesgos de las personas y de su propiedad, contra los peligros y daños que tienen su origen en el delito, el uso indebido y en la accidentalidad de sistemas y procesos" [21].

Estos dos términos nos permiten diferenciar los riesgos de seguridad que enfrentan las empresas:

1. "*Safety*" (protección)/Seguridad operacional: Se refiere a todos los riesgos derivados de eventos accidentales o fortuitos como: desastres naturales, errores humanos, accidentes, fallos no intencionados, entre otros.
2. "*Security*" (seguridad)/Seguridad física: Son los riesgos en los cuales hay un oponente o atacante intencionado que provoca algún daño. Ejemplos: sabotajes, robos, fraudes, entre otros [22].

En la tabla 2 se describen las principales diferencias entre "*Safety*" y "*Security*".

Tabla 2. Principales diferencias entre "*Safety*" y "*Security*" [23]

Características	***"Safety"***	***"Security"***
Causas	Comportamiento humano en combinación con el ambiente.	Incidente como resultado de una persona o grupo de personas.
Causas	A menudo no existen acciones planificadas.	A menudo existen acciones planificadas.
Causas	Actos delictivos (Ley de Medio Ambiente).	Actos delictivos.
Causas	Rara o maliciosamente ocurre.	Principalmente ocurre actos maliciosos.
Causas	Actos deliberados sin deseo de ocasionar un incidente.	Actos deliberados con deseo de llevar consigo una consecuencia del acto.
Amenazas/peligros	Amenazas humanas internas.	Amenazas humanas internas y externas.
Amenazas/peligros	Los peligros son observables, tangibles y próximos	Los peligros no son observables, tangibles y próximos.
Pérdidas	Pérdida relacionada con lesiones humanas, muerte y fiabilidad de activos industriales.	Pérdida relacionada con activos físicos e información.
Entorno	Condiciones físicas y ambientales, no solamente humanos y la sociedad.	Estado de la sociedad a través de sus estructuras, situación económica, respecto a la ley y moral.
Relevancia	La industria y el sector transporte	Amplia gama de empresas.
Incertidumbre		Alto grado de incertidumbre y bajo grado de conocimiento sobre amenazas.

3.5 Norma ISO 31000:2009

Para realizar una correcta identificación y evaluación de riesgos se necesita el apoyo en la Norma "ISO 31000 Principios y directrices para la gestión de riesgos" que establece que todo tipo de organizaciones independientemente de su tamaño y funciones, enfrentan factores e influencias, tanto internas y externas, que crean incertidumbre sobre los logros de sus objetivos. Es decir, todas las actividades que se desarrolla dentro de una organización implican riesgo.

Cada sector específico o cada aplicación de la gestión del riesgo lleva consigo requisitos, audiencias, evaluaciones y criterios individuales. Por lo tanto, es fundamental establecer el contexto de cada riesgo [19].

Las Normas ISO 31000, tienen un enfoque más general que las Normas ISO 28000, en cuanto a que la ISO 31000 ayuda a implementar procesos de gestión de riesgo en cualquier tipo de organización, por lo que toman en cuenta tanto las partes de seguridad operacional ("*safety*"), como de seguridad física ("*security*").

3.6 El modelo de madurez de riesgo

Los riesgos que ocurren dentro del sector ganadero se pueden deber a : caídas por suelo en malas condiciones, accidentes causados por los propios animales, contagio de diferentes enfermedades (tuberculosis bovina, brucelosis, hidatidosis, etc.) transmitidas por el ganado, accidentes fortuitos durante el manejo de los animales, falta de seguridad estructural en las construcciones, entre otros [24].

La Norma ISO 31000 (Sistemas de Gestión de Riesgos) cubre toda la gestión de la seguridad y al igual que toda norma ISO, esta se orienta a la mejora continua (Planificar, Realizar, Comprobar y Reaccionar). Es una excelente norma para la implementación de la gestión de seguridad en diversos tipos de empresas.

El grado de madurez en una empresa puede ser medido mediante modelos de madurez (RMM). Estos modelos permiten realizar una evaluación de los procesos de control, eliminación y mitigación de los sucesos que amenazan las operaciones de una empresa [25].

Dado que la investigación se enfocó en medir el nivel de implementación de la gestión de riesgo, asimismo se distingue que el sector productor ganadero tiene riesgos en ambas áreas: tanto en "*safety*" y "*security*". Es preferible utilizar el modelo de madurez de riesgo, el cual es un marco de referencia que sirve como indicador para reconocer el nivel de implementación de la gestión de riesgo de las organizaciones. Este indicador permite obtener un puntaje de madurez y pautas para mejorar sus programas ya establecidos. No hay un modelo único, ya que se pueden basar en diferentes criterios para la aplicación de esta.

El modelo de madurez de riesgos (RMM) permite a las organizaciones medir qué tan bien han realizado sus esfuerzos en implementar la gestión de riegos, "ya que es una herramienta de buenas prácticas para la gestión de riesgos empresariales" [26]. Este modelo tiene como resultado que las organizaciones reciban un puntaje de madurez y un conjunto de directrices para mejorar y obtener los muchos beneficios asociados con la madurez.

Por lo tanto, al ser seleccionada la Norma 31000, el instrumento a medir el nivel de implementación, nivel de madurez de riesgo, debe estar basado en la norma en mención.

Los modelos de madurez de riesgo en general tienen una estructura en la que se tienen una serie de atributos de las prácticas de gestión de riesgo y en la medida que cumpla con las buenas prácticas de gestión de riesgo, se clasifica la empresa en un nivel jerárquico que puede ser de 4 a 5 niveles generalmente.

3.7 Análisis de los riesgos

Toda empresa debe establecer procedimientos, cuyo principal objetivo sea su conservación. Este tipo de actividades ayudan a identificar y a evaluar las posibles amenazas de seguridad que puedan exhibirse dentro de la cadena de suministro, al igual que la toma de medidas de control indispensables para las diferentes escalas de operaciones.

La evaluación de riesgos incluye las amenazas y riesgos de fallo físico, desastres naturales, amenazas y riesgos naturales, amenazas y riesgos de partes afectadas, factores que no se pueda controlar dentro de la empresa, instalación de equipo de seguridad y amenazas al desarrollo de las operaciones [27].

Los riesgos más sobresalientes en el sector productor de ganado se dan primordialmente en temas de *"security"*, dado por el hurto pecuario. Este acto delictivo consiste en el robo del ganado de cualquier tipo: bovino, equino, entre otros, de las fincas. Sus modalidades se listan:

- Atraco: Es cuando el robo surge a través de la intimidación. En este delito puede ocurrir en el secuestro, donde los personajes que se roban el ganado cometen el acto, sus cómplices amordazan y atemorizan a sus víctimas.
- Arreo: Es cuando el capataz deja los semovientes por fuera de los límites de la finca y los delincuentes aprovechan esa situación para espolear uno o varios animales y llevárselos.
- Carneo: Conocido como pelaje, es la retención del ganado para extraer solo carne, luego de su sacrificio.
- Robo masivo: Es el delito cuando los delincuentes se llevan todo el ganado de la finca en un tipo de transporte en el menor tiempo posible [28].

4. Metodología

La siguiente investigación tiene un enfoque cualitativo, el cual se basa en la recolección de información a través de

diferentes medios tales como: medios electrónicos, repositorios virtuales, periódicos, entre otros. Con la herramienta del internet se logró conseguir datos acerca de los procesos logísticos del sector ganadero y la seguridad de la cadena de suministro.

Se consideró a la Asociación Nacional de Ganaderos como la autoridad más relevante, ya que este gremio participa, unifica y representa a alrededor de 7000 ganaderos, que van desde pequeños, medianos y grandes. Un objetivo del gremio es la defensa de los intereses comunes inherentes a sus actividades. Se dividen en 9 capítulos, uno por cada provincia. El Capítulo de Chiriquí, es uno de los capítulos con mayor índice de casos denunciados sobre el hurto pecuario en el país. Por este motivo son la población meta más interesante a estudiar su nivel de madurez de riesgo.

El Capítulo de Chiriquí consta de 96 productores agremiados, los cuales se consideraron como la población a estudiar.

Entre las técnicas utilizadas para la realización de este trabajo podemos mencionar los siguientes: Revisión documental, que ayudó a analizar la situación, el problema y ejecutar posibles soluciones que mitiguen el problema de hurto pecuario. Otra de las técnicas para la debida recolección de datos fue a través de encuestas a los productores ganaderos inscritos y activos en el Capítulo de Chiriquí, al día 28 de febrero de 2019, quienes comentaron su preocupación de la situación planteada en este artículo. Dicha lista se obtuvo por parte de la propia ANAGAN, y posteriormente, se contactó con los productores / ganaderos interesados en participar en el estudio.

Se utilizaron los números telefónicos referenciados en la lista oficial en la ANAGAN, para poder hacer citas de entrevistas con los propios productores / ganaderos inscritos oficialmente en el Capítulo Chiriquí.

Esta población de encuestados la componen productores de todo tipo de escolaridad y nivel social; dado lo mencionado, y para facilidad del entendimiento de las preguntas dadas en el cuestionario, se realizaron las mismas en forma personal por parte del investigador. Con la presencia del investigador se pudo aclarar cualquier duda en la interpretación que se tuviera de cada cuestionamiento.

4.1 Métodos de muestreo

La muestra piloto se tomó por conveniencia siendo evaluados cuatro productores ganaderos. Luego de aplicada la prueba piloto, se detalló que el promedio del nivel de gestión de riesgo resultó en un 95% por lo que se designa un valor $\bar{x}$ = 0.95 y una desviación estándar de 0.318.

Para sacar el tamaño de la muestra se utilizó la siguiente fórmula estadística sobre nivel de confiabilidad.

$$n = \frac{z^2 \times \sigma^2 \times \mathrm{N}}{e^2 \times (N-1) + z^2 \times \sigma^2} \quad (1)$$

En donde:

N = Población

n = Muestra

z = Nivel de confiabilidad

e = Nivel de error aceptado para la estimación de la media muestral

σ = Desviación estándar de la muestra

En el presente proyecto, basados en la prueba piloto, se determina el tamaño de la muestra utilizando los siguientes valores para cada variable:

z = 1.96 (Nivel de confiabilidad de 95%)

N = 96 productores ganaderos inscritos al ANAGAN Capítulo de Chiriquí

e = 0.10

n = 28 ganaderos

4.2 Encuestas

Para la confección del análisis sobre la situación que se encuentra el sector ganadero en la provincia de Chiriquí, se realizó este tipo de encuesta.

4.2.1 Modelo de madurez de riesgos

Este artículo expresa el modelo de madurez de riesgo en el proceso de gestión de riesgo basado en la Norma ISO 31000:2009. En consecuencia, la medición de madurez de riesgo está enfocada en nivel de implementación.

Se utilizó una encuesta como herramienta para medir el nivel de madurez de riesgo (RMM). El instrumento fue diseñado según los parámetros de la Norma ISO 31000:2019, el cual fue desarrollado por el grupo de investigación de Logística y Cadena de Suministro (LOYCS) dirigido por el Dr. Práxedes Torres.

Este instrumento se ha utilizado en tres investigaciones: en una primera investigación que midió El Nivel de Madurez de Riesgo en la Administración de Riesgo de los Aeropuertos del Área Metropolitana de Panamá [29]; el segundo fue aplicado en la investigación de la Medición del Grado de Madurez de la Gestión del Riesgo en las Zonas Económicas Especiales [30] y en esta investigación que también midió el Nivel de Madurez de Riesgo, en el Sector Productor Ganadero [31].

Las empresas que tienen un proceso formalizado de gestión de riesgo para tipos particulares de riesgo, o de situaciones de riesgo, deben tener como práctica la revisión y evaluación de los atributos de una gestión de riesgo optimizada. Basados en la Norma ISO 31000, deben de ser los siguientes atributos: Mejora Continua; Responsabilidad completa de los riesgos; Aplicación de la Gestión del Riesgo en todas las decisiones; Comunicación Continua; e Integración completa en la estructura de gobierno de la organización [32].

La herramienta se simplificó en 14 preguntas abiertas que resumen los puntos de la Norma ISO 31000:2009 y de los atributos mencionados. En la tabla 3 se muestra la encuesta utilizada:

Tabla 3. Encuesta de grado de madurez [31]

N.°	Indicador de éxito	1	2	3	4	5
1	El desempeño de la organización e individual se mide con indicadores tangibles en forma anual.					
2	El desempeño de la organización se publica y comunica.					
3	Para cada año nuevo se revisan los procesos.					
4	La evaluación del desempeño de la gestión de riesgo es parte de la evaluación de desempeño en toda la organización.					
5	El personal tiene conciencia de los riesgos, controles y de las tareas de las que son responsables.					
6	Se encuentran registradas, en algún documento, las responsabilidades individuales en la gestión de riesgos.					
7	La inducción de colaboradores incluye la definición de funciones, rendimiento de cuentas y responsabilidades de la gestión de riesgos.					
8	Los responsables de gestionar riesgos cuentan con los recursos adecuados para su función.					
9	Hay evidencias (e.g. minutas) en la que se discuten los temas de riesgos en las decisiones.					
10	Las decisiones (e.g. inversión) consideran la gestión del riesgo.					
11	Se hacen informes detallados y frecuentes del desempeño de la gestión de riesgo a los interesados (internos y externos).					
12	Se hacen informes detallados y frecuentes de los riesgos y su tratamiento a los interesados (internos y externos).					
13	La probabilidad de que ocurran riesgos es considerada en la toma de decisiones.					
14	En las acciones y declaraciones de la administración se habla de los riesgos y sus efectos.					

Posterior a esto, en la tabla 4 se detallan los atributos correspondientes a las preguntas de la encuesta (indicadores de éxito mencionados en la tabla 3) clasificándolas en: Mejora continua, responsabilidad completa de los riesgos, Aplicación de la gestión del riesgo en todas las decisiones, comunicación continua, integración completa en la estructura de gobierno de la organización.

Tabla 4. Atributos de indicadores de éxito [31]

Atributos	Características	N.°
Mejora continua	Se cuenta con metas de desempeño organizacional	1
		2
	Se realizan mediciones, revisiones y modificaciones de los procesos, los recursos, la capacidad y las habilidades	3
		4
Responsabilidad completa de los riesgos	La responsabilidad de identificar, controlar y tratar los riesgos está definida y aceptada	5
		6
		7
Aplicación de la gestión del riesgo en todas las decisiones	Los responsables de gestionar riesgos cuentan con los recursos adecuados para su función	8
		9
		10
Comunicación continua	Hay comunicación continua entre la organización y las partes interesadas sobre la gestión de riesgo	11
		12
Integración completa en la estructura de gobierno de la organización	Se consideran los riesgos y sus efectos en el alcance de los objetivos de la organización	13
		14

En la tabla 5 se presenta el rango de puntaje a utilizar indicando el grado de madurez junto a su descripción.

Tabla 5. Puntaje para la evaluación del grado de madurez [31]

Grado de Madurez	Rango de Puntaje	Descripción
Bajo (L)	1.00 – 1.92	Existe un conocimiento nulo o mínimo en la organización acerca de la necesidad de administrar los riesgos y no hay procesos puestos en marcha.
Inconsistente (I)	1.93 – 2.92	Existe un conocimiento acerca de la importancia de administrar los riesgos y solo algunas áreas de la organización tienen los procesos puestos en marcha.

Grado de madurez	Rango de puntaje	Descripción
Medianamente consistente (M)	2.93 – 3.92	Existe un conocimiento moderado de la importancia de la administración de riesgos, pero aún existen áreas en las que se debe mejorar.
Consistente (C)	3.93 – 4.92	Existe un claro compromiso organizacional y hay procesos comunes utilizados en toda la organización. Sin embargo, aún existen áreas en las que se debe mejorar.
Totalmente alcanzado (F)	4.93 – 5.00	Existe un claro compromiso organizacional y hay procesos comunes utilizados en toda la organización. Monitorean rutinariamente su desempeño para verificar su efectividad y hacen mejoras si es necesario.

5. Resultados

El nivel alcanzado fue de un nivel de madurez de la administración de riesgos medianamente consistente (2.96).

Se muestra en la tabla 6 el nivel de cumplimiento de madurez por atributo para el sector ganadero con su porcentaje de alcance.

Tabla 6. Nivel de madurez de la gestión de riesgo

Atributo	Puntuación	Porcentaje de alcance
Mejora Continua	2.71	54%
Responsabilidad completa de los riesgos	3.10	62%
Aplicación de la gestión del riesgo en todas las decisiones	2.38	48%
Comunicación continua	2.71	54%
Integración completa en la estructura de gobierno de la organización	3.93	79%
Total general	2.96	59%

En general las características que se tienen en el sector ganadero son:

- Mejora continua: Nivel 2 – Inconsistente

Existe un conocimiento acerca de la importancia de administrar los riesgos y solo algunas áreas de la organización tienen los procesos puestos en marcha.

- Responsabilidad completa de los riesgos: Nivel 3 – Medianamente consistente

Existe un conocimiento moderado de la importancia de la administración de riesgos, pero aún existen áreas que no son tratadas.

- Aplicación de la gestión del riesgo en todas las decisiones: Nivel 2 – Inconsistente

Existe un conocimiento acerca de la importancia de administrar los riesgos y solo algunas áreas de la organización tienen los procesos puestos en marchas.

- Comunicación continua: Nivel 2 - Inconsistente

Al igual que las características mencionadas como la Mejora continua y la aplicación de la gestión del riesgo en todas las decisiones, existe un conocimiento acerca de la importancia de administrar los riesgos y solo algunas áreas de la organización tienen los procesos puestos en marchas.

- Integración completa en la estructura de gobierno de la organización: Nivel 4 – Consistente

Existe un claro compromiso organizacional y hay procesos comunes utilizados en toda la organización. Sin embargo, aún existen áreas en las que se debe mejorar.

En la tabla 7 se presenta los resultados generales para el sector ganadero.

Tabla 7. Resultados generales para el sector ganadero encuestado

Productores ganaderos	Puntuación total	Grado de madurez
1	2.30	Inconsistente
2	3.20	Medianamente consistente
3	3.90	Medianamente consistente
4	3.40	Medianamente consistente
5	2.70	Inconsistente
6	3.60	Medianamente consistente
7	2.40	Inconsistente
8	2.35	Inconsistente
9	2.95	Medianamente consistente
10	2.20	Inconsistente
11	3.00	Medianamente consistente

Productores ganaderos	Puntuación total	Grado de madurez
12	3.95	Medianamente consistente
13	3.45	Medianamente consistente
14	2.60	Inconsistente
15	2.55	Inconsistente
16	2.75	Inconsistente
17	3.05	Medianamente consistente
18	3.30	Medianamente consistente
19	2.75	Inconsistente
20	3.80	Medianamente consistente
21	2.60	Inconsistente
22	3.30	Medianamente consistente
23	2.05	Inconsistente
24	3.15	Medianamente consistente
25	2.60	Inconsistente
26	2.75	Inconsistente
27	4.35	Consistente
28	2.00	Inconsistente
Promedio	2.96	

Dentro de los elementos del sistema de gestión de seguridad de la Norma ISO 31000 se cuenta con la preparación ante emergencias. Esto conlleva a planes y procedimientos para la identificación, respuestas y gestión de los potenciales incidentes a la seguridad y las acciones de emergencias [31].

La mayoría de los productores ganaderos encuestados no cuentan con planes de emergencias (68%), por lo que es fundamental establecer, implementar, mantener planes y procedimientos apropiados para evitar y mitigar los incidentes de seguridad y situaciones de emergencias que pudiesen ocurrir en un momento determinado [31].

6. Conclusiones

- Dado que los productores tienen un nivel de madurez medianamente consistente, deben tener un claro compromiso organizacional y contar con procesos comunes utilizados en toda la organización. Es necesario contar con el monitoreo rutinariamente del desempeño para verificar su efectividad y hacer mejoras si es necesario.
- Se debe realizar planes y procedimientos para la identificación, respuestas y gestión de los potenciales incidentes a la seguridad y las acciones de emergencias, ya que la mayoría de los productores ganaderos no cuentan con planes de emergencias que estipula la norma ISO 31000, por lo que es fundamental establecer, implementar, mantener planes y procedimientos apropiados para evitar y mitigar los incidentes de seguridad y situaciones de emergencias que pudiesen ocurrir en un momento determinado.
- Este sector reconoce que, si no se toman medidas para considerar soluciones o mejoras, y a su vez las comprobaciones periódicas (control y/o auditoría), hay una alta vulnerabilidad de sufrir incidentes que podría conllevar a pérdidas económicas dentro de la empresa.
- El impacto que tiene en la logística el rompimiento de la cadena de suministro al tener problemas primordialmente en temas de *"security"* entre los productores ganaderos genera importantes pérdidas económicas, ya que se interrumpe con la continuidad de los procesos de transformación de la materia prima hasta su consumidor final.

AGRADECIMIENTO

A la Asociación Nacional de Ganaderos de Panamá Capítulo Chiriquí por permitirnos recopilar información, a los productores ganaderos que aceptaron ser entrevistados.

REFERENCIAS

[1] International Dynamic Advisors, «Seguridad para la Cadena de Suministro,» 27 Abril 2016. [En línea]. Available: http://www.intedya.com/internacional/166/consultoria-estandares-nacionales-para-la-gestion-de-la-seguridad-de-la-cadena-de-suministro.html#submenuhome.

[2] Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, «Historia/ Antecedentes,» 4 enero 2019. [En línea]. Available: https://www.unit.org.uy/normalizacion/sistema/28000/.

[3] M. Romero, *CONFERENCIA - ISO 28000 Enfoque de gestión de riesgos para la cadena de suministro*, 2017.

[4] Redacción Digital El Siglo, «Funcionarios de la Autoridad Nacional de Aduanas en paro de 24 horas,» 6 diciembre 2018.

[5] I. Franco, «Paralización en Aduanas podría prorrogarse,» *Mi Diario*, 9 diciembre 2018.

[6] G. León Barría, «Médicos Veterinarios convocan paro de brazos caídos a partir de este lunes,» 09 diciembre 2018.

[7] C. Castillo, «Sector agrícola de Panamá está abocado a la crisis,» *Panamá América*, 30 julio 2018.

[8] Redacción Digital La Estrella, «El MP recibió 651 denuncias por hurto pecuario,» 08 septiembre 2017.

[9] Ministerio Público, «Cinco personas condenadas por hurto pecuario agravado,» 10 enero 2019. [En línea]. Available: http://ministeriopublico.gob.pa/cinco-personas-condenadas-por-hurto-pecuario-agravado/.

[10] Contraloría General de la República de Panamá, «Explotaciones y existencia de ganado vacuno en la República, por clase, según provincia, comarca indígena, distrito y actividad del hato,» Panamá, 2011.

[11] V. M. Nieto Galindo y N. Ramírez, «Cadena productiva de Carnes y Productos Cárnicos. Estructura, Comercio Internacional y Protección,» Colombia, 2018.

[12] LTX Team, «Protecting Your Supply Chain: Security and Risk Management,» 29 julio 2018. [En línea]. Available: http://ltxsolutions.com/protecting-supply-chain-security-risk-management/.

[13] G. P. Salas, «Recursos Naturales e Infraestructura,» Marzo 2013. [En línea]. Available: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6365/LCL3604_es.pdf?sequence=1.

[14] CEPAL, «Seguridad de la cadena logística y su incidencia en la competitividad de Mesoamérica,» Agosto 2011. [En línea]. Available: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36084/1/FAL-300-WEB_es.pdf.

[15] DNV GL, «ISO 28000 - Sistema de gestión de Seguridad para la Cadena de Suministro,» 04 enero 2019. [En línea]. Available: https://www.dnvgl.es/services/iso-28000-sistema-de-gestion-de-seguridad-para-la-cadena-de-suministro-4344.

[16] M. Romero, «Norma ISO 28000,» Bogotá, 2019.

[17] Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, «UNIT-ISO 28000 Gestión de la seguridad para la cadena de suministro,» 4 enero 2019. [En línea]. Available: https://www.unit.org.uy/normalizacion/sistema/28000/.

[18] International Organization for Standardization, «ISO 28000:2007 Specification for security management systems for the supply chain,» 4 enero 2019. [En línea]. Available: https://www.iso.org/standard/44641.html.

[19] F. C. Pauw, «Seguridad en la cadena de suministro,» 22 abril 2019. [En línea]. Available: http://www.seguritecnia.es/seguridad-aplicada/comercio-y-distribucion/seguridad-en-la-cadena-de-suministro.

[20] Icontec Internacional, «ISO 28000 Sistemas de gestión de la seguridad en la cadena de suministro,» 10 abril 2019. [En línea]. Available: http://medios.icontec.org/documentos/Memorias%20Charla%20Virtual%2010%20de%20Abril.pdf.

[21] Á. Olleros, «Diferencias entre Seguridad, Safety y Security,» 13 marzo 2017. [En línea]. Available: https://www.angelolleros.com/diferencias-seguridad-safety-security/.

[22] F. Davara, «Security & Safety; enfoques diferentes de la seguridad,» 2017. [En línea]. Available: http://fernandodavara.com/security-enfoques-diferentes-la-seguridad/.

[23] E. Albrechtsen, «Security vs safety,» Agosto 2003. [En línea]. Available: http://www.iot.ntnu.no/users/albrecht/rapporter/notat%20safety%20v%20security.pdf.

[24] Labour Prevención de Riesgos S.L., «Riesgos y medidas preventivas en ganadería y agricultura,» [En línea]. Available: https://www.insst.es/ganaderia. [Último acceso: 20 agosto 2019].

[25] A. C. Liendo, «Modelos de Madurez,» 2016. [En línea]. Available: https://projectools.wordpress.com/modelos-de-madurez-en-gestion-de-proyectos/.

[26] RIMS RMM Community, «The RIMS Risks Maturity Model,» 4 octubre 2019. [En línea]. Available: https://www.riskmaturitymodel.org/.

[27] K. Aguilar Morán, «Incidencias de la norma ISO 28000 en los procesos logístico de las empresas exportadoras de camarón de la zona 5,» Guayaquil, 2018.

[28] A. Alarcón, «Sistema de monitorización y control de ganado vacuno por medio de tecnología inalámbrica para prevención de abigeato,» Ambato, 2018.

[29] L. A. Cedeño Acevedo y J. B. Ortega Aguilar, «Evaluación del grado de madurez de la administración de riesgos en los aeropuertos del área metropolitana de Panamá,» Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, 2016.

[30] Y. Gil y Y. Espinoza, «Evaluación de la gestión de riesgo en las principales zonas económicas especiales de Panamá,» Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, 2017.

[31] E. R. Saldaña Patiño, «Evaluación de la gestión de seguridad en la cadena de suministro en el sector ganadero de Panamá,» Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, 2019.

[32] I. Casares San José-Martí, «Gestión del riesgo optimizada,» 2014. [En línea]. Available: https://fundacioninade.org/sites/inade.org/files/web_2014_-_gestion_del_riesgo_optimizada.pdf. [Último acceso: 21 agosto 2020].

Diseño e implementación de un generador eléctrico lineal en la suspensión de bicicletas

Design and implementation of a linear electrical generator in bicycle suspension

Jahir Argote [1], Arianne Troudart [1], César Moreno [1], Daniel De Los Ríos [1]*
Arthur James [2]
[1] Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá
[2] Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen El obtener el mayor provecho de la energía en un sistema es un campo prioritario en el mundo de la ingeniería. Identificamos la posibilidad de aprovechar la energía liberada en el sistema de suspensión de medios de transporte terrestre y transformarla en forma de energía eléctrica. En este artículo se presentan resultados experimentales de la generación eléctrica al aprovechar las vibraciones de la suspensión de una bicicleta por medio del uso de un generador eléctrico lineal. Se propone un diseño y prototipo para acoplar el generador eléctrico lineal a bicicletas como un accesorio. Se construye el generador eléctrico lineal y el acople para realizarle pruebas previniendo obtener "efecto fin" en el voltaje generado. Finalmente, se extraen los datos experimentales de generación eléctrica y se encuentran resultados similares a las expectativas planteadas en un análisis teórico. Dichos resultados pueden ser utilizados para identificar posibles aplicaciones.

Palabras clave Bicicleta, efecto fin, generador eléctrico lineal, suspensión.

Abstract Getting the most out of the energy in a system is a priority field in the world of engineering. We identified the possibility of harnessing the energy released in the suspension system of land transport means and transforming it into electrical energy. This article presents experimental results of electrical generation by taking advantage of the vibrations of the suspension of a bicycle through the use of a linear electrical generator. A design and prototype are proposed to couple the linear generator to bicycles as an accessory. The linear generator and the coupling are built to carry our tests, preventing obtaining "end effect" in the generated voltage. Finally, the experimental data on electricity generation are extracted and results similar to the expectations raised in a theoretical analysis are found. These results can be used to identify possible applications.

Keywords Bicycle, end effect, linear generator, suspension.

* Corresponding author: jahir.argote@utp.ac.pa

1. Introducción

La generación de energía eléctrica es uno de los temas de principal interés en la sociedad actual. A través de los años se han diseñado diferentes tipos de generadores eléctricos para diferentes escalas, dependiendo la aplicación.

Una problemática a la que se enfrenta la sociedad es la contaminación ambiental, debido a generación eléctrica con combustibles fósiles y su generación de CO_2 [1]. Por lo cual las recientes investigaciones están dirigidas a aprovechar cualquier mínima cantidad de energía útil de manera "limpia" (i.e. sin la utilización de combustibles) con tal de evitar emisiones.

En la actualidad existen diseños de generadores eléctricos lineales para aprovechar el movimiento oscilatorio de las olas del mar como una fuente de energía renovable [2].

Se ha encontrado que en estos generadores ocurre un fenómeno llamado "efecto fin" en el cual la forma del voltaje inducido en el embobinado presenta una distorsión causada por cambios de velocidad en los bordes de este [3]. Nuevas investigaciones están enfocadas en el diseño geométrico del generador para evitar este fenómeno.

El objetivo de este artículo es presentar un estudio de la colocación de un generador eléctrico lineal en bicicletas montañeras, las cuales suelen ser utilizados en terrenos irregulares en donde la generación de energía sería más

https://doi.org/10.33412/rev-ric.v6.2.2893

significativa. Además, se busca determinar el voltaje y corriente que se puede generar en función de la velocidad del ciclista y las irregularidades del terreno. Para ello, se diseña un generador eléctrico lineal y un accesorio para acoplarlo a la suspensión, tomando en cuenta que debe ser de fácil instalación y no dificultar el movimiento natural de la suspensión en cuestión. La data obtenida se muestra y compara con el análisis teórico para identificar posibles aplicaciones.

2. Marco teórico

Gracias a los experimentos realizados por Michael Faraday [4], hoy conocemos que un campo magnético que varía con el tiempo es capaz de inducir un voltaje en un circuito cerrado, el cual se puede representar mediante la ecuación (1):

$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt} = -N\frac{dB(t)A}{dt} = -NA\frac{dB(t)}{dt} \qquad (1)$$

En donde,
ε: voltaje inducido (fuerza electromotriz).
N: número de vueltas en la bobina.
φ: flujo magnético.
$\frac{d\varphi}{dt}$: razón de cambio de flujo magnético.
A: área encerrada por la bobina.
B_t: densidad de flujo magnético.

Esta densidad de flujo magnético B_t , depende de las características de la fuente de campo magnético (imanes permanentes para nuestro caso) [5], como podemos ver en la ecuación (2):

$$B = \frac{B_r}{\pi}\left[\tan^{-1}\left(\frac{LW}{2z\sqrt{4z^2+L^2+W^2}}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{LW}{2(D+z)\sqrt{4(D+z)^2+L^2+W^2}}\right)\right] \qquad (2)$$

En donde,
B_t: campo de remanencia, independiente de la geometría de los imanes.
z: distancia desde una cara polar de los imanes en el eje de simetría variable.
L: longitud del imán.
W: ancho del imán.
D: espesor del imán.

La distancia desde una cara polar de los imanes en el eje de simetría variable "z", se refiere al movimiento de los imanes dentro del circuito cerrado (bobina), el cual depende del tiempo. Esto se aprecia en la figura 1.

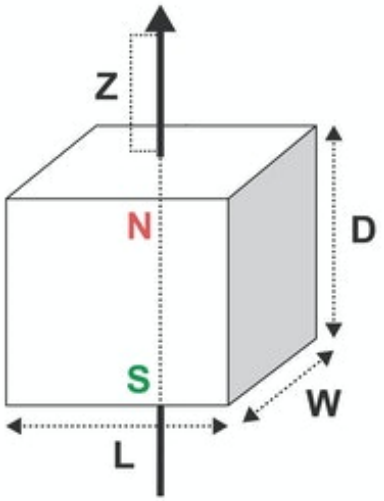


Figura 1. Geometría de la fuente de campo magnético [5].

El movimiento de los imanes dentro de la bobina es exactamente igual al movimiento que describe la suspensión de la bicicleta, ya que ambos se encuentran acoplados. Dicha suspensión está conformada por un resorte y un amortiguador; su movimiento puede ser modelado como una vibración libre con amortiguamiento viscoso [6].

Para el caso de una bicicleta, se considera que la respuesta de dicha suspensión ante una perturbación es del tipo subamortiguada [7], representada en la ecuación (3).

$$x(t) = Xe^{-\xi w_n t}\sin\left(\sqrt{1-\xi^2}w_n t + \varphi_0\right) \qquad (3)$$

Siendo,

$$X = \sqrt{{x_0}^2 + \left(\frac{\dot{x}_0 + \xi w_n x_o}{w_n\sqrt{1-\xi^2}}\right)^2} \qquad (4)$$

$$\varphi_0 = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}w_n x_0}{\dot{x}_0 + \xi w_n x_o}\right) \qquad (5)$$

$$\xi = \frac{c_{equivalente}}{2mw_n} \qquad (6)$$

$$w_n = \sqrt{\frac{k_{equivalente}}{m}} \qquad (7)$$

En donde,
$x(t)$: desplazamiento de la suspensión (de los imanes dentro de la bobina).
x_0: desplazamiento inicial de la suspensión.
$\dot{x}_0$: velocidad inicial de la suspensión.
ξ: factor de amortiguamiento.
m: masa que recae sobre la suspensión (masa ciclista).
$k_{equivalente}$: constante de rigidez de los resortes en paralelo (configuración de la suspensión delantera de la bicicleta).

$c_{equivalente}$: coeficiente de amortiguación de los amortiguadores en paralelo (configuración de la suspensión delantera de la bicicleta).
ω_n: frecuencia natural.

La velocidad a la que se mueve la suspensión en una bicicleta puede ser considerada como la componente vertical de la velocidad a la que se mueve dicho vehículo al momento del salto. Esta velocidad puede ser determinada mediante la aplicación de la segunda ley de Newton [8], representada en la ecuación (8).

$$\sum \mathrm{F} = \mathrm{m}\frac{\mathrm{dv_{ciclista}}}{\mathrm{dt}} \quad (8)$$

En donde,
ΣF: suma de los pesos de la bicicleta y el ciclista.
m: masa combinada de la bicicleta y el ciclista.
$\frac{\mathrm{dv_{ciclista}}}{\mathrm{dt}}$: cambio en la velocidad del sistema (bicicleta + ciclista).

La teoría nos señala que el tiempo de descarga de un capacitor está determinado por la ecuación (9) [8]:

$$\tau = 5\mathrm{RC} \quad (9)$$

En donde,
R: resistencia equivalente del circuito.
C: capacitancia del capacitor.

3. Materiales y métodos

3.1 Materiales

A continuación, se presentan los materiales necesarios para la construcción del generador eléctrico lineal, el diseño del acople, así como las especificaciones de la bicicleta utilizada.

3.1.1 Características de los imanes permanentes

Se presentan las características importantes de los imanes para el desarrollo del generador.

- Composición: imán de grado N45; compuesto por neodimio, hierro y boro; con un recubrimiento de níquel y cobre [9].
- Campo de remanencia: 13500 Gauss (1.35 T).
- Dimensiones: 3/4” x 3/8” x 1/4” (1.9 mm x 9.5 mm x 6.4 mm).
- Cantidad de imanes utilizados en conjunto: 10 (idénticos).

Además, se necesitó del uso de un transductor de campo magnético (*TMAG v.2*) para la medición del campo generado por dichos imanes.

3.1.2 Características de la bobina

Los parámetros dimensionales de la bobina, luego de su construcción como se aprecia en la figura 2, se presentan como sigue.

- Longitud (L): 90 mm.
- Diámetro:
  - Interno (Di): 33.5 mm.
  - Externo (De): 53.5 mm.
- Número de espiras: 2000.
- Impedancia: 30 Ω.

Figura 2. Bobina construida para el generador eléctrico lineal.

3.1.3 Características de la bicicleta

Para el análisis teórico es necesario conocer ciertos parámetros de la bicicleta como los siguientes.

- Marca y modelo: Specialized – *Myka Disc* 26.
- Masa: 37.4 lb (16.96 kg).
- Suspensión:
  - Máximo recorrido de la suspensión: 10.5 cm.
  - Constante de resorte individual (k): 6740 N/m. ($k_{equivalente}$ = 13480 N/m).
  - Constante de amortiguamiento individual (c): 581 Ns/m. ($c_{equivalente}$ = 1162 Ns/m).

Se aclara que la suspensión solo se encuentra en la parte delantera de la bicicleta.

3.1.4 Diseño del acople

Con el objetivo de realizar un análisis experimental, siendo la hipótesis la generación de voltaje debido al movimiento de la suspensión de la bicicleta, primero se observa la bicicleta para determinar un punto de instalación que no incomode al usuario y que no afecte las funcionalidades previas del vehículo. Se identificó la ubicación y se tomaron medidas.

Las piezas se diseñaron en el programa *Inventor Professional 2017* y se imprimieron en una impresora 3D

("*MakerBot Replicator 2*", USA). En la figura 3 se muestra el diseño de un soporte superior, soporte inferior para la bobina y un soporte para los imanes con las dimensiones apropiadas para que, al moverse la suspensión, se induzca un voltaje en las terminales del embobinado. Su acople a la bicicleta se muestra en la figura 4.

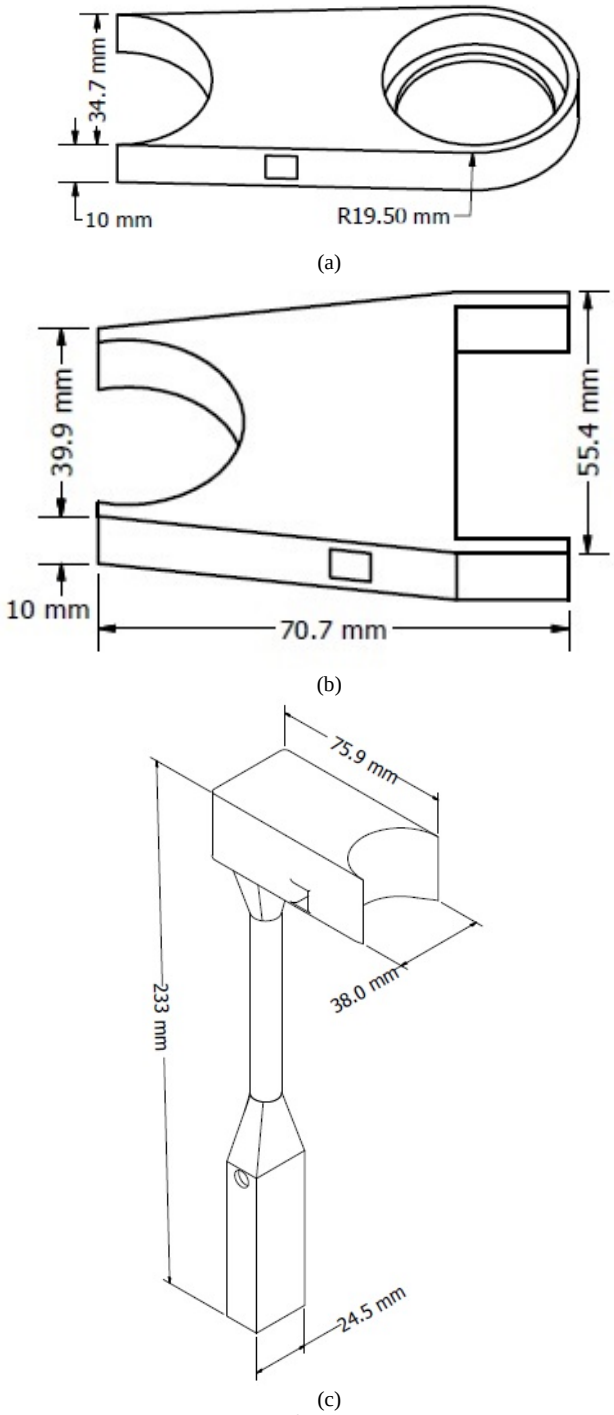


Figura 3. Soporte superior (a) e inferior (b) de la bobina y soporte de los imanes (c).

Figura 4. Acople del sistema a la bicicleta.

3.2 Métodos

Se realizó una investigación evaluativa y experimental para identificar la potencia generada con un generador eléctrico lineal. Se evaluó teóricamente el sistema y luego se comparó con los resultados obtenidos experimentalmente.

Para determinar el voltaje inducido de manera teórica, se realizaron los cálculos en el orden mostrado en la figura 5.

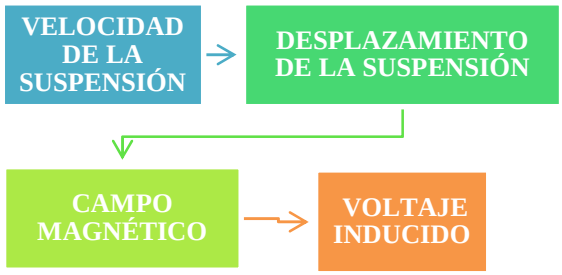


Figura 5. Metodología para cálculo teórico.

Para determinar la longitud de la bobina y del arreglo de imanes permanentes, además de las limitaciones del espacio disponible, se tomó en cuenta que se debe evitar que los imanes salgan de la bobina durante su recorrido normal para evitar el efecto fin ya que, al deformar la onda de voltaje, disminuye la eficiencia del generador [3].

3.2.1 Casos de estudio realizados

Para comprobar la funcionalidad del sistema de generación de electricidad mediante el movimiento de una suspensión, se realizaron dos casos de estudio: el primero desde un laboratorio de la Universidad Tecnológica de Panamá y el segundo desde un resalto típico de la Avenida B de dicha universidad (ver

figura 6a), en el cual se iniciaba desde un punto fijo metros arribas del resalto y tratando de mantener iguales condiciones entre una prueba y otra. Se utilizó un ciclista fijo para dichas pruebas (ver figura 6b), cuyo dato de masa se presenta en la tabla 1.

Estos casos de estudio cuentan con un enfoque teórico (o ideal) y otro práctico (o real), de manera que se validaran las fórmulas utilizadas con lo obtenido en las pruebas experimentales.

(a)

(b)

Figura 6. Pruebas de campo en la Universidad Tecnológica de Panamá (a) y ciclista utilizado para el caso de estudio #2 (b).

Caso de estudio #1: se utilizó un desplazamiento controlado para los imanes dentro de la bobina.

- Análisis teórico: se eligió una expresión para dicho desplazamiento y con ella se obtuvo la expresión de voltaje inducido.
- Análisis práctico: se desplazaron los imanes de manera constante dentro de la bobina y se obtuvo la gráfica de voltaje inducido y la corriente generada.

Caso de estudio #2: se realizaron pruebas con un ciclista en un resalto de una carretera.

- Análisis teórico: con ciertos datos del terreno, en donde se realizaron las pruebas, se obtuvo la expresión para el desplazamiento de la suspensión y con ella la expresión para el voltaje inducido.
- Análisis práctico: de dichas pruebas se obtuvo la gráfica del voltaje inducido mediante la utilización de un circuito para obtención de datos. El máximo recorrido de la suspensión se obtuvo utilizando un imán como indicador en la parte inferior. Al moverse la suspensión al pasar por el resalto, el imán recorre esa misma distancia y se mide dicha distancia. Este método se ilustra en la figura 7.

(a)

(b)

Figura 7. Imán indicador en (a) la posición inicial y (b) la posición final.

3.2.2 Diseño de circuito para obtención de datos

Para obtener los datos de los casos de estudio se utilizó un microcontrolador (*Arduino Uno R3*, Arduino) con una placa registradora de datos (*Data logger shield*, Arduino) conectado a un circuito rectificador (puente de diodos, inductor y capacitor) y un arreglo de resistencias que permite realizar mediciones de hasta 15 V utilizando un divisor de voltaje, anticipado por un capacitor de $4700\mu F$, como se aprecia en la figura 8. Para los análisis, se miden los valores de voltaje, tanto

en las resistencias, como en el capacitor y se calculan las de corriente.

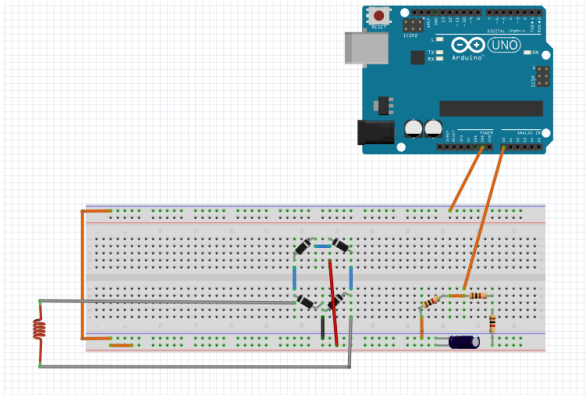


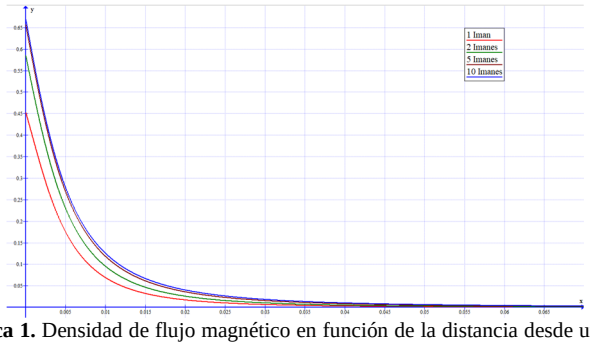
Figura 8. Circuito de voltaje inducido rectificado proveniente de la bobina.

4 Discusión y resultados

4.1 Estudio sobre los imanes permanentes

Con la finalidad de determinar la cantidad de imanes que maximizaran la generación eléctrica según las dimensiones de nuestra bobina y el espacio con el cual se cuenta en la bicicleta, se procedió a determinar el campo magnético de los imanes utilizados en las pruebas con el transductor de campo magnético. De esta medición se obtuvo, en primera instancia, que a partir de cinco imanes no se presenta gran variación en dicho campo magnético al seguir aumentando la cantidad de imanes.

Por otra parte, en la gráfica 1 se presenta la densidad de flujo magnético en función de la distancia de los imanes a la bobina (ecuación (2)), para distintas cantidades de imanes. En ella se observa que hay una diferencia significativa en la densidad de flujo magnético generado por uno, dos y cinco imanes. Sin embargo, la densidad de flujo magnético generada por diez imanes no difiere de manera considerable a la generada por cinco imanes, por lo que se comprueba lo obtenido en las mediciones y se decide no utilizar una cantidad mayor de imanes, puesto que el costo que representa no sustenta los resultados obtenidos.



Gráfica 1. Densidad de flujo magnético en función de la distancia desde una cara polar de los imanes en el eje de simetría variable (B_t *vs* z).

4.2 Análisis teórico de la generación

4.2.1 Caso de estudio #1: Velocidad controlada en laboratorio

Se eligió un movimiento oscilatorio de forma arbitraría para los imanes descrito por la ecuación (10).

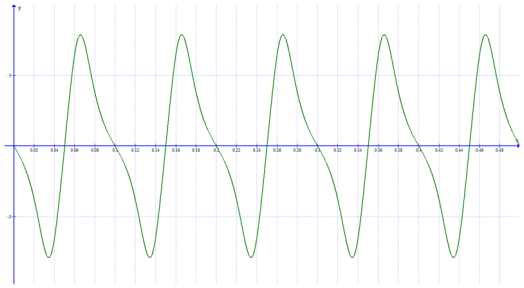
$$z = 0.005 + 0.005\cos(62.8t) \tag{10}$$

Que al reemplazarlo junto con las dimensiones de los imanes en la ecuación (2) da como resultado la ecuación (11).

$$B = \frac{1.35}{\pi}\left[\tan^{-1}\left(\frac{0.0019*0.0095}{2(z)\sqrt{4(z)^2+0.000451}}\right)\right] - \tan^{-1}\left(\frac{0.0019*0.0095}{2(0.64+z)\sqrt{4(0.64+z)^2+0.000451}}\right) \tag{11}$$

Partiendo de la ecuación (1) y de las características de la bobina y los imanes descritas en los materiales, obtenemos el voltaje inducido en la gráfica 2, cuya expresión se muestra en la ecuación (12).

$$\varepsilon = -2000 * 0.000181 * \frac{dB(t)}{dt} \tag{12}$$



Gráfica 2. Voltaje inducido en la bobina por el movimiento de los imanes ante un desplazamiento descrito por z.

4.3 Caso de estudio #2: Resalto en una carretera

Se realizaron pruebas y mediciones de un ciclista al pasar por un resalto, para así determinar los datos necesarios de dicho resalto y ciclista presentados en la tabla 1.

Tabla 1. Datos de la prueba en el resalto de una carretera

Característica	Valor
Ángulo de inclinación del resalto (θ)	19.13º
Longitud del resalto	0.15 m
Velocidad inicial del ciclista (v_0)	4.35 m/s
Masa del ciclista	59.87 kg
Gravedad (g)	9.81 m/s²
Desplazamiento de la suspensión al pasar por el resalto	3.1 cm

Partiendo de la segunda Ley de Newton mostrada en la ecuación (8) y despreciando la resistencia del aire y la fricción con el suelo (por simplificación de los cálculos), se tiene la ecuación (13) y se resuelve para obtener las ecuaciones (14), (15), (16) y (17).

$$-mg\sin\theta = m\frac{dv_{ciclista}}{dt} \quad (13)$$

$$dv_{ciclista} = -g\sin\theta\, dt \quad (14)$$

$$v_{ciclista} = -g\sin(\theta)\, t + v_0 \quad (15)$$

$$x_{ciclista} = -\frac{g}{2}\sin(\theta)\, t^2 + v_0 t \quad (16)$$

$$v_{suspensión} = v_{ciclista}\sin(\theta) \quad (17)$$

En donde,

$v_{ciclista}$: velocidad lineal del ciclista durante el resalto.

$x_{ciclista}$: posición del ciclista dentro del resalto.

$v_{suspensión} = \dot{x}_0$: velocidad inicial de la suspensión.

θ: inclinación del resalto.

v_o: velocidad inicial (justo antes de iniciar el resalto).

t: tiempo entre el primer y último contacto de las ruedas de la bicicleta con el resalto.

Utilizando las expresiones de las ecuaciones (13) y (17) y los datos de la tabla 1, obtenemos los valores presentados en la tabla 2.

Tabla 2. Datos obtenidos del análisis de la segunda Ley de Newton

Característica	Valor
t en $x_{ciclista} = 0.15m$	0.035 s
$v_{ciclista}$	4.24 m/s
$v_{suspensión} = \dot{x}_0$	1.39 m/s

Para nuestro caso, la masa que recae en las dos partes de la suspensión delantera de la bicicleta es del 40% de la masa total (bicicleta + ciclista) [7], es decir, $m = 0.4m_{total}$

Adicionalmente, al considerar que el desplazamiento de la suspensión al inicio del resalto (perturbación) es cero ($x_0=0$), las características de la suspensión antes descritas ($k_{equivalente}$ y $c_{equivalente}$) y utilizar las ecuaciones (3) y (7), obtenemos los datos de la tabla 3 y la gráfica 3.

Tabla 3. Datos obtenidos del análisis de vibraciones

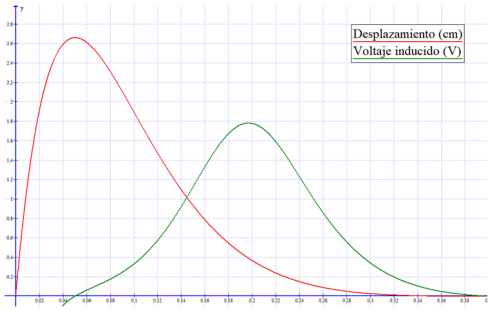
Característica	Valor o representación
ω_n	20.94 rad/s
ξ	0.9
X	0.152
x(t)	$0.152e^{-18.46t}sen(9.12t)$

Debido a que x(t) = z, conociendo las dimensiones de los imanes y la expresión de la densidad de campo magnético descrita en la ecuación (2) se obtiene la ecuación (18).

$$B = \frac{1.35}{\pi}\left[\tan^{-1}\left(\frac{0.0019*0.0095}{2(x(t))\sqrt{4(x(t))^2+0.000451}}\right)\right] - \tan^{-1}\left(\frac{0.0019*0.0095}{2(0.64+x(t))\sqrt{4(0.64+x(t))^2+0.000451}}\right) \quad (18)$$

Entonces, partiendo de la ecuación (1) y conociendo las características de los imanes y la bobina se grafica el voltaje inducido se puede apreciar en la gráfica 2 y se obtiene la expresión del voltaje inducido mostrado en la ecuación (19).

$$\varepsilon = -2000 * 0.000181 * \frac{dB(t)}{dt} \quad (19)$$



Gráfica 3. Desplazamiento de la suspensión (cm vs t) y voltaje inducido en la bobina (V vs t) provocado por el paso de la bicicleta sobre el resalto.

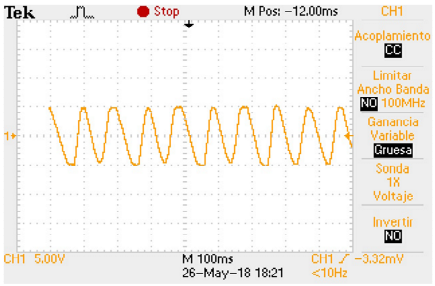
Al comparar el máximo desplazamiento de la suspensión obtenido en la gráfica 3 (2.4 cm) con el medido en las pruebas y presentado en la tabla 1 (3.1 cm), se presenta una diferencia de 7 mm.

4.4 Análisis práctico de la generación

4.5 Caso de estudio #1: Velocidad controlada en laboratorio

Para determinar el voltaje inducido, movimos los imanes dentro de la bobina con un recorrido entre ida y vuelta de 6 cm, a una velocidad constante de 0.67 m/s.

Se obtuvo del osciloscopio la gráfica 4 (5 V_{ca} pico) y del amperímetro una corriente en CC (corriente continua) de aproximadamente 6.7 mA, al conectarle un led como carga; es decir, se obtuvo una potencia de 33.5 mW.



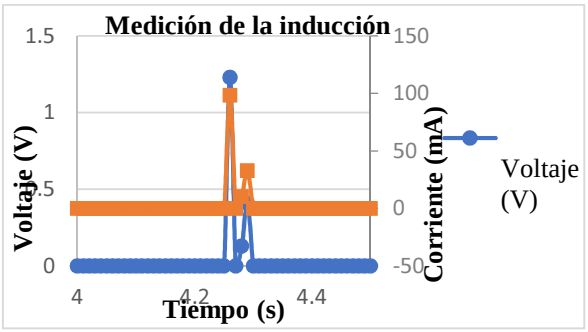
Gráfica 4. Voltaje inducido en la bobina ante el movimiento de los imanes a una velocidad constante, obtenido del osciloscopio.

Al comparar este resultado con el obtenido de manera teórica en el caso de estudio #1, vemos que el voltaje pico es de igual valor (5 V_{ca}), con lo que comprobamos las ecuaciones utilizadas ante una velocidad controlada.

4.6 Caso de estudio #2: Resalto en una carretera

La gráfica 5 se obtuvo mediante el circuito descrito en la figura 8, en la misma se observa el voltaje y la corriente inducida en una carga de 30 Ω. El primer pico (de voltaje y corriente) que se obtiene en esta gráfica es producto del movimiento de la suspensión en estudio ante el paso de la llanta delantera de la bicicleta por el resalto, mientras que el segundo pico es producto del paso de la llanta trasera en el cual se da una menor inducción de voltaje y corriente puesto que el movimiento de la suspensión es menor.

Dicho voltaje representa el voltaje rectificado del inducido en la bobina. El voltaje máximo de este valor rectificado es igual al voltaje máximo inducido en la bobina menos la caída de voltaje en los diodos (1.4 V); es decir, el voltaje máximo inducido en la bobina es 2.63 V (1.23 V según la gráfica 5 más 1.4 V por la caída en los diodos).



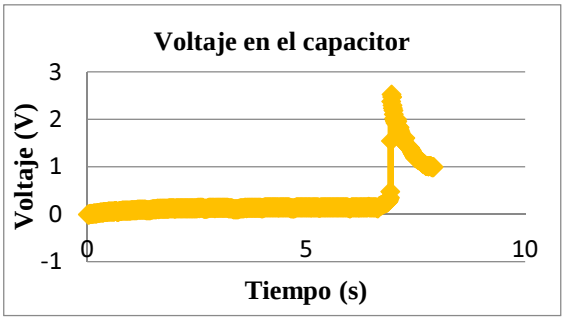
Gráfica 5. Datos de voltaje y la corriente en una carga de 30 Ω, producto del voltaje inducido en la bobina.

Al comparar este resultado con el obtenido de manera teórica en el caso de estudio #2 se observa que el voltaje pico inducido en la bobina difiere por aproximadamente 0.8 V (2.63 V obtenido en la prueba contra 1.8 V obtenido en la gráfica 2).

En este caso se cuenta con una potencia de 482.16 mW (debido al pico de corriente de 98.4 mA ante el voltaje de 1.23 V en la carga de 30 Ω), la cual es mayor a la obtenida en el caso de estudio #1. Esto es debido a que la carga conectada tiene la misma impedancia que la bobina; es decir, esta es la potencia máxima que puede ser transferida

En otra ocasión se realizó la prueba de la generación eléctrica midiendo el voltaje en el capacitor de 4700μF, de la cual se obtuvo la gráfica 6. En la misma se puede apreciar la ventaja de utilizar el capacitor para el almacenamiento temporal de la energía. Gracias a su tiempo de descarga se hace útil el pico de voltaje generado por el paso de la bicicleta por el resalto; es decir, dicha energía se puede utilizar en un tiempo más prolongado y no disiparse inmediatamente, lo suficiente como para mantener encendido uno o varios ledes.

Si reemplazamos los valores (30 Ω y 4700μF) correspondientes a la resistencia y capacitancia en la ecuación (9), obtenemos un valor de $\tau = 0.71$s. El mismo coincide aproximadamente con la descarga que se puede apreciar en la gráfica 6.



Gráfica 6: Voltaje inducido en la bobina medido desde un capacitor de μF.

Lo ideal sería que se utilice un mejor dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica, similar al utilizado para almacenar la energía generada por los paneles solares, el cual soporte la variación de dicha generación (en este caso los picos de voltaje que varían con la irregularidad del terreno por el cual transite el vehículo) y permita utilizar la energía para alimentar equipos más grandes (como celulares, computadoras y baterías de automóviles). Adicionalmente, que sea de un tamaño y peso reducido, para que no incomode a los conductores o afecte la eficiencia del vehículo.

Debido a las exigencias de este dispositivo, nuestro trabajo abarca hasta la utilización de un capacitor.

Cabe señalar que en la gráfica 6 se obtuvo un voltaje relativamente mayor al obtenido en la gráfica 5. Esto pudo deberse a pequeñas alteraciones en la velocidad de la bicicleta y otros factores ambientales, ya que estas pruebas no fueron realizadas en condiciones aisladas dentro de un laboratorio.

5. Conclusiones

Se logró construir, tanto el generador eléctrico lineal como su acople a la bicicleta, de manera satisfactoria para realizar pruebas en la carretera. Fue posible registrar datos de cada prueba con los diseños de circuitos sugeridos.

Al comparar las pruebas realizadas con los cálculos teóricos se observa que en el caso de estudio realizado en

laboratorio los resultados son más próximos entre sí. Esto es debido a que en el laboratorio se tiene un mayor control sobre las variables y menos factores que influyan en dichos resultados.

Por otra parte, la diferencia de 7 mm en el desplazamiento de la suspensión entre el análisis teórico y el análisis práctico puede deberse a que la masa resentida en la suspensión sea realmente mayor al 40% de la masa total. Otra razón puede ser que por factores del terreno y el ambiente no considerados, la velocidad del ciclista haya sido mayor a la calculada. Estas variaciones darían un valor mayor en el desplazamiento, según las relaciones de las ecuaciones (3) y (7). Un aumento en el desplazamiento y/o velocidad de la suspensión ocasionaría un mayor voltaje inducido, por lo tanto, estas mismas razones pueden ser la causa de la diferencia de 0.8 V entre el voltaje inducido en la práctica y el calculado.

El sistema propuesto en este trabajo es de fácil instalación. Se puede aplicar a cualquier tipo de vehículo que tenga suspensión o un movimiento similar al de esta, con un cambio apropiado en las dimensiones. Al ser desmontable, permite hacer cambios en las piezas que así lo requieran.

La generación se puede aprovechar aún más con el diseño de una bobina con mayor número de espiras.

La relación entre el análisis teórico y experimental nos da una idea aproximada de lo que podemos generar ante saltos o resaltos en un recorrido en bicicleta de montaña (en el orden de 1 V), siendo resultados satisfactorios.

Para un futuro proyecto, se debe utilizar un circuito que permita almacenar la energía eléctrica en caso de que no se tenga una aplicación para esta al momento de generarla. Además, se recomienda instalar dos bobinas, una en cada lado de la suspensión, para así tener el doble de la energía generada y que la bicicleta se mantenga balanceada.

Los resultados obtenidos en este estudio pueden ser utilizados para identificar posibles aplicaciones para el sistema propuesto.

AGRADECIMIENTOS

La cooperación del profesor Abel Bermúdez (coordinador del departamento de física) por facilitarnos el área de laboratorios para realizar nuestras experiencias.

En nuestras inquietudes técnicas en cuanto a la construcción de nuestro generador acudimos al Dr. Edilberto Hall y al Dr. Dorindo Cárdenas que nos dieron una idea más clara de los fenómenos magnéticos a considerar en el diseño.

Las impresiones 3D de las piezas de nuestro acople fueron gracias a la ayuda de nuestro compañero Octavio Echeverría que nos facilitó su impresora y material.

A nuestro compañero Johan Deruwe por la bicicleta utilizada.

Los imanes de neodimio facilitados por nuestro compañero Jean Carlos Olmos.

El uso del equipo "*TMAG v.2*" al Dr. Evgeni Cruz.

REFERENCIAS

[1] JT, Baker; LH JR, Allen. Effects of CO2 and temperature on rice. Journal of Agricultural Meteorology, 1993, vol. 48, no 5, p. 575-582.

[2] Kim, M. Koo, J. Jeong, K. Hong, I. Cho and J. Choi, "Design and analysis of tubular permanent magnet linear generator for small-scale wave energy converter", *AIP Advances*, vol. 7, no.5, p. 056630, 2017.

[3] A. T. Hernández, M. P. Silva, N. M. Escamilla and L. H. González, "Impacto de la Geometría en el Efecto Fin de Generadores Lineales", *Información tecnológica*, vol. 27, no. 4, pp. 133-138, 2016.

[4] M. N. Sadiku, *Elementos de electromagnetismo*. 3ra Edición. México: Oxford, Mar. 2011.

[5] Formula for block magnet flux density, Supermagnete, Gottmadingen, Germany.

[6] S. S. Rao, *Vibraciones Mecánicas*, 5ta Edición, México: Pearson, 2012.

[7] D. E. Fernández, "Modelado y simulación dinámica de bicicletas de montaña", Trabajo Fin de carrera, Universidad de Almería, Almería, España, 2012.

[8] F. W. Sears and M. W. Zemansky, *Física Universitaria: Volumen 1*. 13va Edición. México: Pearson, 2013.

[9] Neodymium Iron Boron Magnets, Eclipse Magnetics Ltd., Sheffield, England.

Diseño conceptual de muelle marginal con sistema automatizado de ventosas para el atraque y desatraque de embarcaciones

Conceptual design of marginal wharf with automated suction cup system for docking and undocking of vessels

Ruby Vallarino [1], George Mejía [1], Francisco Grajales [2]*
[1] Licenciatura en Ingeniería Marítima Portuaria – Campus Dr. Víctor Levi Sasso – Universidad Tecnológica de Panamá
[2] Departamento de Geociencias Aplicadas y Transporte – Campus Dr. Víctor Levi Sasso – Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen A lo largo del tiempo, las terminales portuarias han modernizado sus equipos para funciones logísticas, logrando optimizar sus operaciones. Sin embargo, los sistemas de amarre para embarcaciones siguen sin experimentar grandes cambios. Estos sistemas convencionales representan un gran riesgo para la integridad del personal que realiza estos procedimientos, ya que, a pesar de utilizar una técnica tradicional, la ejecución es insegura y muy prolongada, debido a las maniobras buque-muelle que se deben efectuar para una operación eficiente. Recientemente se han desarrollado sistemas de amarre automatizados para simplificar el tiempo de ejecución de este proceso. No obstante, se han encontrado limitaciones en su uso, por lo que se plantea el diseño de un equipo que no presente semejantes restricciones. El concepto presentado de sistema automatizado de ventosas para un muelle tipo marginal permitiría una mayor libertad de movimiento, mejorando así la eficacia de este procedimiento, reduciendo el tiempo de una embarcación en muelle y el riesgo de pérdida de vidas humanas.

Palabras clave Atraque, automatización, eficiencia, puertos, seguridad, tecnología, velocidad.

Abstract Over time, port terminals have modernized their equipment for logistics functions, optimizing their operations. However, mooring systems for ships still do not undergo major changes. These conventional systems represent a great risk to the integrity of the personnel performing these procedures, since, despite using a traditional technique, the execution is insecure and very long, due to the ship-dock maneuvers that must be performed for an efficient operation. Automated mooring systems have recently been developed to simplify the execution time of this process. However, limitations have been found in its use, which is why the design of an equipment that does not present such restrictions is proposed. The presented concept of an automated suction cup system for a marginal type dock would allow greater freedom of movement, thus improving the efficiency of this procedure, reducing the time spent by a boat on the dock and reducing the risk of loss of human life.

Keywords Docking, automation, efficiency, ports, security, technology, speed.

* Corresponding author: francisco.grajales@utp.ac.pa

1. Introducción

A través de los años, la tecnología en torno a los puertos y buques ha ido evolucionando. Sin embargo, el sistema de amarre utilizado en el proceso de atraque y desatraque sigue siendo el tradicional a base de norays y cables para amarre. La continuidad de este método ha traído consigo un sinnúmero de accidentes ocurridos durante las operaciones.

La mayoría de los accidentes relacionados con los equipos de amarre, ocurridos en los últimos veinte años, han finalizado con pérdidas de gran valor, tanto materiales como humanas. Muchos de los accidentes han ocurrido durante el manejo de cabos y cables, donde a veces los cabos se han roto (53%) o se han salido de las bitas (42%), provocando golpes, atrapamientos y sacudidas. Sólo un 5% de los accidentes se ha producido por fallos de los equipos de amarre [1].

Con esto como base a una problemática que puede suscitarse en cualquier momento por un error humano, se hace necesaria la automatización de los procesos de amarre de un buque, por medio de sistemas que agilicen el proceso de forma eficaz y segura.

El sistema propuesto consiste en ventosas, las cuales crean un vacío y se adhieren a la superficie metálica del buque, restringiendo así el movimiento de este, logrando una mayor facilidad en los procesos de carga y descarga de mercancías.

Cada ventosa deberá tener una capacidad de 20 toneladas, aunque, según el tamaño del buque, se pudieran crear unidades de 40 y 80 toneladas uniendo diferentes ventosas [2].

Este sistema por ventosas, además de estar posicionado a lo largo del muelle ya sea marginal o espigonal, estará ubicado paralelamente al muelle sobre un duque de alba, el cual proporcionará un mejor posicionamiento del buque. De esta forma, a diferencia del sistema del muelle, éste contará con un brazo hidráulico para mayores movimientos en los ejes vertical como horizontal, teniendo en este último un movimiento libre de hasta 30 grados.

La automatización por medio de ventosas genera un amarre del buque más eficiente y con mejor respuesta ante cualquier emergencia, ahorrando tiempo y proporcionando lo principal que es la seguridad.

2. Antecedentes

Desde su aparición hasta la actualidad, los sistemas de amarre para el atraque de embarcaciones no han evolucionado mucho, ya que en el inicio las embarcaciones eran ligeras y de tamaño pequeño, las cuales para ser atracadas utilizaban rocas de gran tamaño las cuales actuaban como norays primitivos [3].

Los norays han sido el sistema de amarre tradicional desde la edad media hasta hace unos pocos años. Desde 1999 se han estado desarrollando sistemas de amarre automatizados, los primeros utilizados para el trasiego de combustible o traspaso de mercancías de forma barco a barco, hasta irse adaptando para implementarse a los muelles de los puertos.

El sistema automatizado de amarre por ventosas anteriormente tenía restringido gran parte de su movimiento, sin embargo, en la actualidad ha sufrido modificaciones que permite un mayor aprovechamiento de su función [4].

El modelo, de cara al muelle, tiene la gran ventaja del almacenamiento compacto (retráctil) cuando no esté en uso. Esto permite al sistema permanecer detrás de la línea de defensa para resguardarse del impacto durante el atraque [5].

A medida que el comercio marítimo se incrementa, los sistemas deben adaptarse a la gran demanda de buques en cuanto a tamaño y tonelaje.

3. Marco teórico

El sistema automatizado propuesto depende de una serie de factores, tanto a lo largo del muelle como es el caso de las defensas, así también como es el caso de los duques de alba que sostienen el sistema de amarre adicional, ambos trabajando en conjunto con una buena condición estructural y mecánica, deben proveer un proceso eficaz al momento del amarre del buque.

3.1 Sistema por vacío

Consiste en unas ventosas que crean vacío para adherirse a planchas metálicas. Estas ventosas pueden estar instaladas en el buque o en el puerto. Cada ventosa tiene una capacidad de 20 toneladas, aunque según el tamaño del buque se pueden crear unidades de 40 y 80 toneladas uniendo diferentes ventosas.

Este sistema de amarre necesita como mínimo dos unidades, una a popa y otra a proa, pero no necesariamente en los extremos del buque, sino que es suficiente con que se encuentren al 25-30% de la eslora hacia proa y hacia popa de la cuaderna maestra [2].

Algunas de las características que provee este sistema:

- Capacidad de movimiento en los ejes vertical-horizontal teniendo este último un grado de rotación de hasta 30 grados respecto a su eje.
- El sistema es retráctil, útil para la reducción de espacio.
- Proporciona amortiguamiento al movimiento del buque.
- Posiciona el buque para lograr una mejor estiba.
- Monitoreo del proceso en tiempo real, sin la necesidad de intervención humana en el amarre.
- Regulación de la carga de succión de cada ventosa, para evitar daños al buque.

La ventosa está compuesta por sellos de material elastómero (figura 1) los cuales son rígidos y absorben las pequeñas oscilaciones del buque a través unos orificios donde se genera el vacío al abrir una válvula que conecta la ventosa con un acumulador de baja presión [2].

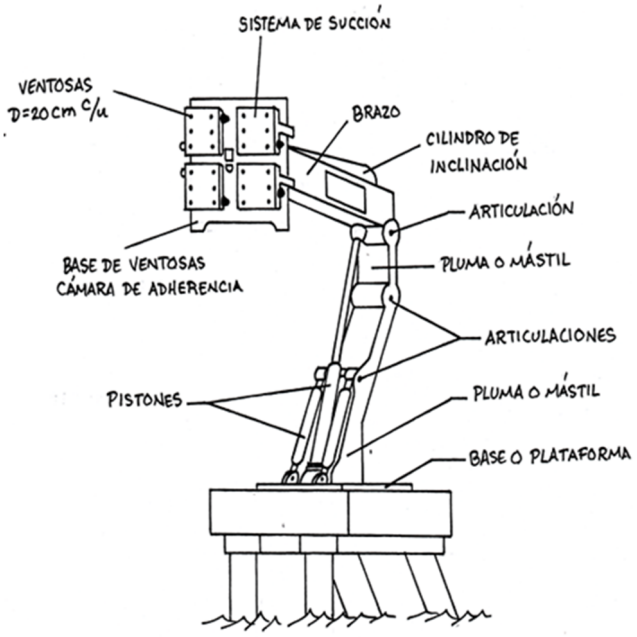


Figura 1. Componentes del sistema automatizado por ventosas. Modificado a partir de Mampaey offshore industries [6].

3.1.1 Brazo hidráulico

El sistema de amarre por vacío existente no provee suficiente movimiento en el eje horizontal, ya que solo puede girar aproximadamente cinco grados. Por lo tanto, al hacer algunas modificaciones al sistema ajustando, un brazo con mayor movilidad, se puede facilitar el amarre por las ventosas. Por lo que se propone mejorar la rotación del sistema por medio de una articulación entre la placa de adherencia y el brazo de soporte, permitiendo mayor libertad de giro en un rango de 20 a 30 grados (figura 2).

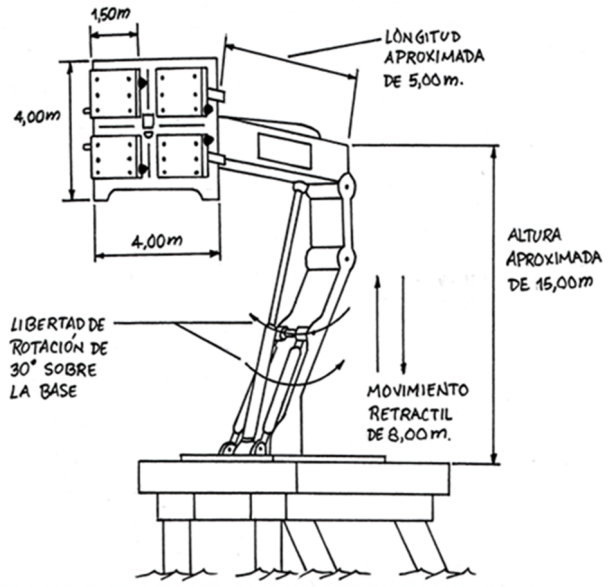


Figura 2. Características del sistema automatizado por ventosas. Modificado a partir de *Mampaey offshore* industries [6].

Respecto al eje vertical, el diseño del sistema le permite gran libertad de extensión y retracción, permitiendo así un funcionamiento óptimo para buques con diferentes dimensiones.

3.1 Defensas

La línea de defensa a lo largo del muelle es un factor fundamental que proporciona seguridad, tanto para la estructura portuaria, como para la integridad de los buques que atraquen en el puerto.

Las defensas deben estar diseñadas para absorber la fuerza de impacto del buque sobre la superficie del muelle, permitiendo de igual forma la protección de los dispositivos de amarre.

Tomando en cuenta la energía que debe ser disipada por las defensas, las más adecuadas para resistir grandes impactos son las defensas tipo pantalla, sin embargo, las mismas ocupan mayor espacio en la zona de atraque. Por este motivo se ha considerado las defensas neumático tipo Yokohama (figura 3) como las más aptas para el muelle de atraque automatizado a diseñar.

Este tipo de defensas tienen un mantenimiento básico, el cual consiste en una revisión cada tres o cuatro años a la condición física de la red de cadenas, una revisión de la presión interna de aire dentro de la defensa y revisión superficial de la misma. Con un mantenimiento adecuado, su vida útil puede llegar a ser de 14 a 15 años. [7]

Figura 3. Ejemplo de línea de defensas tipo Yokohama en muelle [7].

3.2 Duque de albas

Los duques de alba son estructuras aisladas que sirven para brindar soporte lateral y amarre a los buques [8].

El objetivo de este sistema dentro del muelle automatizado es ofrecer mayor seguridad, actuando como un sistema auxiliar paralelo y a nivel de la estructura del muelle, restringiendo el movimiento de cabezeo del buque.

Este sistema es propenso a recibir impactos por parte, tanto de los remolcadores como del buque durante las operaciones de atraque y amarre de la embarcación al muelle, razón por la cual se considera que el duque de alba (figura 4) debe estar provisto de una línea de defensa a lo largo de la misma, la cual brinde seguridad tanto a la estructura como al sistema automatizado.

3.3 Losa

Es un elemento estructural, generalmente de concreto, que permite la transferencia de cargas impuesta sobre su superficie o hacia elementos estructurales de soportes como: vigas, columnas o pilotes como es nuestro caso (figura 4) [9].

3.4 Pilotes

Un pilote es un elemento estructural de concreto reforzado, acero y en casos muy puntuales de madera, utilizado en cimentaciones que transmite la carga mediante fricción y presión de punta (figura 4) [9].

La aplicabilidad de este tipo de cimentación se da cuando se tiene un suelo de baja capacidad para soportar las cargas aplicadas y también es una buena opción para la construcción de cimentaciones sumergidas (offshore).

En los duques de alba se deberá colocar pilotes verticales e inclinados, estos últimos para brindar mayor estabilidad de la estructura y resistir los esfuerzos provocados por las olas generadas por el viento o por el mismo buque [9]. Los pilotes inclinados también son de gran ayuda a la resistencia de los

impactos generados por posibles colisiones de los remolcadores o el buque en la operación de atraque.

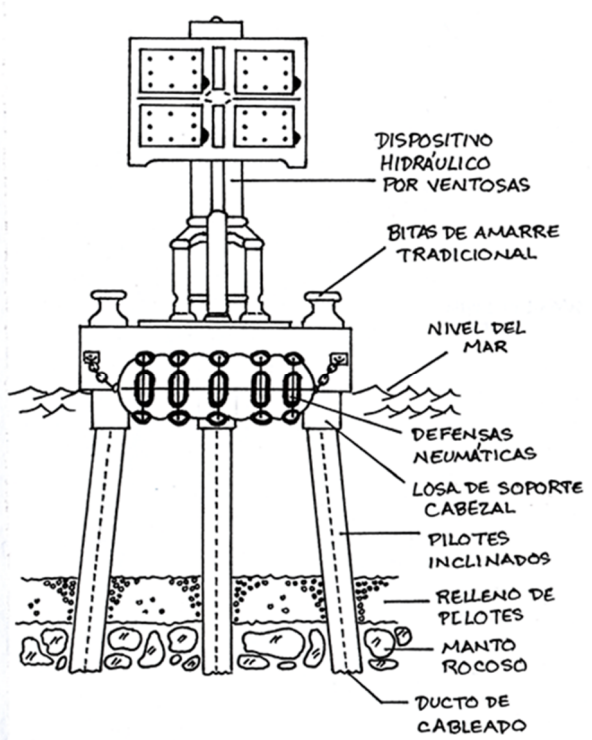


Figura 4. Sistema de amarre automatizado sobre duque de alba.

Actualmente se utiliza el sistema de camisas galvanizadas, al igual que las camisas de caucho, de acero y de cimbra de carbono. Estas protegen la zona de salpicadura del pilote y su estructura en general, brindando una protección al desgaste de la estructura por oleaje y por otros daños como carbonatación, entre otros.

Como protección a la socavación que puede darse en los pilotes del duque de alba, producto del propio oleaje y del movimiento de las hélices de los barcos. Es recomendable utilizar para los pilotes un enrocado alrededor del hincado de esta forma se evita que se llegue a crear socavación en el área contraria al corriente producto de la turbulencia.

3.5 Cables de suministro de energía

El suministro de energía para el dispositivo hidráulico será posible por medio de la instalación de una red de tuberías de policloruro de vinilo ¨PVC¨ incorporados a la losa de soporte del duque de alba. A través de dichas tuberías serán desplegados los cables o conexiones desde la superficie de la losa, hasta la superficie del fondo marino, extendiéndose hasta la zona de toma de energía en el muelle.

4. Dimensionamiento del muelle

La tipología de muelle es de tipo marginal, ya que las características estructurales del este favorecen al diseño del sistema de sujeción del buque. Para el cálculo de la longitud del muelle se presentan las siguientes ecuaciones [10].

Para un numero de atraques ≤ 2

$$La = Na * Lmax + (Na - 1)Io + 2ls \quad (1)$$

Para un número de atraques > 2

$$La = Lmax + (Na - 1)Lb + (Na - 1)Io + 2ls \quad (2)$$

Donde:

La: Longitud de atraque

Na: Numero de atraques

Lmax: Eslora del buque de máxima eslora.

Io: Distancia entre barcos atracados en la misma alineación.

ls: Separación entre el barco y cambios de alineación o de tipología estructural (20m en nuestro caso.)

Lb: tipo de buque.

4.1 Criterio de selección de sistemas de defensas auxiliares

En un muelle las defensas son algo fundamental, debido a que estas reciben la energía del buque cuando este hace sus m aniobras de atraque. Además de brindar protección al sistema de amarre automatizado cuando este se encuentra en posición retraída, provee protección a los duques de alba sobre cualqui er impacto que puedan recibir por parte de los buques.

La ubicación de las defensas a lo largo de un muelle debe s er tal que no sea demasiado distante una de otra, ya que el cas co del buque podría sufrir daños por impacto al realizar las ma niobras de atraque (figura 5), tomando en cuenta adicionalmen te que las defensas no deben ser colocadas tan cercanas, ya qu e se colocarían demasiadas, lo cual se traduce en un mayor ga sto económico para la entidad encargada del puerto.

Para calcular el espacio requerido entre defensas (figura 6) podemos tomar en cuenta:

El radio de proa se puede calcular como:

$$R_B = \frac{x^2}{B} + \frac{B^2}{4} \quad (3)$$

Donde:

x = longitud de la curvatura del casco

B = manga media del buque

Radio de proa es la curvatura del casco del buque [11].

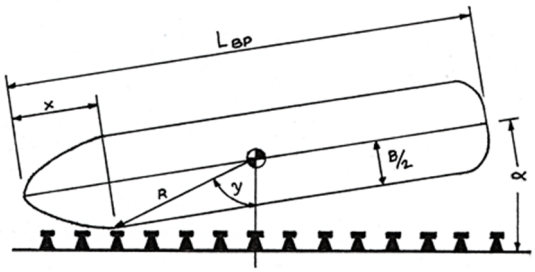


Figura 5. Cálculo del radio de proa [11].

La distancia entre defensas está dada por:

$$S \leq 2\sqrt{{R_B}^2 - (R_B - h + C)^2} \quad (4)$$

Donde:
S = espacio entre defensas
R_B = radio de la proa
h= altura de la defensa comprimida
C= distancia al embarcadero
α = ángulo de atraque

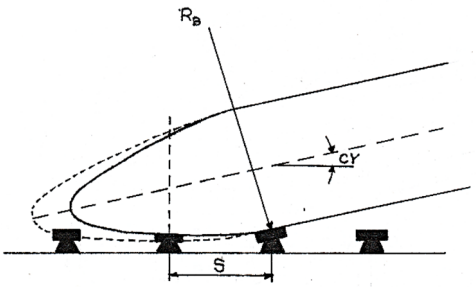


Figura 6. Cálculo de separación entre defensas a lo largo de un muelle [11].

5. Configuración del sistema de amarre automatizado

El sistema de dispositivos de amarre automatizado de buques por ventosas se incluirá en un muelle proyecto, el cual contará con la construcción de duques de alba paralelos a la zona de operaciones de carga-descarga del buque, a través del cual se busca garantizar de forma óptima la estabilización del buque durante las operaciones de atraque y amarre.

Tomando en consideración que para obtener una óptima eficiencia y funcionalidad del sistema planteado será necesaria la utilización de líneas de defensa (preferiblemente tipo neumáticas) a lo largo de la zona de atraque del muelle (figura 7) y alrededor de cada duque de alba para amortiguar los impactos del navío sobre las superficies estructurales.

La función de los duques de alba colocados paralelos al muelle a una distancia aproximada referente al ancho del buque diseño en la zona de atraque, consistirá en ofrecer una base sólida sobre la cual se coloquen los dispositivos que utilicen el brazo hidráulico. Cada grupo de duques estará separado a lo largo de la longitud del buque a una distancia que permita la maniobra de entrada de buques Panamax a través de la zona de estructuras paralela al muelle (figura 8).

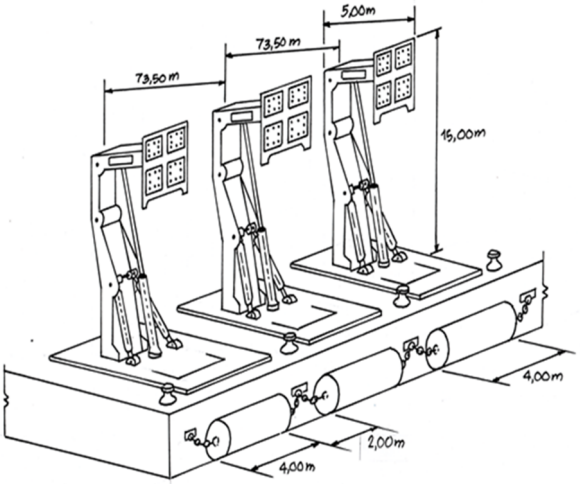


Figura 7. Bosquejo de sistema automatizado a lo largo de la línea de atraque. Redibujado a partir de *Mampaey offshore* industries [6].

El tipo de muelle en la terminal portuaria debe ser preferiblemente marginal para permitir una mayor maniobra de buques de Panamax y Pospanamax contemplados dentro del diseño del sistema [12].

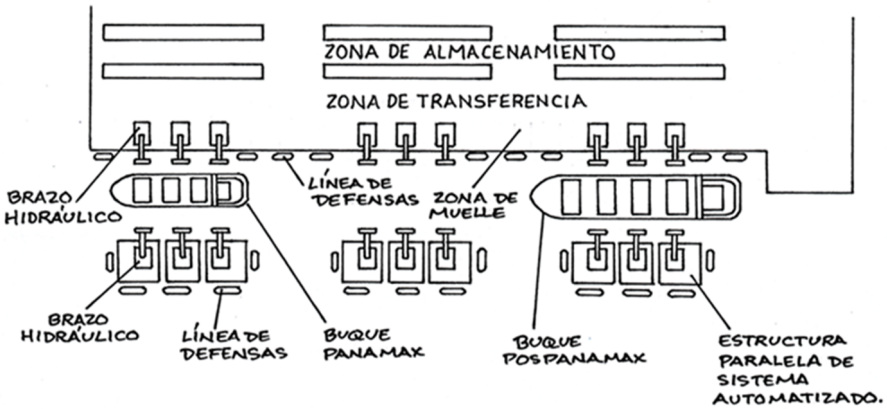


Figura 8. Vista de planta del muelle proyecto basado en maniobra de atraque esperada.

El dispositivo de amarre consistirá en una placa fija que proporcionara soporte al sistema de brazo hidráulico, el cual tiene como función extenderse desde su posición inicial hasta entrar en contacto con el casco del buque durante las operaciones de amarre-desamarre en muelle, para procurar la seguridad del buque, tripulación, pasajeros, estibadores e integridad de la mercancía y simplificar significativamente al personal dedicado al amarre directo sobre el buque.

El dispositivo de amarre debe ser supervisado preferiblemente por un solo operador y ayudante, ambos capacitados para que se realice adecuadamente la movilización y control a través de ordenadores que operen las maniobras de operación del equipo automatizado, realizando una debida supervisión de las presiones que deben ejercer las ventosas de succión sobre la superficie del casco en los buques, esto para evitar deformaciones, rayones o abolladuras en dicha superficie de contacto.

6. Conclusiones y recomendaciones

Por medio de este sistema se minimiza el riesgo de accidentes fatales, tanto al personal que opera en el proceso de amarre como a la tripulación del buque.

El uso de un *software* que controle el sistema evita la probabilidad de fallos, ya que reduce los errores por factor humano.

Al evitar el uso de amarre por medio de bitas o norays se ahorra espacio ya que se puede llevar a cabo el proceso de amarre del buque cerca de los límites del muelle marginal.

Este sistema reduce el tiempo de espera de un buque dentro del muelle y por lo tanto reduce la velocidad en su viaje.

La succión por ventosas permite que el sistema se adhiera y despegue de la superficie del casco del buque de forma instantánea, lo que permite una operación eficaz durante el atraque y desatraque.

Se utilizará menos combustible por parte de los remolcadores, lo que genera menor emisión de gases que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente.

Verificar el estado de las defensas del muelle con el fin de evitar que los impactos generen daños a la estructura como fisuras, grietas o desprendimientos.

Se recomienda pintar las estructuras cercanas o dentro del medio salino con un recubrimiento a base de resina epóxico, para prevenir el ataque de agentes patógenos y evitar el desgaste de estas por exposición al ambiente marino.

AGRADECIMIENTOS

Se le agradece al Dr. Ariel Grey por los consejos brindados en el desarrollo inicial del artículo y a los compañeros Samuel Romero y Abdiel Adames por el apoyo brindado durante la investigación y conformación del presente artículo.

REFERENCIAS

[1] R. Villa Caro, L. Carral Couce, and J. Fraguela Formoso, *Analisis de riesgos durante las operaciones de amarre y fondeo en los buques*. 2015.

[2] M. S. Ribot, “Análisis y automatización de los sistemas de amarre de un buque,” Universitat Politècnica de Catalunya, 2016.

[3] R. Villa Caro, *Evolucion e historia de los sistemas de amarre y fondeo*. 2014.

[4] Mampaey, “Mampaey | intelligent Dock Locking System,” 2018. [Online]. Available: https://mampaey.com/berthing-mooring-overview/the-intelligent-docklocking-system/. [Accessed: 06-Jul-2019].

[5] R. Villa Caro, L. Carral Couce, J. Fraguela Formoso, and J. Álvarez Feal, “Posible Evolución de los Sistemas de Amarre de los Puertos Militares y sus Buques,” *IV Congr. Nac. I+D en Def. y Segur.*, 2016.

[6] Mampaey, “Mampaey is part of the Maritime Museum!,” 2016. [Online]. Available: https://mampaey.com/portfolio_page/mampaey-is-part-of-the-maritime-museum/. [Accessed: 06-Jul-2019].

[7] Max-groups, “Ventajas & Tipos de Defensas Neumáticas (Yokohama) -,” 2019. [Online]. Available: https://max-groups.com/defensas-neumatica-yokohama-ventajas-tipos/. [Accessed: 06-Jul-2019].

[8] Puertos del Estado, *Infraestructuras (Nivel 1)*. España, 2014.

[9] B. M. Das, *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*, 7th ed. Cengage Learning, 2012.

[10] Gobierno de España, Ministerio de Formento, and Puertos del Estado, *Recomendaciones para el proyecto y ejecución en Obras de Atraque y Amarre*. 2012.

[11]Shibatafenderteam, *Manual de instalación, operación y mantenimiento de Shibatafenderteam*. 2019.

[12]F. Gonzalez Sañudo, *El Contenedor “La Revolución Permanente.”* 2016.

La relación entre el rendimiento universitario y la privación de sueño

The relationship between college performance and sleep deprivation

José Castillo[1], Ashley Lan[1], Jayson Morán[1], Enrique Aparicio[1], Valerie Tuñón[1], Matías Gutiérrez[1], Carmen Ortega[2]*
Lic. en Ingeniería de Sistemas y Computación, Facultad de Sistemas Computacionales, Universidad Tecnológica de Panamá [1], Departamento de Ingeniería de software, Faculta de Ingeniería de Sistemas Computacionales, Universidad Tecnológica de Panamá[2]

Resumen La privación de sueño es la condición de insuficiencia de sueño, pudiendo ser crónica o aguda. Se investigó el efecto de la privación del sueño en el desempeño académico, mediante la aplicación de una encuesta. Específicamente, se investigó: cómo afecta el no dormir al rendimiento universitario. Para lograr esto, también se identificaron las partes del cerebro que se relacionan al sueño y describen las consecuencias causadas por la falta de sueño. Además, se analiza el patrón de sueño en los individuos universitarios. Dentro de los resultados se evaluó la veracidad de la hipótesis propuesta, que entre más tiempo de descanso tienen los estudiantes, mejores son los resultados en sus estudios. Sin embargo, los resultados de la investigación arrojaron que los estudiantes que duermen menos tiempo de igual manera consiguen mantener resultados aceptables. El rendimiento de la mayoría de los estudiantes universitarios no se ve alterado de gran manera por la privación de sueño, pero es mejor tener buenos hábitos de sueño, para poder evitar enfermedades que pueden adquirir en un futuro.

Palabras clave Aprendizaje, etapas del sueño, rendimiento académico, sueño, trastornos del sueño.

Abstract Sleep deprivation is the condition of insufficient sleep, which can be chronic or acute. The effect of sleep deprivation on academic performance was investigated by applying a survey. Specifically, it was investigated: how does not sleep affect college performance. To achieve this, the parts of the brain that are related to sleep and describe the consequences caused by lack of sleep were also identified. In addition, the sleep pattern in university individuals is analyzed. Within the results, the veracity of the proposed hypothesis was evaluated, that the more rest time the students have, the better the results in their studies. However, the results of the research showed that students who sleep less time still manage to maintain acceptable results. The performance of most college students is not greatly affected by sleep deprivation, but it is better to have good sleep habits to avoid diseases that they may acquire in the future.

Keywords Learning, stage of sleep, academic performance, sleep, sleep disorders.

* Corresponding autor: jose.castillo33@utp.ac.pa

1. Introducción

El sueño ha sido visto como una necesidad fisiológica desde siempre. Es bien sabido que es muy importante dormir adecuadamente porque muchos estudios y divulgaciones confirman, una y otra vez, los efectos dañinos que una vigilia constante puede causar. Las razones que se pueden tener para mantener un estado recurrente de privación del sueño son variadas; pueden ir desde la necesidad de hacerlo hasta el querer hacerlo. Pero, sea cual sea la razón, el resultado es el mismo: consecuencias negativas para la salud. No podemos negar que muchas veces es necesario mantenerse despierto por muchas más horas y que ello nos ayuda a mantener el ritmo de nuestro día a día en varias ocasiones, pero no faltan quienes llegan al extremo de adoptarlo como un estilo de vida y algo de lo más normal. En este sentido, no es raro escuchar frases como: "Trasnóchate", "Estudiantes universitarios no duermen", "El cansancio es mental" y un muy largo etcétera de frases, que llegan a aceptarse como verdad, dichas por estudiantes, docentes y profesionales en distintas áreas.

Actualmente, parece que pocos le dan al sueño la importancia que merece, enfocando en aquellos que forman parte del sistema educativo, pero ¿por qué? La respuesta es simple y se divide en dos partes: la primera es que, como se mencionó, actualmente la idea de privarse del sueño es bien vista siempre y cuando se cumplan con las exigencias académicas o laborales; y la segunda es que muchos ignoran el daño que se hacen realizando esa práctica, es decir, mientras no vean ni sientan algún problema o malestar respecto a su salud entonces todo está bien para ellos. Esto último es análogo al dicho "Ojos que no ven, corazón que no siente". Todo esto

lleva a preguntarse ¿Es eficiente privarse del sueño con el fin de rendir académicamente?

En este trabajo se pretende evaluar la relación que existe entre el rendimiento universitario y la privación del sueño. También se analizarán los patrones de sueño más recurrentes en estudiantes universitarios.

Como herramienta principal, se diseñó una encuesta que fue distribuida en línea entre los estudiantes de la Universidad Tecnológica de Panamá, incluyendo a personas de todas las facultades, con la cual se pretendía obtener los datos de variables como la cantidad de horas de sueño y el rendimiento académico con esas horas. La metodología preparada consistió en proporcionarle la encuesta a una cierta cantidad de personas para que ellas lo distribuyeran a más personas.

Por otro lado, y volviendo a la idea ya planteada anteriormente, muchos estudiantes y hasta docentes ignoran los efectos negativos para la salud que puede conllevar desvelarse, por lo que en este documento se presenta una relación entre el sueño y el rendimiento académico de los estudiantes universitarios, con el fin de determinar si es posible que el trasnocharse resulte en un mal desempeño académico como nos dicen otros estudios, al analizar las respuestas obtenidas durante la encuesta aplicada a más de cien estudiantes. Los resultados se plasman en gráficos y tablas.

2. El sueño

Según la Real Academia Española el sueño es el acto de dormir o el deseo de hacerlo.

"El sueño, como lo concebimos diariamente, se lo puede definir como un estado normal, recurrente y reversible de disminución de la percepción y de la capacidad de respuesta al medio ambiente" [1].

Entonces, es posible decir que el sueño es un estado necesario para el cuerpo, pues es en ese momento cuando nos recuperamos de todo el tiempo que pasamos despiertos y ocurren una gran cantidad de eventos necesarios para mantenernos saludables mental y físicamente. Por esto se considera un estado reparador.

2.1 Etapas del sueño

El sueño tiene diferentes fases que se van turnando a lo largo del mismo. El ser humano pasa por dos etapas llamadas NREM (Movimiento Ocular No Rápido) y REM (Movimiento Ocular Rápido).

"La fase de sueño NREM dura 6 horas y la fase de sueño REM 2 horas" [2].

Adicionalmente se dice que tanto el sueño REM como el NREM tienen un rol protagónico en la memoria y aprendizaje. "Específicamente el sueño NREM o sueño de ondas lentas iniciaría este rol importante en el desarrollo y en el aprendizaje" [3].

Volviendo al punto, la fase NREM se divide en cuatro sub fases:

- La primera se caracteriza por la transición entre vigilia y sueño, es decir, pasar de estar despierto a estar dormido.
- En la segunda la actividad cerebral se va haciendo más profunda y se va disminuyendo la temperatura, la frecuencia cardíaca y respiratoria de manera progresiva.
- Durante la tercera y cuarta fase, el sueño es más profundo y las ondas cerebrales se van ralentizando. Estas fases se conocen como sueño lento.

Al pasar a la fase REM, las ondas cerebrales empiezan a acelerarse y lo acompaña el movimiento rápido de ambos ojos. La frecuencia cardíaca y respiratoria se vuelven irregulares e incluso pueden incrementarse. También se dice lo siguiente: Durante el sueño REM, el hipotálamo no ejerce la función de "termostato". Cuando se producen modificaciones extremas de la temperatura ambiente (calentamiento o enfriamiento pasivo), acontece un despertar o se produce el pase a una fase del sueño NREM. [4]

2.2 Partes del cerebro relacionadas con el sueño

Como se mencionó anteriormente, hay cuatro puntos relacionados con la anatomía y fisiología del sueño y del ciclo vigilia-sueño:

- El sistema de despertar o vigilia.
- El sueño NREM caracterizado por ondas lentas donde no hay movimientos oculares rápidos.
- El sueño REM en donde sí se dan movimientos oculares rápidos.
- El ritmo circadiano que regula estos ciclos de vigilia-sueño.

Básicamente se podría considerar que existen cuatro interruptores encargados de la activación de las funciones mencionadas. Son llamados núcleos y se definen de la siguiente forma:

- **Núcleo hipotalámico posterior (NHP):** Encargado de la función de vigilia. El psiquiatra Von Economo descubrió que la región del hipotálamo posterior es muy importante en el mantenimiento del estado de vigilia porque pacientes con encefalitis letárgica en coma tenían esa zona en particular muy dañada. Lo contrario sucedía si el daño se encontraba en el hipotálamo anterior, es decir, los pacientes permanecían despiertos. Más tarde se descubrió que esta parte del cerebro produce una sustancia llamada "hipocretinas" responsable del despertar y la vigilia. Por supuesto, no es el único participante en este estado, pero se le atribuye gran mérito porque su disminución produce somnolencia y disminución de la actividad motora.
- **Núcleo ventrolateral preóptico (VLPO):** Encargado de la función NREM. Aquí la actividad de las hipocretinas es mucho menor lo que causa un sueño más profundo.
- **Núcleo reticular pontis oralis lateral (NRPO):** Encargado de la función REM. Contrario a lo que sucede en el VLPO aquí se secretan más hipocretinas

causando episodios de movimientos oculares rápidos y, además, movimientos musculares ocasionales.

- **Núcleo supraquiasmático (NSQ):** Encargado de la función de regulación del ciclo circadiano o de sueño-vigilia. Idealmente, un patrón de conducta habitual en el ser humano debería ser mantenerse despierto aproximadamente 16 horas y dormir 8 horas todos los días, creando un ciclo. A esto se le llama ciclo circadiano. El ciclo se inicia en la mañana con la luz solar, que estimula la producción de hipocretinas inactivando los núcleos del sueño REM y NREM, para posteriormente, al anochecer, disminuir dicha estimulación y comenzar el proceso de activación progresiva de las estructuras involucradas en los dos tipos de sueño.

2.3 Trastorno del sueño

Las clasificaciones y tipos de trastornos del sueño se encuentran en la Clasificación internacional de los trastornos del sueño en su versión 3 (ICSD-3) revisada en 2014 [5]. Comprende lo siguiente:

- **Insomnio**: Históricamente, los trastornos de insomnio se han dicotomizado de varias maneras relacionadas con la duración y la presunta fisiopatología. Los criterios para este diagnóstico incluyen (1) un informe de problemas de iniciación o mantenimiento del sueño, (2) oportunidad y circunstancias adecuadas para dormir, y (3) consecuencias diurnas. El criterio de duración de ICSD-3 para el trastorno de insomnio crónico es de 3 meses, y se ha agregado un criterio de frecuencia (al menos tres veces por semana).
- **Trastornos respiratorios**: Los trastornos respiratorios relacionados con el sueño se dividen en cuatro secciones: AOS, síndromes de apnea central del sueño (CSA), trastornos de hipoventilación relacionados con el sueño y trastorno de hipoxemia relacionado con el sueño.
- **Trastornos de hipersomnolencia central**: Estos trastornos se caracterizan por una somnolencia diurna excesiva (hipersomnolencia) que no se puede atribuir a otro trastorno del sueño, específicamente aquellos que provocan alteraciones del sueño (p. Ej., Trastornos respiratorios relacionados con el sueño) o anomalías del ritmo circadiano. Los trastornos centrales de la hipersomnolencia a menudo son causados por anormalidades intrínsecas del SNC en el control del sueño-vigilia, aunque otras afecciones o sustancias médicas pueden explicar la hipersomnolencia. El sueño insuficiente inducido por el comportamiento también se incluye en este grupo de trastornos.
- **Alteraciones del ritmo circadiano**: La nomenclatura de estos trastornos se ha cambiado a "sueño-vigilia" para subrayar que las alteraciones fisiológicas asociadas con estas afecciones son evidentes durante todo el ciclo de 24 horas. Básicamente es como tener un desfase horario.
- **Parasomnias**: Las parasomnias se dividen en tres grupos: relacionadas con el movimiento ocular no rápido (NREM), relacionadas con el movimiento ocular rápido (REM) y otras. Incluyen terrores nocturnos, despertares en pánico, sonambulismo y pesadillas, entre otros.
- **Trastornos del movimiento relacionados con el sueño:** Estas condiciones se caracterizan por movimientos simples, a menudo estereotipados, que ocurren durante el sueño. Un ejemplo es el síndrome de piernas inquietas.

2.4 Factores que afectan la calidad de sueño

Entre los factores que pueden provocar una alteración durante el sueño tenemos [6]:

- Estrés psicológico.
- El ambiente.
- Estimulantes (alcohol, café).
- Enfermedades (trastornos del sueño o no relacionadas directamente).
- Cansancio o fatiga.
- Edad.
- Medicamentos.
- Estilo de vida (muy activa o sedentaria).
- Dieta.
- Nicotina.
- Luces artificiales (se dice que ocasionan el mismo efecto que provoca la luz solar, haciendo que se active la producción de hipocretinas).

Todos ellos pueden afectar la conciliación del sueño, pero no a todos les afecta de la misma manera. En muchos casos depende de las características psicológicas y físicas, económicas, familiares y también de las enfermedades subyacentes que ya se padezcan.

2.5 Consecuencias que trae la privación del sueño

Una noche ocasional sin dormir hace que se pueda sentir cansado e irritabilidad, al día siguiente, pero no dañará su salud. Después de varias noches sin dormir apropiadamente, los efectos físicos empeoran.

Si se continúa no descansando bien, la falta de sueño puede afectar la salud. Mencionaremos algunas enfermedades que son el resultado de no dormir bien, de acuerdo con *Live Well* [7].

- **Diabetes**: La investigación ha demostrado que la falta de sueño está relacionada con el desarrollo de diabetes tipo 2, al influir en la forma en que su cuerpo procesa la glucosa. Numerosos estudios han encontrado que los adultos que no duermen más de cinco horas por noche tienen un mayor riesgo de desarrollar o tener diabetes. Según la división de medicina del sueño en la facultad de medicina de Harvard [8], mejorar la calidad del sueño puede ser una forma de mejorar el control del

azúcar en la sangre en personas con diabetes tipo 2.

- **Enfermedades cardíacas**: Las personas con un trastorno del sueño tienen más probabilidades de experimentar enfermedad coronaria, accidente cerebrovascular, latidos cardíacos irregulares e hipertensión.
- **Aumento de los cambios metabólicos**: Las personas que no duermen durante largos períodos de tiempo o que tienen problemas para quedarse dormidos durante toda la noche experimentan cambios metabólicos que podrían causar obesidad. Nuestros cuerpos secretan hormonas mientras dormimos que regulan nuestro apetito, metabolismo y procesamiento de glucosa. La falta de sueño puede provocar niveles bajos de la hormona leptina, que le dice a nuestro cerebro si hemos comido lo suficiente. Debido a esto, las personas pueden tener más antojos de alimentos dulces o salados, incluso después de haber comido. Los estudios epidemiológicos han demostrado la correlación entre la falta de sueño y la obesidad en todos los grupos de edad.
- **Mayor riesgo de depresión**: La depresión y el sueño han estado conectados desde hace mucho tiempo. Las personas que duermen menos de cinco horas por noche se sienten estresadas, enojadas y tienden a tener perdida de sentimientos de optimismo. Investigaciones como "El sueño y la depresión" por *Sleep Foundation.org* [9] han encontrado que los síntomas de depresión pueden disminuir una vez que se ha restablecido el sueño. Al crear un plan de tratamiento para la depresión, se debe considerar dormir.

3. Aprendizaje

El aprendizaje es un proceso humano continuo, que comienza desde el día que nacemos hasta el día de nuestra muerte. Es un proceso innato de la naturaleza humana. Comúnmente se entiende el aprendizaje, como un proceso que se da de manera académica, como en el colegio o en la universidad. Aunque no está errada esta conceptualización, el aprendizaje abarca más aspectos, es una capacidad de nuestra especie que nos ayuda adaptarnos, a adquirir nuevas habilidades y poder interactuar con nuestro entorno.

3.1 Concepto de aprendizaje

De acuerdo con el artículo "*Learning: Definition, Characteristics and Types of Learning in Psychology*" [7], los psicólogos definen el aprendizaje como el constante cambio de comportamiento como resultado de una experiencia. Entonces podemos entender que el aprendizaje es una incesante evolución personal, que obtenemos a medida que vayamos adquiriendo nuevas vivencias.

El aprendizaje ocurre a partir de [8]:

- Presencia de estímulos en nuestro ambiente.
- Presencia de emociones e instintos en nuestra naturaleza.

3.2 El aprendizaje y la falta de sueño

Según la división de medicina del sueño en la facultad de medicina de Harvard [9], una persona con falta de sueño no puede enfocar la atención de manera óptima y, por lo tanto, no puede aprender eficientemente. El sueño en sí tiene un papel en la consolidación de la memoria, que es esencial para aprender nueva información.

Cuando estamos privados de sueño, nuestra concentración y vigilancia cambia, lo que hace que sea más difícil recibir información. Sin un sueño y descanso adecuado, perdernos nuestra capacidad de acceder a la información previamente aprendida. Además, nuestra interpretación de los eventos puede verse afectada. Perdemos nuestra capacidad de tomar decisiones acertadas, porque ya no podemos evaluar con precisión la situación, planificar en consecuencia y elegir el comportamiento correcto. El juicio se deteriora.

El sueño de baja calidad y la falta de sueño también afectan negativamente el estado de ánimo, lo que tiene consecuencias para el aprendizaje. Las alteraciones en el estado de ánimo afectan nuestra capacidad de adquirir nueva información y, posteriormente, recordar esa información. Aunque la privación crónica del sueño afecta a diferentes individuos de varias maneras (y los efectos no se conocen por completo), está claro que un buen descanso nocturno tiene un fuerte impacto en el aprendizaje y la memoria.

4. El sueño y el rendimiento académico

El sistema académico en general se basa en calificaciones para determinar el buen o mal desempeño que tenga un estudiante. Entre más altas sean las calificaciones, más alto es el rendimiento del alumno.

Actualmente vivimos en un mundo completamente conectado, el trabajo ya no se limita a la oficina o al centro académico. La tecnología nos ha facilitado mucho trabajo, pero irónicamente también nos ha condicionado a poder hacer más trabajo. Las exigencias llevan a muchos a pasar de sus horas para comer, su tiempo de ocio, su tiempo con familiares o amigos y también a sacrificar sus horas de sueño, ya sea reduciéndolas o teniendo un desfase horario, en donde prácticamente se duerme a la hora que se pueda.

Ya desde hace muchos años se ha venido justificando la importancia de dormir adecuadamente, ya que los patrones de sueño influyen de manera significativa en la salud en general. En varios estudios se han evidenciado los impactos negativos de trastornos del sueño como el insomnio, la apnea de sueño, la narcolepsia, etcétera, en el funcionamiento físico y mental. Dichos malestares son capaces de alterar el estado de alerta, las capacidades de concentración, debilitar el sistema inmune, agravar enfermedades crónicas, generar estrés (y otros desbalances hormonales) y accidentes que en ocasiones resultan fatales [13].

La capacidad de aprendizaje y memoria son elementos íntimamente relacionados y completamente necesarios en

estudiantes de cualquier nivel. Por lo tanto, son factores que influyen directamente en el rendimiento académico universitario.

La pregunta principal sigue en pie, ¿Cuál es la relación entre el sueño y el rendimiento académico universitario?

5. Materiales y métodos

Tomando en cuenta la información presente en este artículo, se realizó un estudio y una evaluación de datos, donde el tipo de investigación empleado es correlacional. El método de investigación utilizado es cuantitativo, el que nos ayuda a evaluar los datos, de los cuales se mostrará su resultado posteriormente. El diseño de la investigación es no experimental, ya que el trabajo investigativo que realizamos no se basa en un experimento, sino más bien en un caso real, el cual deseamos comprobar su veracidad. Las variables que se definieron para determinar esto son: la privación del sueño en los estudiantes, su aprendizaje y cómo su rendimiento universitario se ve afectado.

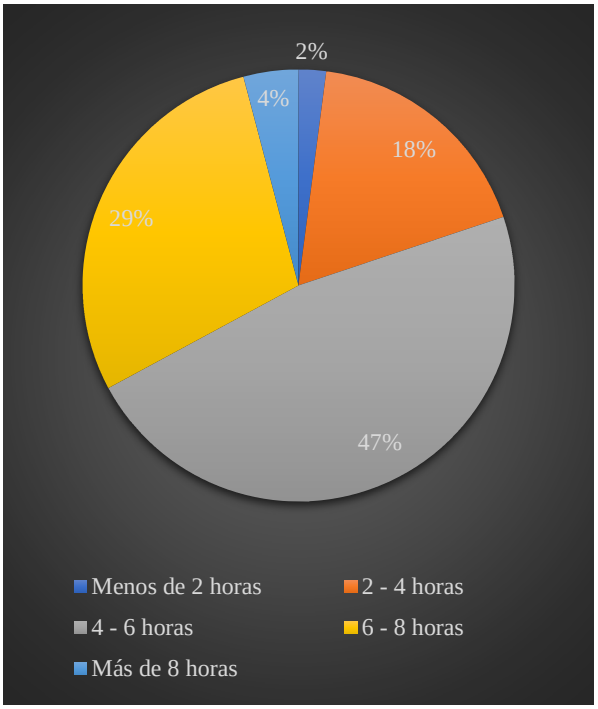
La muestra se determinó tomando en cuenta la población de estudiantes de la Universidad Tecnológica de Panamá. Esta muestra fue realizada con el estilo de muestreo bola de nieve, ya que utilizamos los medios de comunicación para compartir la encuesta, que fue respondida por estudiantes de esta universidad. El estudio de los datos se calculó tomando en cuenta los resultados de la encuesta, que fue respondida por 146 estudiantes. Los datos obtenidos fueron analizados y gracias a esto se obtuvieron los resultados finales de la investigación.

5.1 Datos recolectados

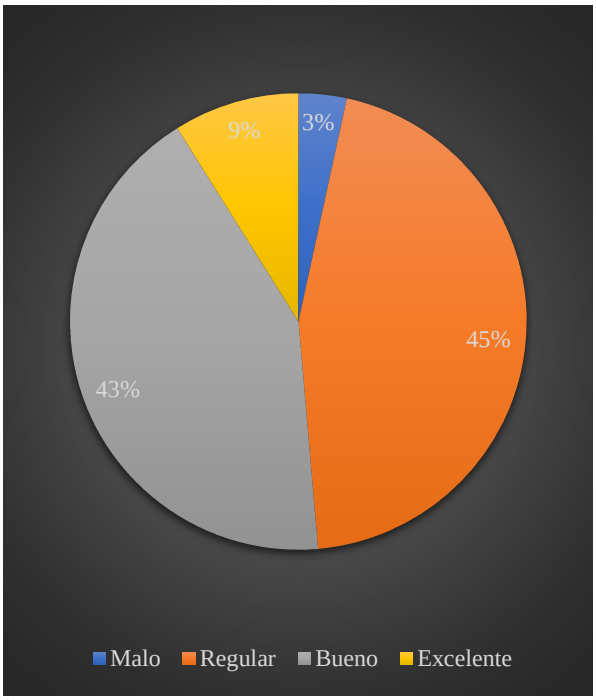
El procesamiento de datos que se llevó a cabo fue a través de la comparación de las respuestas obtenidas en la encuesta realizadas a los estudiantes de la Universidad Tecnológica de Panamá.

La encuesta aplicada constaba de cinco preguntas, las tres primeras se enfocaban en conocer datos generales del encuestado, facultad donde estudia, edad y género; las dos últimas se enfocaban en conocer la cantidad de horas promedio que duerme durante el periodo académico y el rendimiento promedio en la universidad. Se utilizó como valor de referencia el promedio de horas que duerme el encuestado durante el periodo académico, ya que es muy difícil conocer de forma exacta la frecuencia de las horas de sueño durante el periodo académico universitario.

En las gráficas que se muestran a continuación (ver gráfica 1 y gráfica 2) se puede observar la cantidad de horas que duermen los estudiantes y el rendimiento universitario de los estudiantes.

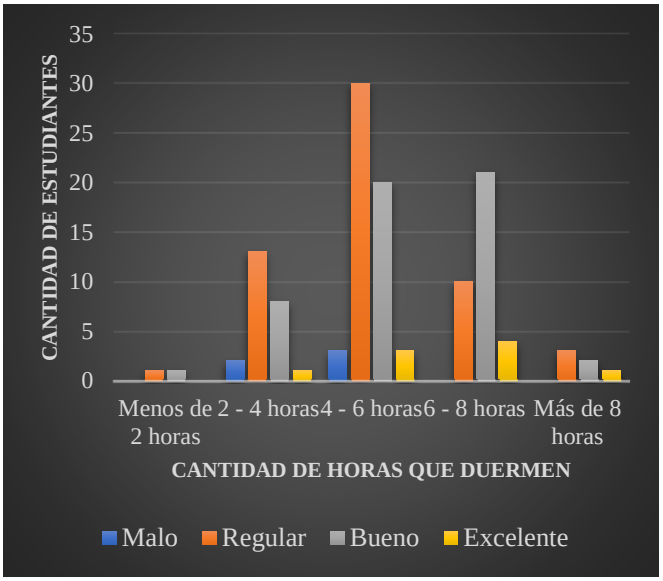


Gráfica 1. Cantidad de horas que duermen los estudiantes.



Gráfica 2. Rendimiento universitario de los estudiantes.

En la siguiente gráfica (ver gráfica 3) se realiza una comparación entre la cantidad de horas que duermen los estudiantes y su rendimiento universitario.



Gráfica 3. Comparación de la cantidad de horas que duermen los estudiantes y su rendimiento universitario.

En la tabla 1, se muestra la moda de rendimiento universitario de los estudiantes por la cantidad de horas que duermen.

Tabla 1. Moda de rendimiento universitario de los estudiantes por la cantidad de horas que duermen

	Rendimiento universitario
Menos de 2 horas	Regular y bueno
2 - 4 horas	Regular
4 - 6 horas	Regular
6 - 8 horas	Bueno
Más de 8 horas	Regular

6. Resultados y discusión

Al ser analizados los resultados que se obtuvieron en la encuesta, se encontró que el 76% de los estudiantes duermen entre cuatro y ocho horas y que el 88% de los estudiantes lleva un rendimiento universitario entre regular y bueno. Además, al comparar la cantidad de horas que duermen los estudiantes con el rendimiento universitario que tienen, se observó que el 87% de los estudiantes que duermen entre cuatro y seis horas y el 88% de los estudiantes que duermen entre seis y ocho horas tienen un rendimiento universitario de regular a excelente. Cabe destacar que inclusive los estudiantes que duermen en promedio menos de cuatro horas al día durante el periodo académico tienen un rendimiento universitario entre regular y bueno.

7. Conclusiones

El sueño es una actividad que forma parte de nuestras vidas, ya que es la forma que tenemos para recuperar energías, es muy importante dormir para nuestra salud. De acuerdo con los resultados de nuestra encuesta, podemos entender que muchos estudiantes no duermen de manera adecuada. Puede que esta práctica no les afecte ahora, pero en el transcurso de sus vidas, se puede desencadenar una serie de padecimientos físicos, que pueden perjudicar diversas áreas de sus vidas, como la interacción interpersonal, al igual puede llegar a afectar sus planes o metas, ya que su salud puede quedar condicionada por no haber tenido buenos hábitos de sueños en un periodo de años. Es por ello por lo que, a pesar de que haya la creencia popular de que dormir es una pérdida de tiempo, en realidad es una actividad vital que nuestro cuerpo necesita, para evitar afecciones graves.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Tecnológica de Panamá por brindar las herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación y por incentivar a los estudiantes escribir artículos que pueden ayudar a otros estudiantes a conocer más sobre distintos temas. También se le agradece a la profesora Carmen Ortega por motivarnos a escribir artículos que sirven como evidencia de los conocimientos que adquirimos durante nuestra carrera universitaria y que nos pueden ayudar en la vida profesional a sobresalir de un grupo.

REFERENCIAS

[1] R. Aguirre-Navarrete, «Bases anatómicas y fisiológicas del sueño,» Revista Ecuatoriana Digital, vol. 15, nº 2-3, 2007.
[2] J. L. Velayos, F. J. Moleres, A. M. Irujo, D. Yllanes y B. Paternain, «Bases anatómicas del sueño,» Sistema Sanitario de Navarra, vol. 30, nº Suplemento 1, 2008.
[3] J. Benington y M. Frank, «Cellular and molecular connections between sleep and synaptic plasticity,» Progress in Neurobiology, vol. 69, pp. 71-100, 2003.
[4] L. Aguilar, S. Caballero, V. Ormea, G. Salazar, L. Loayza y A. Muñoz, «La importancia del sueño en el aprendizaje: vistos desde la perspectiva de la neurociencia.» Av.psicol., Lima, 2017.
[5] M. Sateia, «International Classification of Sleep Disorders-Third Edition,» American College of Chest Physicians, vol. 146, nº 5, pp. 1387 - 1394, 2014.
[6] A. Medina Cordero, D. Feria Lorenzo y G. Oscoz Muñoa, «Los conocimientos sobre el sueño y los cuidados enfermeros para un buen descanso,» Revista electrónica cuatrimestral de enfermería, nº 17, pp. 1-18, 2009.
[7] K. Cherry, «The Psychology of Learning,» 31 Marzo 2020. [En línea]. Available: https://www.managementstudyguide.com/definition-characteristics-and-types-of-learning-in- psychology.htm. [Último acceso: 25 Julio 2020].
[8] P. Juneja, «Learning: Definition, Characteristics and Types of Learning in Psychology,» [En línea]. Available: https://www.managementstudyguide.com/definition-characteristics-and-types-of-learning-in-psychology.htm.

[Último acceso: 25 Julio 2020].
[9] La División de Medicina del Sueño en la Facultad de Medicina de Harvard, «Sleep, Learning, and Memory,» 18 diciembre 2007. [En línea]. Available: http://healthysleep.med.harvard.edu/healthy/matters/benefits-of-sleep/learning-memory. [Último acceso: 26 Julio 2020].
[10] UnityPoint at Home, «The Scary Truth About Sleep Deprivation and Chronic Diseases,» 18 Mayo 2015. [En línea]. Available: https://www.unitypoint.org/livewell/article.aspx?id=4ddbe629-2e3b-4a0a-a7d9-2ace6c62445c. [Último acceso: 25 Julio 2020].
[11] The Division of Sleep Medicine at, «Sleep and Disease Risk,» 18 Diciembre 2007. [En línea]. Available: http://healthysleep.med.harvard.edu/healthy/matters/consequences/sleep-and-disease-risk. [Último acceso: 26 Julio 2020].
[12] Sleep Foundation.org, «Depression and Sleep,» [En línea]. Available: https://www.sleepfoundation.org/articles/depression-and-sleep. [Último acceso: 25 Julio 2020].
[13] H. Marín, A. Franco, S. Alpi, S. Tobón y B. Sandín, «Trastornos del sueño, salud y calidad de vida: una perspectiva desde la medicina comportamental del sueño,» Suma Psicológica, vol. 15, nº 1, pp. 217-240, 2008.
[14] C. DerSarkissian, «Sleep Deprivation and Memory Loss,» 7 Agosto 2019. [En línea]. Available: https://www.webmd.com/sleep-disorders/sleep-deprivation-effects-on-memory.
[15] P. Alhola y P. Polo-Kantola, «Sleep deprivation: Impact on cognitive performance,» 15 octubre 2007. [En línea]. Available: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2656292/.

Comparación de los algoritmos de búsqueda en problemas de videojuegos de estrategia

Comparison of search algorithms in strategy video game problems

José Castillo[1], Jayson Morán[1], Ashley Lan[1], Nicholas Béliz Osorio[2]*
Lic. en Ingeniería de Sistemas y Computación, Facultad de Sistemas Computacionales, Universidad Tecnológica de Panamá [1], Departamento de computación y simulación de sistemas, Faculta de Ingeniería de Sistemas Computacionales, Universidad Tecnológica de Panamá[2]

Resumen Los juegos de estrategia siempre han sido muy gustados por las personas. Juegos como el ajedrez y las damas, por mencionar algunos muy jugados. Han creado rivalidad entre jugadores y hasta se han convertido en deportes jugados por profesionales. Con el surgir de la inteligencia artificial se abre una nueva ventana para probar si las computadoras pueden superar a los humanos. De estas ideas han surgido algoritmos que buscan solucionar problemas a través de diferentes estrategias. En este artículo se estudiaron los algoritmos de minimax y alfa-beta, su definición, funcionalidad y complejidad. Estos algoritmos se implementaron en la emulación del juego de Lara Croft Go, que fue programado en el lenguaje de Java utilizando el IDE de NetBeans. La aplicación consiste en un juego donde un humano se enfrenta a una IA que fue programada con ambos algoritmos y se define por diferentes factores, quien es el mejor resolviendo el juego. La recolección de los datos es definida por los movimientos que realice cada algoritmo para completar los niveles y la cantidad de estados que genere en la búsqueda de la solución. Basados en los datos recopilados durante la ejecución de los algoritmos, se demuestra que el algoritmo más eficiente en la búsqueda de la solución de los niveles implementados es el algoritmo de búsqueda Alfa-Beta, ya que genera menos estados, por lo tanto, evalúa menos nodos y llega a una solución en un tiempo menor que el algoritmo de búsqueda Minimax.

Palabras clave Algoritmo Alfa-Beta, algoritmo de búsqueda, algoritmo Minimax, inteligencia artificial, juegos de estrategia.

Abstract Strategy games have always been very liked by people. Games such as chess and checkers, to mention a few that are widely played, have created rivalry between players and have even become sports played by professionals. With the rise of artificial intelligence, a new window opens to test whether computers can outperform humans. From these ideas, algorithms have emerged that seek to solve problems through different strategies. In this article, the minimax and alpha-beta algorithms, their definition, functionality and complexity were studied. These algorithms were implemented in the emulation of the Lara Croft Go game, which was programmed in the Java language using the NetBeans IDE. The application consists of a game where a human faces an AI that was programmed with both algorithms and is defined by different factors, who is the best solving the game. Data collection is defined by the movements that each algorithm makes to complete the levels and the number of states it generates in the search for the solution. Based on the data collected during the execution of the algorithms, it is shown that the most efficient algorithm in finding the solution of the implemented levels is the Alpha-Beta search algorithm, since it generates fewer states, therefore, it evaluates less nodes and reaches a solution in less time than the Minimax search algorithm.

Keywords Alpha-Beta algorithm, search algorithm, Minimax algorithm, artificial intelligence, strategy games.

* Corresponding author: jose.castillo33@utp.ac.pa

1. Introducción

La teoría de juegos estudia las intervenciones y decisiones que toman los demás personajes, donde el principal debe reconocer esto para que tenga éxito. También se le conoce como un "concepto de solución" donde eligen sus estrategias para maximizar las posibilidades de ganar.

Un ejemplo de esta teoría es cuando usamos la lógica siempre que interactuamos con otra persona, por ejemplo: cuando estamos en una pizzería y queda el ultimo trozo de esta, debemos elegir en si quedarnos con este último trozo o dejar que la otra persona lo tome.

En esta teoría no debemos preguntarnos qué haremos después, sino, debemos preguntarnos qué haremos dependiendo y teniendo en cuenta lo que pensamos que pueden hacer los demás y ellos actuaran según lo que piensen que pueda ser nuestro siguiente movimiento. Nash revolucionó la toma de decisiones en la teoría de juegos y en la economía, donde se estudia las tomas de decisiones e interacciones en

https://doi.org/10.33412/rev-ric.v6.2.2897

donde se conoce como estructuras formalizadas en incentivos.

En el estudio matemático, la teoría de juegos no se ha utilizado solamente en la economía y decisiones empresariales, sino también en la psicología, política, estrategia e incluso, en biología y para ganar al póker. En la representación de esta teoría se suelen usar matrices y árboles de decisiones para comprender como es que de un punto se llega a otro. Pero también los juegos pueden ser resueltos haciendo uso de las matemáticas, por lo que deben ser bastante complejas para encontrar la profundidad.

Existen dos tipos de algoritmos de búsqueda: El primero es la búsqueda ciega o que sólo usa información acerca de si el estado que se está evaluando es o no un estado valido para poder seguir con la búsqueda. El segundo tipo de algoritmo son las búsquedas heurísticas: Estas son lo contrario del método de búsqueda a ciega, donde usan información adicional para realizar sus búsquedas. Para hacer más eficiente este tipo de algoritmo, este hace uso de predicciones del costo para poder alcanzar el estado final o estado meta, esta función que hace todo esto es la heurística.

El objetivo de este artículo es conocer la eficiencia de los algoritmos de búsqueda a través de la comparación de estos en problemas de videojuegos de estrategia.

2. Teoría de juegos

La teoría de juegos estudia las decisiones que tiene un individuo para que tenga éxito de acuerdo con las decisiones que tomen los otros individuos en determinada situación.

Viendo esta definición de la teoría de juegos, podemos definirla como una serie de algoritmos, donde los sujetos, dependiendo del escenario, toman decisiones teniendo en cuenta las elecciones de los demás para poder acertar y llegar a la meta que lo beneficie.

Dentro de lo conocido, “juego”, se define como cualquier estructura en la que se pueden ofrecer recompensas o incentivos preestablecidos, donde implica a varias personas u otros entes racionales, como las inteligencias artificiales o los animales. De modo descendiente, podríamos librar que los juegos son similares a los conflictos.

Siguiendo esta observación, los juegos aparecen constantemente en la vida cotidiana. Así, la teoría de juegos no es únicamente una manera de adivinar el porte de las personas que participan en un problema, esta es útil también para examinar la justa de precios entre dos tiendas que están en la misma calle, así como para muchas otras situaciones.

La teoría de juegos como despacho numeral no se ha utilizado solamente en los juegos, sino también se ha utilizado en la gestión, estrategia, psicología y también en biología [1].

La teoría del juego presenta los siguientes aportes clave:

- La teoría del juego sirve para comprender situaciones sociales entre personajes en competencia y producir la elección de la decisión óptima de personajes independientes y en competencia en un entorno estratégico.
- Muchos de los escenarios incluyen el dilema del prisionero y el juego del dictador, entre muchos otros.
- Se pueden establecer escenarios del mundo real usando la teoría de juegos, en donde existan situaciones como la competencia de precios, el lanzamiento de productos entre otras para predecir sus resultados.

Ejemplos de la teoría del juego:

- El dilema del prisionero: Dos personas son arrestadas, encarceladas y se les fija la fecha del juicio. El fiscal del caso habla con cada prisionero por separado y les presenta una oferta: Si no confiesa y su socio lo hace, será condenado a 20 años y su socio quedará libre. Si ambos confiesan, serán condenados a 5 años de prisión. Si ninguno confiesa, serán condenados a un año de prisión [2].
- El dilema del voluntario: Existe una empresa en la que el fraude contable es desenfrenado, aunque el personal principal no sabe. Algunos empleados del departamento de contabilidad son conscientes del fraude, pero dudan en decírselo al personal principal porque eso daría lugar a que los empleados implicados en el fraude fueran despedidos y muy probablemente enjuiciados. Y si no se hace nada, daría lugar a la quiebra de la empresa y la pérdida de todos los puestos de trabajo.

2.1 Equilibrio de Nash

La teoría de juegos inicia con el estudio de Antoine Augustin Cournot sobre un duopolio con el cual se logra obtener a una versión reducida del equilibrio del Nash, alcanzando lentamente el nivel adecuado de precios y producción. Posterior a esto se puede decir que el fundador formal de la teoría de juegos fue el matemático John Von Neuman [3].

Algunos economistas han tenido el honor de darles el Premio Nobel de Economía por sus trabajos sobre la teoría de juegos. Entre estos destaca Nash, conocido por una película titulada “Una mente maravillosa” y es por eso, que en el equilibrio de Nash es dónde se basan muchas conclusiones en las que se han tomado sobre teoría de juegos aplicada a la vida real.

El equilibrio de Nash es un estado de un resultado en el cual se puede alcanzar, pero cuando se alcanza, ningún jugador puede aumentar la recompensa cambiando las decisiones que ha tomado. También se puede mencionar como “sin arrepentimiento” es decir, cuando la decisión está tomada, el jugador no se arrepentirá de las decisiones que consideren como consecuencias [4].

2.2 Algoritmos de búsqueda con adversarios

En la teoría de juegos se encuentran los algoritmos Minimax y Alfa-Beta, en donde, podemos ver la teoría de juegos como una serie de algoritmos, donde los sujetos dependiendo del escenario, toman decisiones teniendo en cuenta las elecciones de los demás para poder acertar y llegar

a la meta que lo beneficie. Por lo que, estos dos algoritmos hacen referencia a esta teoría [5].

2.2.1 Minimax

Este algoritmo es el más conocido y utilizado para problemas con exactamente dos competidores, donde hay información perfecta y movimientos alternos, es decir, "después de mí, sigues tú". Este algoritmo identifica a cada jugador como, jugador MAX y jugador MIN. MAX es el jugador que inicia el juego, para entenderlo mejor, supondremos que MAX somos nosotros, y marcaremos como nuestro objetivo encontrar el conjunto de movimientos que proporcionen nuestra victoria, independientemente de lo que haga el jugador MIN [6]. En la figura 1 podemos observar el funcionamiento del algoritmo en un árbol.

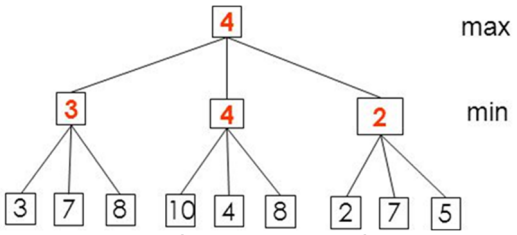


Figura 1. Ejemplo de ejecución del algoritmo de búsqueda Minimax.
Fuente: https://slideplayer.es/slide/1681515/.

2.2.2 Poda Alfa-Beta

Este algoritmo es una técnica mejorable sobre el algoritmo Minimax, donde un punto clave de este algoritmo que debemos tener en cuenta es que, cuanto más profunda sea la exploración, mejor será la toma de decisión sobre la jugada que debemos tomar. Para juegos donde el árbol tiene ramificaciones muy extensas, será de gran ayuda, ya que el cálculo necesario para algunas decisiones será prohibitivo. Por lo que es factible usar poda Alfa-Beta para obviar caminos innecesarios, para así no visitarlos y compararlos, pero para una mejor eficiencia de este algoritmo, se sugiere utilizar heurísticas [6]. En la figura 2 podemos observar el funcionamiento del algoritmo, la línea roja indica la poda del árbol.

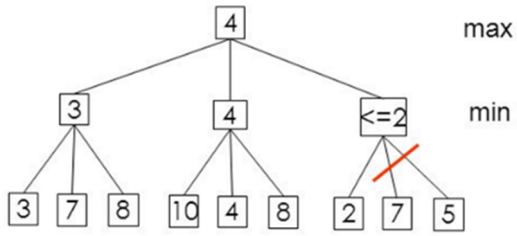


Figura 2. Ejemplo de ejecución del algoritmo de búsqueda Alfa-Beta.
Fuente: https://slideplayer.es/slide/1681515/.

3. Marco metodológico

Tomando en cuenta las informaciones anteriores es importante mencionar que esta investigación es de tipo experimental, debido a que se desarrollaron pruebas experimentales de los algoritmos, en estas pruebas se evaluaron las soluciones presentadas por cada algoritmo y se determinó la mejor solución.

En el caso del juego que se implementó fue crucial realizar una investigación experimental, que consistió en probar el juego, familiarizarse con él, conocer las reglas, técnicas y métodos que se emplean para alcanzar la victoria. De este modo al momento de implementar el juego solo hizo falta tomar en cuenta cada uno de estos conocimientos y llevarlos a ejecución.

La muestra es de hecho no probabilística, se ha elegido este tipo de muestra ya que la población, se definió como el juego que buscamos emular, debemos saber que cada partida completa debe durar máximo 1 minuto por lo que se pensó y se decidió la creación de tres niveles, en cada uno se llevaría a cabo las jugadas del humano y de la inteligencia artificial, para al final demostrar los resultados.

La recolección de los datos se llevó a cabo tomando en cuenta la cantidad de movimientos que realice el usuario o la inteligencia artificial, se evaluó y se determinó mediante estos, quien terminó la partida con un costo de movimientos menor, esta recolección de datos se evalúa al final del juego, mostrando una tabla comparativa de cada nivel jugado en ella, de igual manera se puede ver la serie de movimientos que realizó cada jugador, el propósito no es ver quien gane, ya que ambos logran cumplir el objetivo de finalizar el juego, pero aquel que logró encontrar la meta utilizando la ruta más eficiente, este es quien tiene la victoria.

La segunda recolección de datos que se llevó a cabo es la cantidad de estados que genera cada algoritmo, esto define el tiempo en que los algoritmos logran encontrar los estados finales y las rutas adecuadas a seguir.

4. Desarrollo de la aplicación

Desarrollar la aplicación propuso un reto difícil, ya que no solo es desarrollar la aplicación que lograra resolver los niveles extraídos del juego, sino que también debía poder ser jugado por un humano, todo cumpliendo, además, con las reglas del juego que se seleccionó para realizar las pruebas, en este caso el juego escogido fue Lara Croft Go, el cual cuenta con reglas diversas y en cada nivel se eliminan y agregan reglas nuevas.

Desarrollar la aplicación era fundamental para llevar a cabo el análisis de los algoritmos y compara los resultados, pero antes de desarrollar la aplicación se debió realizar un análisis a fondo del problema, el cual explicaremos en la siguiente sección.

4.1 Análisis del problema

Para llevar a cabo un adecuado análisis del problema se debe fraccionar, es decir, descomponer en pasos más sencillos para que se pueda analizar de mejor manera. Se fraccionó el problema en las siguientes series de puntos:

- Estado inicial: los estados iniciales corresponden a cada uno de los niveles que se implementaron en la

aplicación, cada nivel cosiste en un puzle distinto extraído del juego seleccionado.

- Operadores: los tres niveles cuentan con operadores en común y algunos operadores distintos, los cuales se explicarán a continuación:
  - Operadores en común: los tres niveles cuentan con cuatro operadores común, estos consisten en los movimientos que puede realizar el personaje, subir, bajar, ir a la derecha e ir a la izquierda.
  - Operadores del nivel 1: este nivel cuenta con un operador propio el cual consiste en una serpiente, la cual mira hacia una dirección específica y si el personaje se mueve al cuadrante del mapa que está frente a ella, esta atacará al personaje y se pierde la partida.
  - Operador del nivel 2: este nivel cuenta con dos operadores, el primero es una grieta, la cual se debilita con cada pasada sobre ella, es decir, solo se puede pasar una vez sobre ella y a la segunda vez que se trata de pasar sobre ella el personaje cae y pierde la partida. El segundo operador es un lagarto, el cual, al llegar a un punto del mapa a dos cuadrantes frente a él, este persigue al personaje y si llega a estar a un cuadrante en frente al lagarto, este atacará al personaje y se pierde la partida.
  - Operador del nivel 3: los operadores de este nivel consisten en dos arañas, cada una de ellas se mueve en una columna específica del mapa, suben y bajan sin parar, si el personaje se posiciona un cuadrante frente a una de estas arañas, atacarán al personaje y se pierde la partida.
- Costo de la ruta: el costo de la ruta es el valor correspondiente a cada estado, -1 si es estado es de pérdida o 1 si es estado es de ganancia.
- Meta: la meta de todos los niveles implementados corresponde a un estado final en el que el personaje se posicione en el cuadrante meta, atravesando todo el mapa sin perder.
- Ruta al espacio de estado: la ruta del espacio de estado, serán todos los movimientos que haya tenido que realizar el personaje para llegar desde el estado inicial hasta el estado nuevo.
- Espacio de estado: el espacio de estado está formado por cada uno de los estados que se hayan generado a partir del estado inicial a través del movimiento del personaje a través del mapa.
- Solución: la solución a los tres niveles que se han implementado corresponde a un estado final, en el cual el personaje se posicione en el cuadrante meta del mapa.

4.2 Implementación del juego

La aplicación que se desarrolló incluye tres niveles extraídos del juego Lara Croft Go, cada nivel consiste en un puzle que puede ser resuelto tanto por un humano como por los dos algoritmos de búsqueda. Al inicio de la aplicación se presenta una pantalla donde se selecciona el algoritmo que se desea utilizar. Los niveles del juego de los cuales se extrajeron los mapas de la aplicación son los siguientes:

- Nivel 1: el mapa del nivel 1 de la aplicación (ver figura 3) fue extraído del nivel 1 del primer libro del juego (ver figura 4).

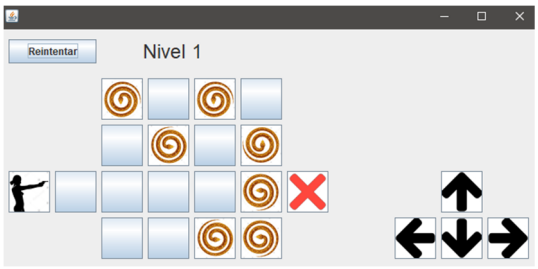


Figura 3. Mapa del nivel 1 de la aplicación.

Figura 4. Nivel 1 del primer libro del juego Lara Croft Go.
Fuente: Juego Lara Croft Go.

- Nivel 2: el mapa del nivel 2 de la aplicación (ver figura 5) fue extraído del nivel 8 del primer libro del juego (ver figura 6).

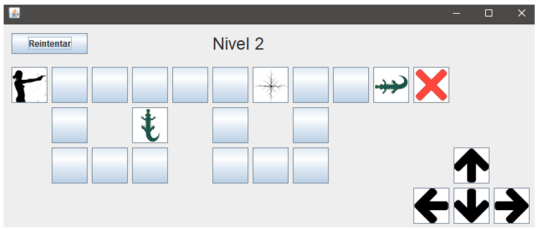


Figura 5. Mapa del nivel 2 de la aplicación.

Figura 6. Nivel 8 del primer libro de juego Lara Croft Go.
Fuente: Juego Lara Croft Go.

- Nivel 3: el nivel tres de la aplicación (ver figura 7) fue

extraído del nivel 1 del libro 2 del juego (ver figura 8).

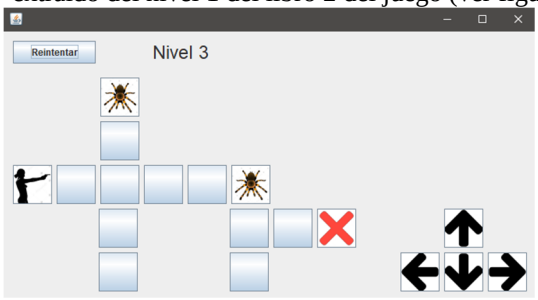


Figura 7. Mapa del nivel 3 de la aplicación.

Figura 8. Nivel 1 del segundo libro del juego Lara Croft Go.
Fuente: Juego Lara Croft Go.

5. Análisis de los resultados

Los datos que se analizarán en esta sección son recolectados durante la ejecución de la aplicación y se muestran al final de la ejecución en una ventana (ver figura 9). Esta ventana consta de tres columnas de datos, la primera corresponde a la cantidad de pasos que realizó el humano para llegar al estado final, la segunda corresponde a la cantidad de pasos que realizó el algoritmo seleccionado para llegar al estado final y la tercera columna corresponde a la cantidad de estados que generó el algoritmo durante el proceso de búsqueda. Para llevar a cabo el análisis de los resultados solo se utilizarán los datos de los algoritmos, por lo tanto, los datos obtenidos de los humanos se ignorarán.

Figura 9. Ventana en donde se muestran los resultados al final de la ejecución de la aplicación.

La tabla 1 que se muestra a continuación contiene los datos recolectados durante la ejecución del algoritmo de búsqueda Minimax. Estos datos serán con los que se lleve a cabo la comparación de la eficiencia de los algoritmos.

Tabla 1. Datos recolectados durante la ejecución del algoritmo Minimax

Nivel	Cantidad pasos realizados por el algoritmo	Cantidad de estados generados por el algoritmo
1	20	1400
2	38	2553
3	10	721

La tabla 2 contiene los datos recolectados durante la ejecución del algoritmo de búsqueda Alfa-Beta. Estos datos junto con los datos recolectados en la tabla anterior serán utilizados en la comparación de la eficiencia de los algoritmos.

Tabla 2. Datos recolectados durante la ejecución del algoritmo Alfa-Beta

Nivel	Cantidad pasos realizados por el algoritmo	Cantidad de estados generados por el algoritmo
1	20	791
2	38	2155
3	10	607

5.1 Análisis de los datos

En esta sección se compara la cantidad de pasos realizados para llegar a la meta y la cantidad de estados generados por los algoritmos para llegar a la meta.

En la siguiente figura se comparan la cantidad de pasos realizados por los algoritmos para resolver cada nivel (ver figura 10). Como se puede observar, ambos algoritmos realizaron la misma cantidad de pasos para llegar desde el estado inicial hasta el estado final. Esto sugiere que ambos algoritmos encontraron la misma ruta para llegar al estado final.

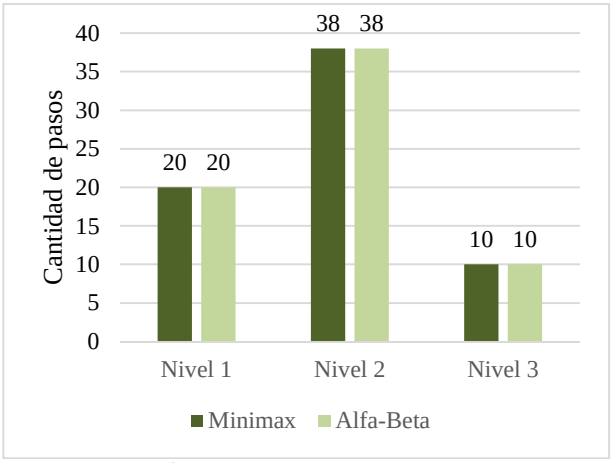


Figura 10. Comparación de la cantidad de pasos realizados por los algoritmos para resolver cada nivel.

En la siguiente figura podemos observar la comparación de la cantidad de estados generados por los algoritmos durante la búsqueda de la solución de cada nivel (ver figura 11), se puede ver que el algoritmo de búsqueda Alfa-Beta generó una menor cantidad de estados para llegar a la solución del problema.

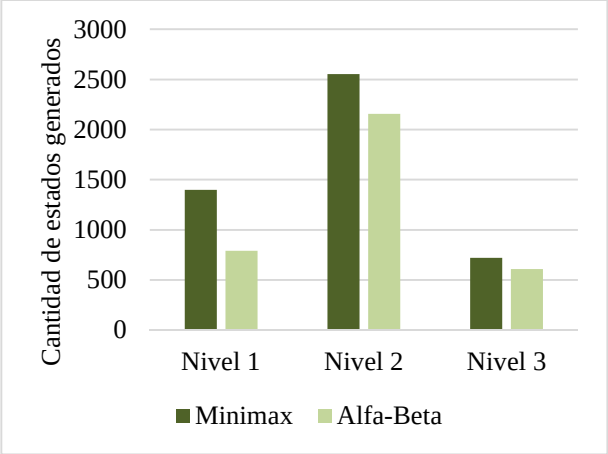


Figura 11. Comparación de la cantidad de estados generados por los algoritmos para resolver cada nivel.

En la siguiente tabla se comparan el promedio de pasos realizados por cada algoritmo para llegar a la solución (ver tabla 3). Como se puede observar, el promedio de pasos de cada algoritmo es el mismo, esto nos sugiere que ambos algoritmos siguieron la misma ruta al estado final, sin importar la cantidad de estados que hayan generado en la búsqueda de la ruta.

Tabla 3. Comparación del promedio de pasos realizados por cada algoritmo

Algoritmo	Promedio de pasos realizados
Minimax	22.7
Alfa-Beta	22.7

En la tabla 4 se puede ver el promedio de estados generados por cada algoritmo en la búsqueda del estado final. Se observa que el promedio de estados generados por el algoritmo de búsqueda Alfa-Beta es mucho menor. En otras palabras, el algoritmo de búsqueda Alfa-Beta generó en promedio 373.7 menos estados que el algoritmo de búsqueda Minimax, lo que nos sugiere que el algoritmo de búsqueda Alfa-Beta es más eficiente que el algoritmo de búsqueda Minimax.

Tabla 4. Comparación del promedio de estados generados por cada algoritmo

Algoritmo	Promedio de estados generados
Minimax	1558
Alfa-Beta	1184.3

5.2 Análisis de confiabilidad

Para analizar la confiabilidad de los resultados mostrados en la sección anterior, se utilizará el coeficiente Alfa de Cronbach, con el cual se obtendrá un valor que dirá si los resultados mostrados son confiables o no.

Para el cálculo del coeficiente Alfa de Cronbach se utilizarán los datos de la tabla 5, los cuales son los datos obtenidos de la ejecución de los algoritmos y los demás datos necesarios para el cálculo del coeficiente.

Tabla 5. Datos utilizados en el cálculo del coeficiente Alfa de Cronbach

Algoritmo	Nivel			Suma
	1	2	3	
Minimax	1400	2553	721	4674
Alfa-beta	791	2155	607	3553
Varianza	185440.5	79202.0	6498.0	628320.5
Suma de la varianza	271140.50			

La ecuación 1 es la utilizada para calcular el coeficiente Alfa de Cronbach.

$$\alpha = \frac{K}{K-1}\left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2}\right] \quad (1)$$

Donde:

- K: Número de ítems
- S_i^2: Sumatoria de varianzas de los Ítems
- S_t^2: Varianza de la suma de los Ítems
- α: Coeficiente de Alfa de Cronbach

Para nuestro cálculo utilizaremos los siguientes valores:

- K: 3
- Si2: 271140.50
- St2: 628320.50

Al introducir los valores mostrados con anterioridad a la fórmula se obtiene que el coeficiente Alfa de Cronbach es igual a 0.85, por lo tanto, se puede decir que la confiabilidad de los resultados mostrados en la sección anterior es buena, en otras palabras, los resultados son confiables.

6. Conclusiones

Como sabemos, el algoritmo Minimax es un método de decisión para minimizar la pérdida en juegos con adversario y así poder potenciar las posibilidades de ganar con información perfecta. Minimax es un algoritmo recursivo y se puede decir que elige el mejor movimiento para ti, suponiendo que tu contrincante escogerá el peor para ti. Este algoritmo aunque es efectivo, ya que marca el camino que se debe seguir, puede no resultar beneficioso cuando se está comparando con el

algoritmo de Alfa-Beta, ya que, en la optimización de el algoritmo de Minimax, es el uso de la técnica de Poda Alfa-Beta, donde se basa en evitar el cálculo de ramas cuya evaluación final no va a poder superar los valores previamente obtenidos, aunque el algoritmo de Alfa-Beta siendo una mejora directa del Minimax.

En esta comparación, con el algoritmo Minimax, el algoritmo Alfa-Beta poda los estados que considera innecesarios evaluar, ahorrando tiempo y espacio de memoria sin recorrer aquellos estados, y de esta manera obtiene el resultado en un corto tiempo. Es por esto, por su eficiencia y corto tiempo de ejecución en comparación con el Minimax, que lo señalamos como el algoritmo que soluciona de mejor manera y logra cumplir el objetivo. Sabiendo esto, se puede concluir que implementando la técnica Poda Alfa-Beta en el algoritmo de búsqueda Minimax, este funcionará de manera más eficiente y rápida que cuando no se aplica.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Tecnológica de Panamá por brindar las herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación y por incentivar a los estudiantes escribir artículos que pueden ayudar a otros estudiantes a conocer más sobre distintos temas. También se le agradece al profesor Nicholas Béliz por motivarnos a escribir artículos que sirven como evidencia de los conocimientos que adquirimos durante nuestra carrera universitaria y que nos pueden ayudar en la vida profesional a sobre salir de un grupo.

REFERENCIAS

[1] I. Gutiérrez, «Muy Financiero,» 11 Septiembre 2001. [En línea]. Available: http://www.muyfinanciero.com/conceptos/teoria-de-juegos/. [Último acceso: 2 Julio 2020].

[2] C. Stokel-Walker, «BBC,» 24 Mayo 2015. [En línea]. Available: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/02/150220_teoria_de_juegos_que_es_finde_dv. [Último acceso: 2 Julio 2020].

[3] J. Navarro, «El Blog Salmon,» 11 Mayo 2011. [En línea]. Available: https://www.elblogsalmon.com/conceptos-de-economia/que-es-la-teoria-de-juegos. [Último acceso: 2 Julio 2020].

[4] A. Hayes, «Investopedia,» 15 Junio 2019. [En línea]. Available: https://www.investopedia.com/terms/g/gametheory.asp. [Último acceso: 2 Julio 2020].

[5] F. S. Caparrini, «Fernando Sancho Caparrini,» 24 Octubre 2019. [En línea]. Available: http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=107. [Último acceso: 2 Julio 2020].

[6] P. A. Fruto, «Ccomputer Science Department,» 12 Junio 2008. [En línea]. Available: https://www.cs.upc.edu/~bejar/ia/material/trabajos/Algoritmos_Juegos.pdf. [Último acceso: 2 Julio 2020].

[7] Google, «Sites Google,» 12 Septiembre 2010. [En línea]. Available: https://sites.google.com/site/portafolionetbeans/que-es-netbeans. [Último acceso: 2 Julio 2020].

[8] Junta de Andalucia, «Junta de Andalucia,» 2 Diciembre 2016. [En línea]. Available: http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/02122016/a5/es-an_2016120212_9131705/34_colas.html. [Último acceso: 2 Julio 2020].

[9] I. d. P. Centen, «Xerindia,» 13 Febrero 2019. [En línea]. Available: https://www.xeridia.com/blog/el-papel-de-la-inteligencia-artificial-en-la-actualidad. [Último acceso: 2 Julio 2020].

[10] C. Ciuraneta, «MeriStation,» 4 Julio 2017. [En línea]. Available: https://as.com/meristation/2015/08/28/analisis/1440712800_148233.html. [Último acceso: 2 Julio 2020].

[11] Jarkendia, «Vida Extra,» 23 Diciembre 2016. [En línea]. Available: https://www.vidaextra.com/analisis/analisis-de-lara-croft-go-espejito-espejito-quien-es-la-mas-lista. [Último acceso: 2 Julio 2020].

Evaluación de la eficiencia del coagulante SuperFloc SD 2080 frente al cloruro férrico en procesos de clarificación de agua

Evaluation of the efficiency of the SuperFloc SD 2080 coagulant versus ferric chloride in water clarification processes

Anel Alcedo[1], Jesús Bravo[1], Kelly Castrejo[1], Guillermo Herrera[1], Mayte Sánchez[1], Thaily Valencia[1], Erick Vallester[2]*
[1]Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá;
[2]Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen En esta evaluación se estudió los coagulantes cloruro férrico y SuperFloc SD 2080, con el objetivo de comparar su efectividad en los procesos de clarificación de agua. Se realizó el estudio con diferentes dosis de coagulante: 3 ml, 5 ml, 6 ml, 7 ml, 8 ml y 10 ml, sometiéndolas a los procesos de floculación, coagulación y sedimentación. También se realizaron pruebas de jarras, prueba de sedimentación con Cono Imhoff y la prueba de columna de sedimentación. Para determinar la eficiencia de los coagulantes estudiados para la prueba de jarras, las dosis utilizadas fueron: 5 ml por cada dos litros para el cloruro férrico y 6 ml por cada dos litros para el SuperFloc SD2080. Con la prueba de columna de sedimentación, los resultados fueron determinados mediante la curva de porcentaje de isoremoción. La prueba de columna de sedimentación se realizó en dos intervalos de tiempo, en donde los dos primeros intervalos, fueron de cinco minutos y los demás intervalos consiguientes fueron de cada diez minutos hasta llegar a los 120 minutos. Para un tiempo calculado de 57 minutos, los resultados de porcentaje de remoción para el cloruro férrico fueron de 83 % y 37% para el SuperFloc SD 2080, lo que indica que el coagulante de cloruro férrico fue más eficiente para la remoción de sólidos suspendidos en el agua.

Palabras clave Clarificación, coagulación, coagulante, dosis óptima, floculación, índice de lodos, sedimentación.

Abstract In this evaluation, the coagulants ferric chloride and SuperFloc SD 2080 were studied, with the aim of comparing their effectiveness in water clarification processes. The study was carried out with different doses of coagulant: 3 ml, 5 ml, 6 ml, 7 ml, 8 ml, and 10 ml, subjecting them to flocculation, coagulation, and sedimentation processes. Jar tests, Imhoff cone settling tests, and settling column tests were also performed. To determine the efficiency of the coagulants studied for the jar test, the doses used were: 5 ml per two liters for ferric chloride and 6 ml per two liters for the SuperFloc SD2080. With the sedimentation column test, the results were determined by the isoremoval percentage curve. The sedimentation column test was carried out in two-time intervals, where the first two intervals were five minutes and the other intervals consequently were every ten minutes until reaching 120 minutes. By the time of 57 minutes, the percentage removal results of the coagulants were 83% for ferric chloride and 37% for the SuperFloc SD 2080, which indicates that the ferric chloride was more efficient for the removal of suspended solids in water.

Keywords Clarification, coagulation, coagulant, optimal dose, flocculation, sludge index, sedimentation.

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

1. Introducción

A lo largo de la historia, el agua siempre ha sido una necesidad básica del hombre y de bienestar general en el mejoramiento de la calidad de vida de la población.

Para que el agua pueda ser utilizada para diversas actividades, entre ellas para el consumo humano, es necesario un tratamiento, el cual puede abarcar las fases de coagulación, floculación, sedimentación, etc. [1].

La coagulación es el tratamiento más eficaz para la eliminación de material coloidal en el agua y también puede representar un gasto elevado cuando no se realiza adecuadamente [2].

La floculación es el proceso mediante el cual se juntan las partículas desestabilizadas o coaguladas para formar un aglomerado más grande llamado flóculo y se debe a un mecanismo de formación de puentes químicos o enlaces físicos [2].

La sedimentación de flóculos o decantación es el proceso de depósito de partículas floculentas. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como

proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida [3].

Los coagulantes más comunes que se usan en el tratamiento de aguas son compuestos inorgánicos de aluminio o hierro como el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, sulfato ferroso, sulfato férrico y cloruro férrico [4].

El SuperFloc SD 2080 puede ser utilizado como parte del proceso de coagulación, debido a que ayuda en la sedimentación con coagulantes inorgánicos y orgánicos. También en la clarificación del agua, ya que mejora la calidad del agua del influente y efluente por reducción de sólidos suspendidos y turbidez [5].

El cloruro férrico se utiliza en el tratamiento de aguas residuales y en la producción de agua potable. Es un tratamiento de agua usado debido a su capacidad de reaccionar en el agua a una solución corrosiva y ácida [6].

Su elevado poder de floculación lo destaca como un muy eficiente coagulante en el tratamiento del agua potable y de efluentes sanitarios e industriales, y su habilidad para coagular en un amplio rango de pH lo convierte en una herramienta de mayor utilidad que otros productos químicos utilizados con los mismos propósitos.

Es especialmente utilizado para la remoción del fósforo y del sulfuro en efluentes tanto industriales como saneamiento [7].

El siguiente artículo se basa en los coagulantes SuperFloc SD 2080 y cloruro férrico (FeCl3) con el objetivo de comparar cuál de estos dos es el más efectivo.

2. Metodología y equipo

Esta evaluación se llevó a cabo en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

Para la preparación del agua cruda se pesaron 28 gr de suelo, el cual previamente pasó por un tamiz N.°200. Luego en un tanque con 14 L de agua potable se vertió la muestra de suelo arcilloso, se mezcló por 5 min y se dejó sedimentar durante 15 min para evitar que partículas de arena intervinieran en el proceso de floculación.

La determinación de la dosis óptima se basó en tres pruebas que fueron: prueba de jarras, prueba de sedimentación (Cono Imhoff) y la columna de sedimentación. El gradiente de velocidad se obtuvo mediante el ancho de la paleta 7.5 cm a 140 RPM por 3 min, 40 RPM por 15 min y 0 RPM por 15 min.

Tabla 1. Gradiente de velocidad

Mezcla rápida	Floculación	Sedimentación
140 RPM	40 RPM	0 RPM
130.78 S^{-1}	20 S^{-1}	0 S^{-1}

2.1 Determinación de la dosis óptima

Se realizó mediante la prueba de jarra con el equipo Phipps &Birds PB-900. Dichas jarras tienen unas dimensiones de 19.5 cm de altura por 11.3 cm de base de ancho y la paleta 7.5 cm ancho de base por 2.5 cm de alto (figura 1), que simulan los procesos de coagulación, floculación y sedimentación con diferentes dosis de coagulante (0 ml, 3 ml, 5 ml, 6 ml, 7 ml, 10 ml). A través de una comparación visual se determinó que la muestra con la dosis óptima era aquella que contenía los flocs de mayor tamaño y con el espectrofotómetro (HACH DR/2010) se midió la turbiedad según el 2120C Método espectrofotométrico y con el medidor de pH (OAHUS STARTER 2100) se determinó el pH [8].

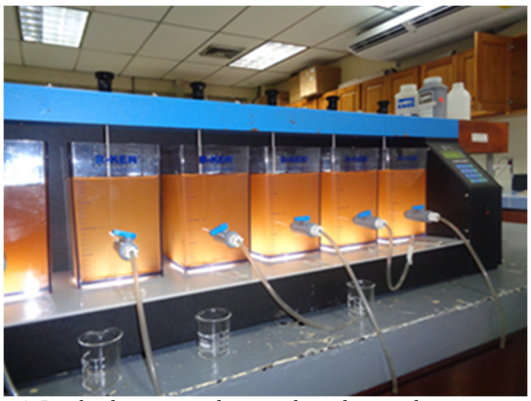


Figura 1. Prueba de jarra con distintas dosis de coagulante.

2.2 Prueba de sedimentación

Se utilizó el Cono Imhoff de plástico con las siguientes descripciones: 10 cm de diámetro y 1 L de capacidad de volumen.

Para evaluar el índice de volumen de lodos, previamente, se realizó la comparación de las dos dosis más efectivas, que, a nuestro criterio, presentaron mayor concentración de floc sedimentadas en las jarras. Posteriormente se evaluó el índice de volumen de lodo teniendo en cuenta la menor concentración de lodos sedimentadas en los conos.

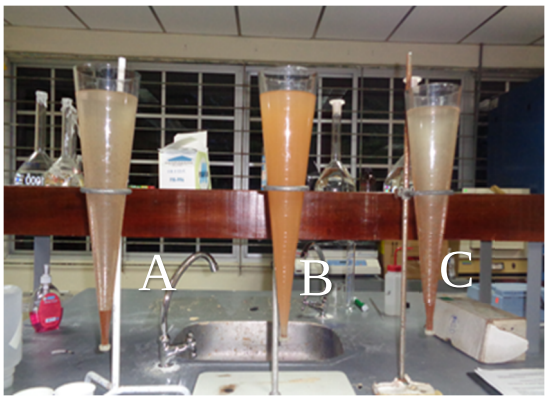


Figura 2. Prueba de sedimentación con coagulante SuperFloc SD 2080 A) Dosis 6 ml, B) Agua Cruda, C) Dosis 5 ml.

2.3 Columna de sedimentación

Para la prueba de sedimentación tipo II se utilizó la columna de sedimentación de material acrílico con dimensiones de 10 cm de diámetro y 120 cm de alto. Se tomaron cuatro muestras simultáneamente, a diferentes alturas (0.3 m, 0.5 m, 0.7 m, 0.9 m), en diversos intervalos de tiempos de la siguiente manera: a 0 min, a 5 min y a 10 min completando 120 min en total; los datos obtenidos nos ayudaron a determinar el coagulante que remueve más sólidos suspendidos, mediante la curva de porcentaje de isoremoción.

Una vez terminado la medición de la turbiedad (HACH DR/2010) [8], para diversos tiempos y profundidades de ambos coagulantes se procedió a calcular los porcentajes de concentraciones de sólidos suspendidos, por medio de la ecuación 1.

$$\%SS = \frac{C_o - C_1}{C_o} x\ 100\% \qquad \textbf{(1)}$$

Ecuación 1. Porcentaje de concentración.
Fuente: Libro Potabilización del agua de Jairo Alberto Romero Rojas.

Finalmente, se encontró el porcentaje de remoción de ambos coagulantes por medio la ecuación 2.

$$\%\ \text{Remoción} = \frac{\Delta h_1}{H} X \frac{R_1 + R_2}{2} + \frac{\Delta h_2}{H} X \frac{R_2 + R_3}{2} + \cdots R_n + R_{n+1} \qquad \textbf{(2)}$$

Ecuación 2. Porcentaje de remoción.
Fuente: Libro Potabilización del agua de Jairo Alberto Romero Rojas.

3. Resultados

Este resultado se obtuvo mediante la comparación de diferentes dosis de coagulantes comunes usados en la clarificación del agua como SuperFloc SD 2080 y cloruro férrico.

3.1 Dosis del coagulante

Para ambos coagulantes se determinó la dosis óptima con los valores de turbiedad más bajos de la prueba de jarra (figura 3) y a través de una comparación visual de la muestra que contenía flocs de mayor tamaño.

Observando la gráfica de la figura 3, podemos determinar que el valor más bajo de la turbiedad obtenida del SuperFloc SD 2080 fue de 50 NTU que representa al coagulante agregado en la jarra número 3, dando como resultado de 5 ml/2L de dosis óptima.

De igual manera el cloruro férrico fue de 10 NTU que representa al coagulante agregado en la jarra número 4, dando como resultado de 6 ml/2 L de dosis óptima.

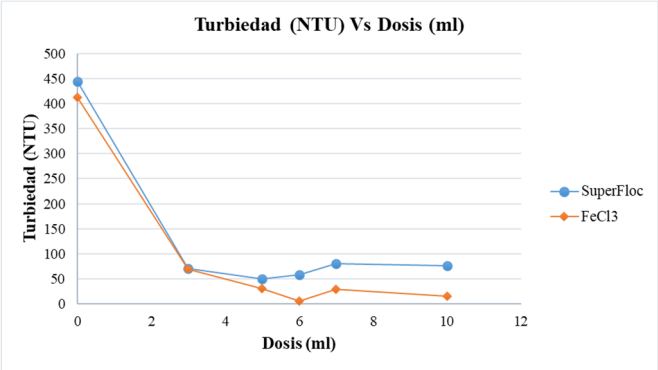


Figura 3. Parámetro de turbiedad.

El índice de volumen de lodos se realizado con Conos Imhoff, para el coagulante de SuperFloc SD 2080 fue que, por cada litro, hay 2.5 ml de sedimento (1 L/2.5 ml). Mientras que para el cloruro férrico por cada litro había 9.0 ml de sedimento (1L/9 ml).

Respecto al porcentaje del lodo en materia, esta dependerá del tipo decantador y coagulantes, estos lodos están formados por las aguas naturales y por sustancias como arcillas, limos o arenas finas.

3.2 Columna de sedimentación

Luego que se calcularon los porcentajes de sólidos suspendidos (ecuación 1) del coagulante SuperFloc SD 2080 para cada tiempo y profundidad de la muestra realizada, se elaboró la curva de Isoremoción (figura 4) mediante la carga superficial de 23 (m^3*m^{-2}*d^{-1}) y un tiempo de 57 min, se pudo obtener el porcentaje de remoción (ecuación 2) de 37.00 %.

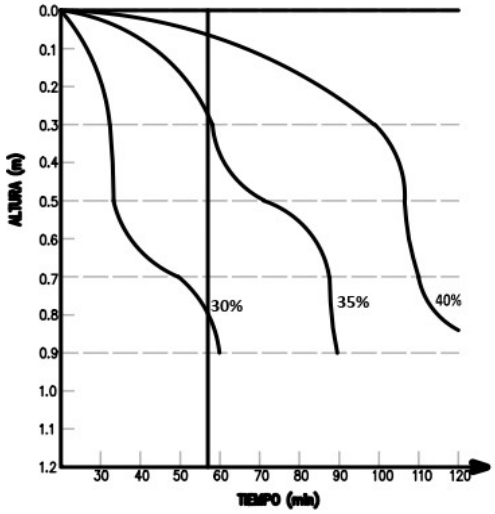


Figura 4. Trayectoria de sedimentación SuperFloc SD2080.

Igualmente se calcularon los porcentajes de sólidos suspendidos (ecuación 1) del coagulante cloruro férrico para cada tiempo y profundidad de la muestra realizada, se elaboró la curva de isoremoción (figura 4) mediante la carga superficial de 23 ($m^3*m^{-2}*d^{-1}$) y un tiempo de 57 min, se pudo obtener el porcentaje de remoción (ecuación 2) de 83.00 %.

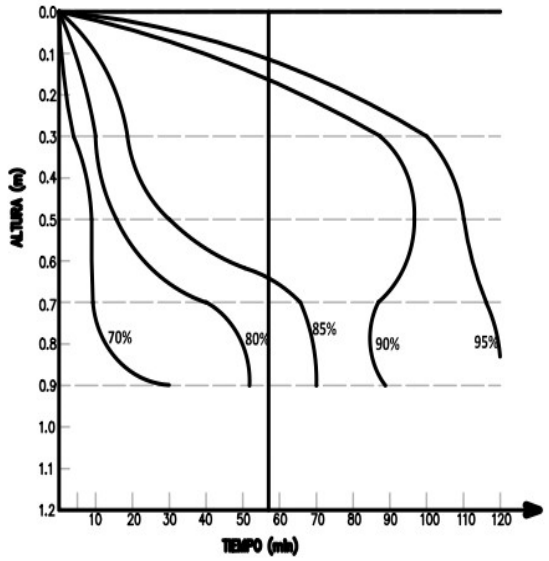


Figura 5. Trayectoria de sedimentación cloruro férrico.

Mediante el cálculo del porcentaje de remoción (ecuación 2) de ambos coagulantes se pudo determinar que el cloruro férrico tiene un mayor porcentaje de remoción de sólidos suspendidos.

3.3 Parámetros físico-química

Con estos resultados se realizaron diversos parámetros para determinar la dosis óptima, en la tabla 2 y tabla 3, se observó el agua cruda versus el coagulante cloruro férrico y SuperFloc SD 2080 respectivamente

Tabla 2. Dosis óptima cloruro férrico

Parámetros	Agua cruda	Cloruro férrico (6 mL/2L)
Conductividad (µS/cm)	142	156
Sólidos suspendidos (mg/L)	289	26
Alcalinidad (mg/L como $CaCO_3$)	58	38
Turbiedad (NTU)	413	10
Color	1350	111
pH	7.13	6.49
T (ºC)	25	24

En la tabla 2 el cloruro férrico a una dosis de 6 ml/2L se obtuvo un aumento en el parámetro de conductividad, mientras que los demás parámetros sólidos suspendidos, pH, alcalinidad, color y temperatura mostraron una disminución en comparación con el agua cruda.

Tabla 3. Dosis óptima SuperFloc SD 2080

Parámetros	Agua cruda	SuperFloc SD 2080 (5 mL/2 L)
Conductividad (µS/cm)	143	146
Sólidos suspendidos (mg/L)	307	75
Alcalinidad (mg/L como $CaCO_3$)	70	58
Turbiedad (NTU)	444	50
Color	1245	228
pH	7,08	6,93
T (ºC)	23,6	24,3

En la tabla 3 el SuperFloc SD 2080 a una dosis de 5 ml/2 L se obtuvo un aumento en el parámetro de conductividad y temperatura, como una disminución en los parámetros de sólidos suspendidos, alcalinidad, turbiedad, color y pH en comparación con el agua cruda.

4. Conclusiones

- Se comprobó que se debe realizar la prueba de jarras, ya que es la más representativa para determinar el comportamiento de los coagulantes en el tratamiento de agua potable para determinar la dosis óptima.
- Se utilizó el parámetro turbiedad, para determinar el porcentaje de remoción, ya que este parámetro fue fácil de medir y no tomaba mucho tiempo.
- Con base en el análisis de los parámetros físico - químico, después de la prueba de jarra, utilizando el coagulante de SuperFloc SD 2080 y cloruro férrico, se concluyó que con el cloruro férrico se obtuvieron mejores resultados al momento de realizar las pruebas, ya que ambos lograron remover el material coloidal presentes en el agua cruda.
- La remoción total resultó en un 37% para SuperFloc SD 2080 y 83% cloruro férrico, con un tiempo de retención de 57 min y una carga superfical de 23 (m^3. $*m^{-2} * d^{-1}$). Lo que indica que el coagulante de cloruro férrico es el que tiene mayor porcentaje de remoción de sólidos suspendidos convirtiéndolo en el coagulante óptimo.

5. Recomendaciones

- Con base a los valores obtenidos en esta evaluación, el coagulante de cloruro férrico sería óptimo para la

remoción de partículas en procesos de tratamiento de agua.

- En casos en que el pH esté en un rango ácido, se le puede agregar hidróxido Sódico (soda caustica) para que llegue a un rango base.

AGRADECIMIENTOS

En la realización y ejecución de esta evaluación participaron personas directas e indirectas que nos ayudaron a realizar este proyecto.

- En primer lugar, al profesor Erick Vallester. Por ser el facilitador principal de esta evaluación, por su orientación y tiempo para el desarrollo de este artículo.
- En segundo lugar, al profesor Cenobio Cárdenas por toda la buena disposición, consejos y orientación en el laboratorio de Sanitaria de la Universidad.
- En tercer lugar, a todos los compañeros que aportaron de su tiempo y conocimiento en esta evaluación.

Figura 7. Equipo de trabajo de evaluación.

REFERENCIAS

[1] Y. A. Cárdenas, «Tratamiento de agua coagulación y floculación,» abril 2000. [En línea]. Available: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154. [Último acceso: 5 junio 2019].

[2] J. M. C. FLÓREZ, «clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxicloruro de aluminio,» DYNA, vol. 78, nº 165, pp. 18-27, 2011.

[3] I. V. M. Yactayo, «Ingeniero Ambienal.com,» [En línea]. Available: http://www.ingenieroambiental.com/4014/siete.pdf. [Último acceso: 11 junio 2019].

[4] N. C. C. Camacho, «Tratamiento de agua para consumo,» Ulima, nº 29, pp. 153-172, 2011.

[5] K. S. SD-2080, «Información Técnica Superfloc,» [En línea]. Available: https://aniq.org.mx/pqta/pdf/Respaldo/SUPERFLOC%20SD2080%20(L).pdf. [Último acceso: 9 junio 2019].

[6] J. L. Moncayo, «cloruro sodio,» 4 marzo 2019. [En línea]. Available: https://www.clorurosodio.com/cloruro-ferrico/. [Último acceso: 9 junio 2019].

[7] Efice, «Efice buena quimica,» [En línea]. Available: https://www.efice.uy/producto/cloruro-ferrico/#. [Último acceso: 9 junio 2019].

[8] APHA-AWWA-WPCF, Métodos normalizado para el análisis de agua potable y residual, España: Editorial Díaz de Santos, S.A., 1992.

Diseño conceptual de sistema alternativo para la estabilización de taludes con neumáticos usados

Conceptual design of alternative system for slope stabilization with used tires

Manuel Isaac Pérez[1], Emmanuel Jiménez[1], Manuel Arcia[1]*
[1]Centro Regional de Panamá Oeste, Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen La corta vida útil de los neumáticos y su mala disposición resulta ser un problema para el medio ambiente. Este artículo propone un diseño conceptual para la retención de taludes con neumáticos usados, arbustos como medida de protección a la erosión y un drenaje francés para el desalojo del agua. Se derivan ecuaciones para definir la geometría del talud con el diseño propuesto y se realizaron ensayos para la caracterización de una muestra de suelo perteneciente a un talud en Capira, Panamá Oeste, siguiendo las normas ASTM. Adicionalmente, se realizó un ensayo a tracción con tiras de neumático usado y se hicieron modelos 3D en el *software* SkecthUp. Los resultados de esta investigación muestran el modelo 3D del muro propuesto, el suelo ensayado que corresponde a un limo elástico con arena; con humedad óptima de 33% y densidad máxima de 13,3 kN/m³, límite líquido y plástico de 63% y 33,7% respectivamente, ángulo de fricción de 22° y cohesión de 36,7 kPa. Con el ensayo a tracción se obtuvo un promedio a rotura de 12,55 kN. También se presenta un Windows Form App para el diseño geométrico del talud y se propone un ensayo a fricción como trabajo futuro.

Palabras clave Ensayos de suelos, ensayo a tracción, Microsoft Excel VBA programador, muro de retención.

Abstract The short life of tires and their poor disposition turns out to be a problem for the environment. This article proposes a conceptual design for the retention of slopes with used tires, shrubs as a measure of protection against erosion and a French drain fort he evacuation of water. Equations are derived to define the geometry of the slope with the proposed design and tests were carried out for the characterization of a soil sample belonging to a slope in Capira, Panama Oeste, using ASTM standards. Additionally, a traction s test was performed with used tire strips and 3D models were made in the SkecthUp software. The results of this investigation show the 3D model of the proposed wall, the tested soil which corresponds to an elastic silt with sand; with optimum moisture content of 33% and maximum density 13,3 kN / m³, liquid and plastic limit 63% and 33,7% respectively, friction angle 22 ° and cohesion 36,7 kPa. With the tensile test a breaking average 12,55 kN was obtained. A Windows Form App for the geometric design of the slope is also presented and a friction test is proposed as future work.

Keywords Soil test, tensile strength test, Microsoft Excel VBA programming, retaining wall.

* Corresponding author: manuel.perez1@utp.ac.pa

1. Introducción

El aumento en la tenencia de autos y la necesidad de reemplazar los neumáticos, una vez cumplen su vida útil, resulta en un problema medio ambiental por la quema de este material y su mala disposición. Según Research and Markets, está proyectado un crecimiento global en el mercado de los neumáticos de 731,6 millones de unidades [1]. En el caso de Panamá, al relleno sanitario de Cerro Patacón llegan 1,5 toneladas de llantas por día [2]. Dado este problema: ¿Cómo se puede aprovechar este material una vez cumplida su vida útil? A esta pregunta Long, et al. (1993) encontraron que podían utilizar los neumáticos como una estructura para estabilizar taludes, por lo cual, concretizaron su idea con un muro de cinco metros de altitud y 10 metros de longitud al que denominaron Pneusol [3]. Sayão et. al., también construyeron un muro Pneusol con capas de llantas rellenas con suelo compactado de cuatro metros de altitud y 60 metros de largo.

Terre Armee con más de 50 años de experiencia en el campo de la geotecnia comercializa su producto Reinforced Earth®, que consiste en una estructura de retención a gravedad con refuerzos de acero o geosintéticos trabajando a tracción con un relleno granular compactado, el cual no requiere equipo pesado para su construcción y resiste cargas vivas y muertas impuestas por estructuras, vehículos y equipos pesados [4].

https://doi.org/10.33412/rev-ric.v6.2.2899

El caucho sintético con mayor demanda a nivel mundial es el Estireno Butadieno (SBR), debido a que se utiliza principalmente en la fabricación de neumáticos [5].

El objetivo de esta investigación es proponer un diseño de muro de retención con taludes de neumáticos usados y hacer un estudio inicial de caracterización de suelo, para que en una segunda etapa se realice un ensayo a fricción y el análisis del sistema en analogía al análisis para muros mecánicamente reforzados; además presentar un Windows Form App de Microsoft Excel para el definir la geometría del muro con el diseño propuesto. Alineado así, con el noveno objetivo de desarrollo sostenible (ODS) del Programa de las Naciones Unidas [6].

En este artículo se presenta primeramente un estudio de muro de retención cuyo diseño fue construido. Luego, se presenta la metodología desarrollada para evaluar en un Windows Forms App el diseño propuesto para un talud específico, las normas ASTM utilizadas para los ensayos de suelo y tira de neumático; así como, la definición de un ensayo a fricción para una segunda etapa de este estudio. Después, se describe el diseño de muro de retención propuesto, donde se incluye un sistema de drenaje y control de erosión, y se muestra el modelo 3D del muro. Seguido, se muestran los resultados de los ensayos y se describe su significado; además se discute el ensayo a fricción de la segunda etapa y su dependencia de los ensayos desarrollados en este estudio. También, se discute sobre los hallazgos y metodologías utilizadas en otras investigaciones de muros con neumáticos. Finalmente se presentan las conclusiones y agradecimientos.

2. Muro con neumáticos

Estos sistemas, en comparación a otros, evitan la contaminación y la proliferación de enfermedades a causa de los mosquitos. En la figura 1 se muestra el arreglo de un muro de retención por capas.

Figura 1. Arreglo en la capa de los neumáticos.
Fuente: Energy Procedia. Belabdelouhab et al. (2014).

Por no requerir mano de obra calificada y la abundancia de este material, es de fácil construcción; además, las características del material de los neumáticos tienen una alta duración [7].

Belabdelouhab et al. (2014) estudiaron un muro de 20 metros de alto y 100 metros de longitud con neumáticos de un diámetro externo y grosor de 1,20 y 0,33 metros, respectivamente [8]. El arreglo de los neumáticos en este estudio es el que se muestra en la figura 1.

3. Métodos y materiales

En la figura 2 se muestra un diagrama de flujo de la metodología desarrollada en este artículo.

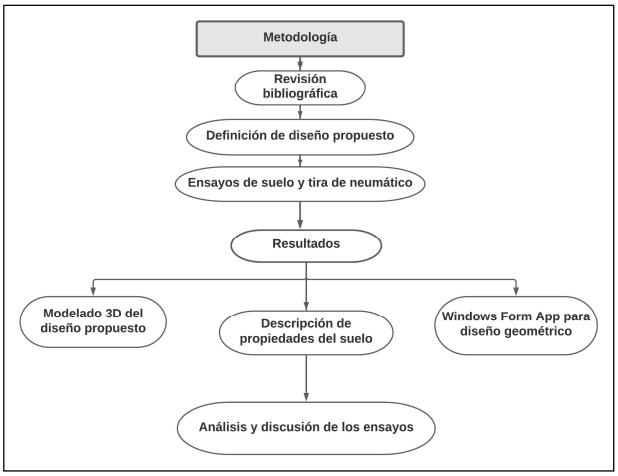


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología.
Fuente: Los autores.

3.1 Definición del diseño

En base a la revisión de la bibliografía y la aplicación de neumáticos usados en el sistema, se definió una geometría de diseño. Esta geometría propuesta se enmarcó en un Windows Form App por medio de la interfaz programador Visual Basic de software Microsoft Excel.

La geometría del muro con el diseño propuesto depende del ancho y diámetro externo del neumático, así como la separación de sesgado entre neumáticos. Se realizó un diagrama de cuerpo libre de la parte frontal del sistema propuesto y se le asignaron letras a las variables que determinan su geometría.

Las variables de la figura 3 representan las siguientes características:

- P: diámetro exterior de neumático (m).
- Q: ancho de llanta (m).
- Δx: sesgo horizontal entre neumáticos (m).
- σ: ángulo del talud (grados).
- Lh: longitud horizontal (m)
- Lv: longitud vertical (m).
- n: cantidad de unidades llanta centrales (unidades).
- E: unidades de neumático uno sobre otro (unidades).

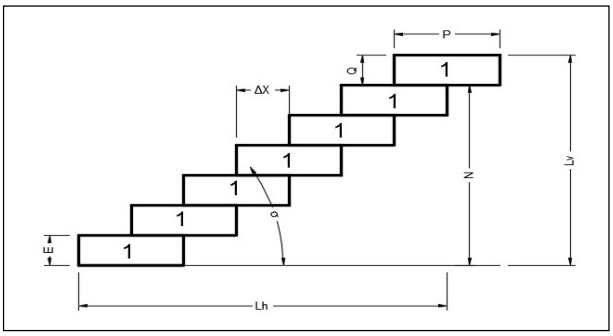


Figura 3. Diagrama de cuerpo libre y variables del sistema.
Fuente: Los autores.

Del análisis de variables, se derivaron dos conjuntos de ecuaciones. Las columnas de tres ecuaciones que se presenta a continuación corresponden a los dos conjuntos de ecuaciones que se derivaron:

$$Lh = \frac{Lv}{tan\sigma} \qquad E = \frac{(p/2)(tan\sigma)}{Q} \tag{1}$$

$$n = \frac{2Lh}{p} - 2 \qquad n = \frac{Lv}{EQ} - 2 \tag{2}$$

$$E = \frac{(p/2)(tan\sigma)}{Q} \qquad Lh = p + \frac{np}{2}$$

Estas ecuaciones se cargaron al Windows Forms App donde se solicitan los siguientes datos de entrada: longitud, ángulo y altura del talud, diámetro exterior y ancho del neumático. Como resultado, el formulario imprime el valor de Lh en metros, la cantidad de neumáticos en unidad-neumático y el valor de n que corresponde a la cantidad de unidad-neumático centrales en el sistema. Además, proporciona los errores en el ángulo y la longitud vertical (Lv) del talud y la cantidad total de neumáticos necesarios para su construcción.

Con ayuda del software SkecthUp se confeccionó el modelo 3D del diseño propuesto con un Δx= p/2.

3.2 Ensayos de suelo

Para los ensayos de suelo se tomó una muestra proveniente de un sitio de deslizamiento en el área de Capira, Panamá Oeste.

Cardoso (2014) realizó ensayos de suelo como los que se presentan en este estudio. Como datos de entrada para el modelado numérico de un muro Pneusol, y encontró que mientras se ocupe con tierra los espacios entre los neumáticos, una geometría del muro en pendiente le da a la estructura una marcada rigidez [9].

La figura 4 muestra el ensayo de límites de Atterberg (ASTM D 4318), mientras que la figura 5 presenta el análisis granulométrico siguiendo la norma ASTM D 6913, y la figura 6 ilustra el ensayo de corte directo.

Figura 4. a) Humedecimiento de la muestra de suelo. b) Copa de Casagrande para determinar límite líquido. c) Muestras de suelo luego de 24 horas al horno.
Fuente: Los autores.

Figura 5. a) Lavado de muestra de suelo. b) Colocación de la muestra en el horno por 24 horas. c) Tamizaje manual con muestra de suelo seca.
Fuente: Los autores.

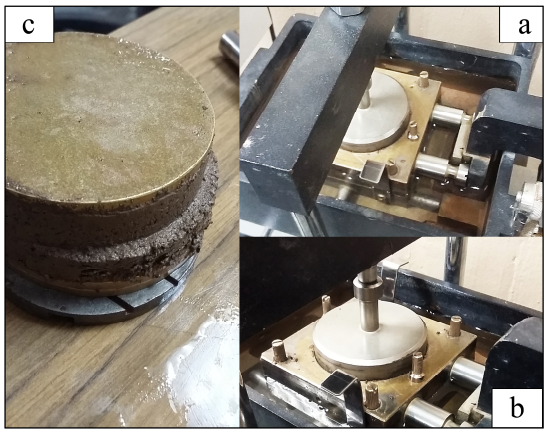


Figura 6. a) Inicio del ensayo en el equipo ELE. b) Continuación del ensayo minutos después. c) Muestra de suelo una vez finalizado el ensayo.
Fuente: Los autores.

El ensayo de corte directo (ASTM D 3080) se realizó en un equipo de corte directo/residual ELE en condiciones drenadas y consolidadas con cargas normales aplicadas de 1, 5 y 10 kg.

Con este ensayo se obtiene el ángulo de fricción y la cohesión del suelo; ambos parámetros importantes en el análisis geotécnico.

Se llevó a cabo el ensayo de Proctor estándar de acuerdo con la norma ASTM D 638 para determinar la densidad máxima del suelo y la humedad óptima. En la figura 7 se ilustra cuando se retira parte del exceso de suelo en el equipo.

Figura 7. Ensayo de Proctor estándar.
Fuente: Los autores.

3.3 Ensayo para tira de neumático

Para el ensayo de tensión se prepararon tres probetas (de llantas usadas) de acuerdo a la norma ASTM A370. Con una máquina de prueba universal se ensayó hasta la rotura y se calculó el promedio de la fuerza aplicada. En la figura 8 se muestra el proceso realizado.

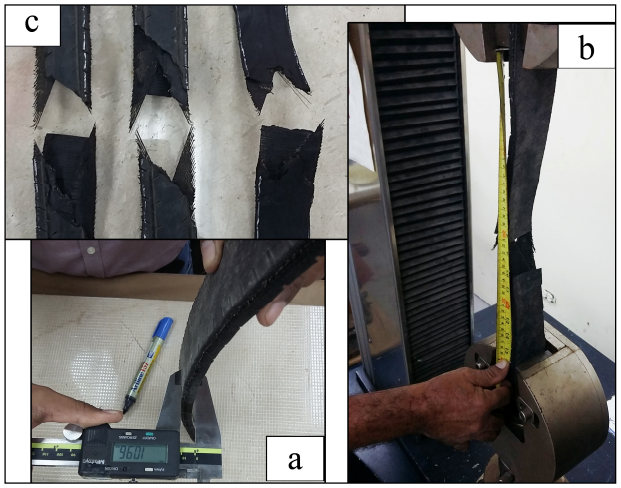


Figura 8. a) Medición de dimensiones de la probeta con pie de rey digital. b) Tira de neumático en la máquina de prueba universal. c) Fractura de las tres probetas de ensayo de neumáticos usados.
Fuente: Los autores.

3.4 Planteamiento de trabajo futuro

En base a la revisión de literatura se plantea un prototipo para el ensayo a fricción, el cual es modelado en el *software* SkecthUp.

4. Resultados y discusión

4.1 Diseño propuesto

La estructura de retención que se propone consta de una unidad-neumático que se organiza una sobre otra a medio diámetro de separación. En un mismo nivel se colocan una al lado de la otra; para el siguiente nivel van sesgadas a medio diámetro, como el arreglo en el que están organizados los bloques en las paredes. La unidad-neumático puede estar constituida de uno o varios neumáticos ajustados perfectamente uno sobre otro. Como resultado, la parte frontal del muro tendrá una organización tipo escalera. Su parte posterior estará conformada por tiras de neumático fijadas al arreglo tipo escalera; estas actuarán como elementos a tracción para resistir la fuerza de empuje del talud. En las soluciones comerciales actuales como las de Terre Armee esta función es realizada por geosintéticos poliméricos. Estas estructuras de suelo reforzado también se conocen con el nombre de muros mecánicamente reforzados (MSE). El interior de los neumáticos del primer nivel, estarán empotrados en el suelo, y se rellenarán con mortero. En los demás niveles se rellenan con tierra compactada y en su parte frontal se le colocan llorones para el mejor drenaje.

La compañía Geomatrix, fabricante de una gran variedad de geosintéticos explica que: “Este mecanismo de transferencia ocurre principalmente en los geotextiles. Cuando se da un desplazamiento cortante relativo entre el geotextil y las partículas del suelo, las cargas normales al plano del geotextil generan fuerzas de fricción en toda la superficie, las cuales se integran para generar una fuerza que se opone al arrancamiento de este del interior de la masa de suelo” [10]. En la figura 9 se bosqueja la transferencia de estos esfuerzos.

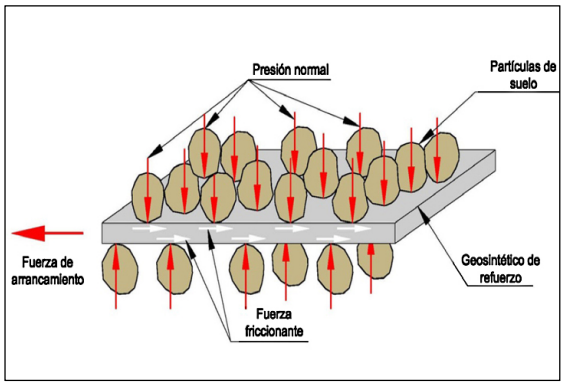


Figura 9. Transferencia de esfuerzos de fricción entre el suelo y el geosintético.
Fuente: Geomatrix [10].

En la investigación de Barro et al. (2019) se propuso un sistema de retención con llantas dispuestas verticalmente con refuerzo de geomallas en lugar de tiras de neumáticos como se propone en este estudio [11].

Las intensas precipitaciones sobre el suelo desnudo de los neumáticos comprometen la estabilidad del muro; este debe mantener su estructura intacta para ejercer su función. Para ello, las herbáceas y arbustos de rápido crecimiento son una buena alternativa para darle protección a los taludes contra la erosión, debido a la gran cantidad de raíces que profundizan en el suelo buscando la humedad. El Rosmarinus officinalis Prostratus (romero rastrero) y Lavandula angustifolia (lavanda) entran dentro de esta categoría [12,13]. También se puede optar por la *Salvia rosmarinus* (romero común). En la figura 10 se muestra un plantón joven. Como se ve en la figura 10b las raíces de esta planta son voluminosas y pequeñas, amarrando el suelo e impidiendo la erosión.

Figura 10. Romero común.
Fuente: Los autores.

Durante las intensas precipitaciones, el muro también debe cargar con la presión hidrostática, la cual se debe evacuar para evitar fallas. En este sentido, se plantea el uso de un dren francés con orificios de 5 cm a 22.5° y 45° respecto a la vertical y un diámetro de tubería de seis pulgadas con pendiente de 2%. Para el mejor desarrollo de su función las tuberías de PVC se envuelven con un material permeable (geotextil no tejido) que le permitirá filtrar el agua, de manera que no se laven las partículas de suelo fino. Esto también evita que granos de mayor tamaño tapen los orificios del dren.

De acuerdo a Ditchter & Neira [14] 1 de cada tres panameños entrevistado con auto tiene un Toyota. Siendo el modelo Corolla uno de los tres vehículos más vendidos en todo el mundo [15] cuyo modelo de neumáticos es el 205/55R16 [16]. Se recomienda el uso de estos neumáticos para que conformen la estructura del muro; la cual debe estar constituida de neumáticos con un tamaño lo más uniforme posible.

En la figura 11 se muestra el modelo 3D del diseño propuesto para el muro de retención.

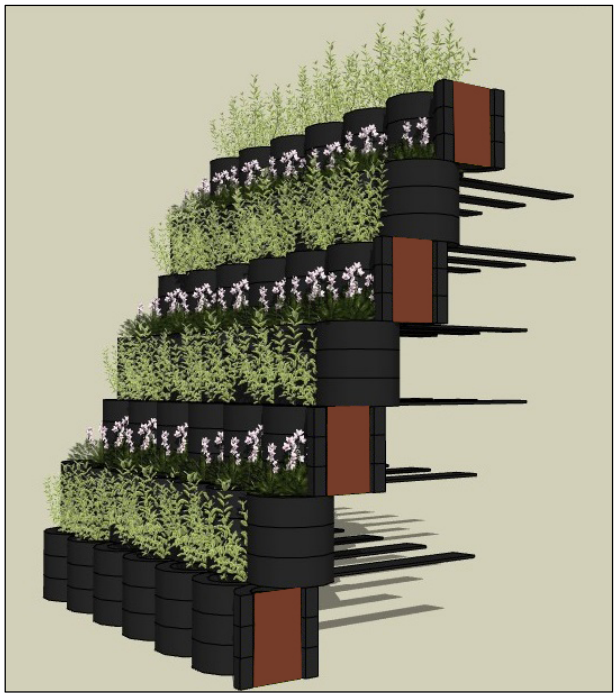


Figura 11. Modelo 3D del diseño propuesto.
Fuente: Los autores.

4.2 Resultados de los ensayos

En la figura 12, para los veinticinco golpes de la Copa de Casagrande, le corresponde un valor de 63% de contenido de agua. Esto quiere decir, que la muestra de suelo pierde toda su resistencia al corte y puede fluir como un líquido a partir de un contenido de agua superior al 63%.

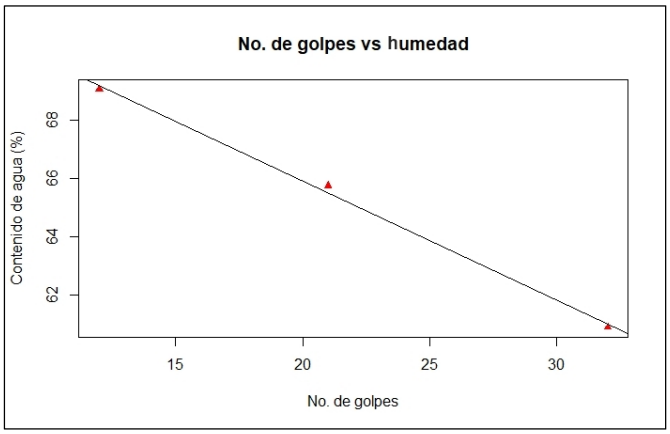


Figura 12. Gráfico para ensayo de límites de Atterberg, límite líquido (LL).
Fuente: Los autores.

La figura 13 muestra el ensayo a tracción con tiras de neumático.

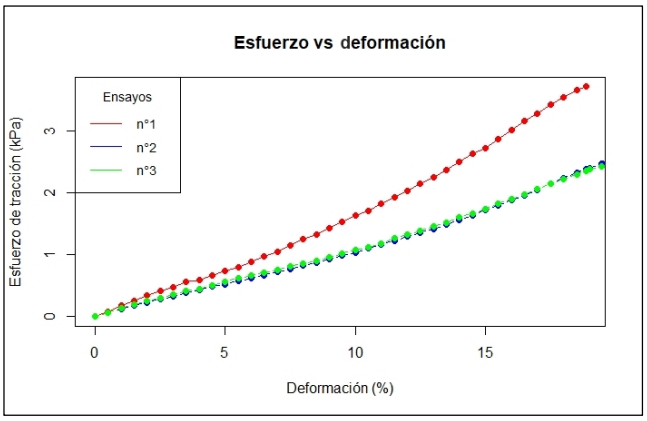


Figura 13. Gráfico de esfuerzo vs deformación para ensayo de tira de neumáticos usados.
Fuente: Los autores.

En la figura 8c se muestra que las tiras de neumático presentaron el mismo patrón de corte al romperse, con una fuerza promedio de 12,55 kN±0,20 kN. El ensayo 1 de tracción mostró un comportamiento diferente a los demás, como se muestra en la figura 13; esto a causa de un menor grosor en la longitud de calibre en esta probeta.

En un ensayo a tracción realizado por Bellas (2012) con caucho estireno-butadieno (SBR) puro se encontró un esfuerzo a rotura de 1,76±0,08 MPa [17], mientras que, en el presentado aquí, fue de 2,90±0,6 MPa. Esto debido a que los cinturones estabilizadores de acero presentes en el neumático le añaden resistencia a diferencia del SBR puro ensayado por Bellas.

En la tabla 1 se muestra el compendio de los resultados obtenidos de los ensayos y la norma ASTM respectiva.

Tabla 1. Resultados generales de los ensayos

Tipo de ensayo		Norma	Resultados		Comentarios
			Magnitud	Unidad	
tensión		ASTM A 370	12,55	kN	promedio a rotura de probetas de llantas usadas
Atterberg	LL	ASTM D 4318	63	%	límites de Atterberg
	LP		33,7	%	
	IP		29,3	%	
corte directo	Φ	ASTM D 3080	22	grados	equipo corte/residual ELE
	c		36,7	kPa	
granulometría		ASTM D 6913	limoso elástico con arena (MH)		7.5 YR 3/3 (Munsell)
compactación	γd	ASTM D 698	13,30	kN/m³	densidad seca máxima
	w		33	%	humedad óptima

Fuente: Los autores.

Con el ensayo de corte directo se obtuvo el valor de Φ (ángulo de fricción), con el cual se puede determinar la cuña de falla de la muestra de suelo estudiada.

Como consecuencia de la presencia de finos en la composición del suelo con un valor de 84,3% del total de la muestra ensayada, se expresa un valor para la cohesión de 36,7 kPa.

El ensayo de compactación proporciona la máxima densidad del suelo frente a una humedad óptima; es decir, que el suelo estudiado requiere de un contenido de agua del 33% para que se reduzcan los espacios vacíos, al mismo tiempo que mantiene su consistencia. Si se sigue aumentando el contenido de agua, este perderá su consistencia y al sobrepasar el límite líquido, empezará a fluir.

Además, se identificó el color de la muestra de suelo como chocolate oscuro por medio de la tabla de Munsell, tal como se describe en la columna de comentarios de la tabla1.

Para el análisis de fuerzas del muro, con el ensayo a tracción se tiene una referencia de hasta qué punto, por sí solo, la tira de neumático falla a tracción.

4.3 Windows Form App

El Windows Form App de Microsoft Excel que se presenta en la figura 14, realiza los cálculos para definir la geometría del muro con un valor de Δx= p/2. También muestra el porcentaje de error para el ángulo y altura de los valores de entrada, para los dos conjuntos de ecuaciones derivadas.

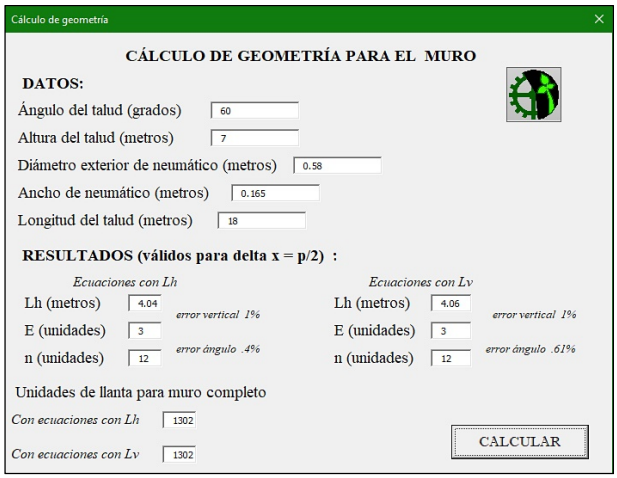


Figura 14. Windows Forms App de Microsoft Excel para el cálculo de geometría del muro de retención.
Fuente: Los autores.

4.4 Trabajo futuro propuesto

Para una segunda etapa de esta investigación se plantea realizar un ensayo a fricción; este consiste en cortar una tira de neumático usada en su circunferencia y colocarla longitudinalmente entre un suelo compactado al 95% Proctor estándar dentro de una caja de 62 cm de altura. Luego, se le aplica una fuerza de tensión en uno de sus extremos para intentar sacar la tira de la interfaz suelo-suelo mientras se registran los desplazamientos con un deformímetro digital.

Este ensayo se puede realizar con la densidad máxima, debido a que se conoce del ensayo de compactación el contenido de agua necesario para ello. Además, conocida la cuña de falla, se puede determinar la longitud efectiva de la tira de neumático que estará actuando a fricción tanto en su parte superior e inferior, fuera de la superficie de falla; y como se conocen las propiedades mecánicas del suelo con los demás ensayos, se podrá determinar experimentalmente la fuerza resistente a la zafadura o fuerza de arrancamiento. Este valor representará un valor mínimo, pues a medida que se avance en

profundidad aumentará la presión, por tanto, también la fuerza resistente a la zafadura [18, 19, 20].

Se ilustra en la figura 15 el prototipo para el ensayo propuesto.

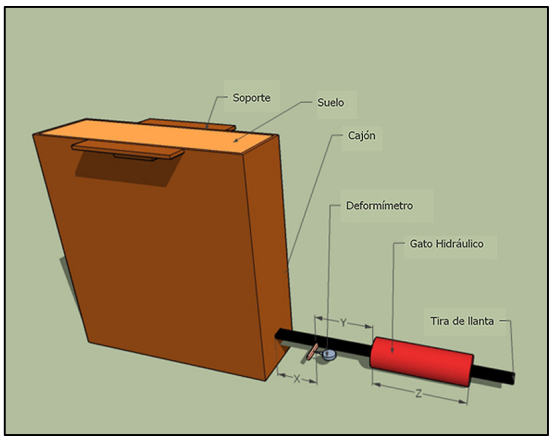


Figura 15. Prototipo para ensayar a fricción tira de neumático.
Fuente: Los autores.

El suelo que se ha ensayado contiene una mayor proporción de finos, por lo que el aporte de fricción no será tan alto si se compara con un suelo granular. Sin embargo, los resultados de este ensayo, en la condición más desfavorable, son la base para el cálculo y diseño del muro en retención en analogía con el método utilizado para el diseño de un MSE [20], donde se utilizan tiras acero, en lugar de las tiras de neumáticos propuestas en este estudio.

Otros autores han diseñado y construido muros de retención con neumáticos, incluso han monitoreado sus desplazamientos con instrumentación de campo como lo presenta Medeiros et al. (2009) en su estudio; utilizaron inclinómetros y extensómetros magnéticos. Con este equipo se puede verificar la inclinación del muro y la deformación vertical [21]. También se pueden instalar piezómetros para verificar el nivel del agua en la parte posterior del talud. La principal causa de fallas en muros de retención es debido a la saturación del suelo, por lo cual, verificar la funcionalidad del sistema de drenaje es de vital importancia.

El material que une los neumáticos debe proporcionar resistencia a la corrosión y a las fuerzas cortantes. En la bibliografía consultada el material más utilizado es cuerda de polipropileno [11, 22]. Sin embargo, también se debe evaluar la unión entre la tira de neumático y el neumático de la parte frontal.

En esta propuesta se presenta el neumático completo como parte de la estructura frontal rellena con suelo en los niveles superiores y con mortero en el primer nivel. Sayão et al. (2002) encontraron que cortando la banda lateral del neumático la densidad aumentaba en 0,8 kN/m³ reduciendo así su comprensibilidad [23].

En un estudio realizado por Teixeira (2012), por medio del método de Bishop modificado, se determinó que el factor de seguridad global de un muro realizado por Sayão fue de 2,26 [24].

Con el apoyo de *softwares* para el análisis de esta propuesta de diseño como lo han hecho otros autores, se revelarían las fortalezas y debilidades del sistema propuesto para desarrollar una estructura que sea segura y confiable.

5. Conclusiones

El Windows Forms App que se desarrolló, permitirá evaluar rápidamente la posibilidad de utilizar el diseño propuesto en un sitio o si es necesario hacer algunas modificaciones en los extremos para cumplir la relación geométrica necesaria para el talud.

La segunda etapa de este estudio como trabajo futuro permitirá obtener un mejor conocimiento sobre la funcionalidad del diseño propuesto.

AGRADECIMIENTOS

A la Doctoranda Marta Cedeño por su apoyo para las gestiones del proyecto dentro del centro regional, a la Dra. Indra Candanedo por el apoyo financiero. Por otro lado, al Centro Experimental de Ingeniería (CEI) gestión del Lic. Jesús Villar e Ing. Carlos Lezcano, a los Ingenieros Gustavo Grimaldo, Josué Pazmino, especialmente al técnico Jairo Aguilar y al Ing. Amador Hassell por sus consejos para la segunda etapa de esta investigación.

REFERENCIAS

[1] GlobeNewswire. (2020) Growth Opportunities in the Tires Industry, 2020-2025 - Radialization Continues to Bulldoze Growth in Tire Markets of Emerging Countries. [Online]. Available at: https://www.globenewswire.com/news-release/2020/04/03/2011287/0/en/Growth-Opportunities-in-the-Tires-Industry-2020-2025-Radialization-Continues-to-Bulldoze-Growth-in-Tire-Markets-of-Emerging-Countries.html

[2] Pérez K. (2019) Montaña de llantas en Cerro Patacón genera preocupación. TVN Noticias. [Online]. Available at: https://www.tvn-2.com/nacionales/Montana-llantas-Cerro-Patacon-preocupacion_0_5238226208.html

[3] Long N., Pierre L. (1993). "Le Pneusol: Recherches – Réalisations - Perpectives". Devantl'institut national des sciences appliquees de Lion. París, France.

[4] Terre Armee. "Rainforced Earth". [Online]. Available at: https://www.terre-armee.com/reinforced-earth/reinforced-earth-mechnically-stabilized-earth/

[5] Castro G. (2008). "Materiales y Compuestos para la Industria del Neumático." Universidad de Buenos Aires [Online]. Available at: https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Materiales_y_Compuestos_para_la_Industria_del_Neumatico.pdf [20 Apr. 2019]

[6] PNUD. "Objetivo 9: Industria, innovación, infraestructura." [Online]. Available at: http://www.pa.undp.org/content/panama/es/home/post-2015/sdg-overview/goal-9.html

[7] Barón J. (2014). “Estabilización de Taludes por Medio de Muros de Llantas en el Barrio la Capilla Soacha Cundinamarca.” Universidad Católica de Colombia, Colombia.
[8] Belabdelouhab F., Kebaïli N. (2015). "Large Scale Experimentation Slope Stability of «Soil Tyre» in Mostaganem (Algeria)". Energy Procedia, 74,699 – 706. doi:https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.805.
[9] Cardoso A. (2014). "Estruturas de Suporte de Terras Executadas com Pneus - Modelo à Escala Reduzida". Instituto Politécnico do Porto. Porto, Portugal.
[10] Geomatrix. “Conceptos Básicos para Estructuras de Suelo Reforzado.” [Online]. Available at: http://g-tech.geomatrix.co/uploads/1472242066_Guia_diseo_estructuras_MSE.pdf
[11] Barro P., Sarabia G., et al. (2019). "Retaining Wall based on mechanically stabilized tire stack". Revista ingeniería de construcción, 34(3), 252-267. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000300252
[12] Bravo A. (2018) “Cómo afianzar un talud con plantas.” Verde es Vida, 84, 52-53.
[13] Jardinería Panamá. "Lavanda" [Online]. Available at: https://vivero.jardineriapanama.com/products/lavanda?_pos=1&_sid=105df09f0&_ss=r
[14] Ditchter & Neira. “La posesión actual y compra futura de autos en Panamá.” [Online]. Available at: http://www.dichter-neira.com/wp-content/uploads/2016/02/20.-Insider_-PA_Autom%C3%B3viles.pdf
[15] Panamá América. “Ricardo Pérez S.A. lidera venta de autos en Panamá.” [Online]. Available at: https://www.panamaamerica.com.pa/economia/ricardo-perez-sa-lidera-venta-de-autos-en-panama-1119785
[16] Ricardo Pérez S.A. “Corolla.” [Online]. Available at: https://www.toyotarp.com/corolla/especificaciones
[17] Bellas R. (2012). "Formulación y Caracterización de Materiales Compuestos Integrados por una Matriz de Caucho Estireno-Butadieno (SBR) Reforzada con Nanoarcilla" Universidad Da Coruña, España.
[18] Garnica P., Reyes R., Gómez J. (2013). "Diseño de muros reforzados con geosintéticos". Instituto Mexicano del Transporte. México. ISSN 0188-7297.
[19] Suarez J. (2012). "Diseño de Muros de Suelo Reforzado con Geosintético". Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
[20] Gunaratne M. The Foundation Engineering Handbook. Bosa Roca, United States: Taylor & Francis Inc, 2006, pp. 450-482.
[21] Medeiros L., Garga V., et al. (2009). "Analysis of the Instrumentation of a Scrap Tire Reinforced Retaining Wall" presented at 11th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 1, 19-25.
[22] Escobar W. (2017) "Evaluación de la alternativa para la estabilización de taludes mediante la implementación de llantas en la montaña la ponderosa (localidad de ciudad Bolivar, Barrio Bella Flor) " Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia.
[23] Sayão A., Sieira A. et al. (2002)."Retaining Walls BuiltScrap Tyre"s. Sociedade Portuguesa de Geotecnia ,91, 39-55. ISBN: 03799522.
[24] Teixeira J. (2012). "Estruturas de suporte de terras executadas com pneus". Instituto superior de engenharia do Porto. Porto, Portugal.

RIC

REVISTA DE
INICIACIÓN
CIENTÍFICA
JOURNAL of **UNDERGRADUATE** RESEARCH

Volumen 6 - N.° 2 . Julio - Diciembre 2020 P-ISSN 2412-0464 E-ISSN 2413-6786

Directora de la Revista
Dra. Casilda Saavedra

Editora de la Revista
Dra. Casilda Saavedra

Revista Editada por la Dirección de Investigación
Dr. Orlando A. Aguilar

Coeditora y coordinadora
Mgrt. Patricia del Cid
Dirección de Investigación, UTP

Comité Editorial
Dr. Ignacio Chang
Facultad de Ingeniería Eléctrica
Dr. Humberto Álvarez
Facultad de Ingeniería Industrial
Dr. José Rangel
Facultad de Ingeniería en Sistemas Computacionales
Prof. Tatiana Salgado
Facultad de Ciencia y Tecnología
Dr. Arthur James
Facultad de Ingeniería Mecánica
Ing. Matías Carrera
Facultad de Ingeniería Civil
Mgtr. Danny Murillo
Repositorio Institucional de Documentos Digitales de Acceso Abierto

Equipo técnico y proyección internac onal - UTP
Ing. Danny Murillo
Ing. Dalys Saavedra

Dirección de Comunicaciones Estratégicas
Mgter. Danilo Toro
Director

Dra. Libia Batista de Muñoz
Editorial Universitaria

Diseño y diagramación
Sección de Diseño Gráfico

Lcda. Shirley Cedeño
Imprenta

Autoridades
Ing. Héctor Montemayor Á.
Rector
Lcda. Alma Urriola de Muñoz
Vicerrectora Académica
Dr. Alexis Tejedor de León
Vicerrector de Investigación, Postgrado y Extensión
Mgtr. Mauro Destro Stimamiglio
Vicerrector Administrativo
Mgtr. Ricardo Reyes
Secretario General
Ing. Brenda Serracín de Álvarez
Coordinadora General de los Centros Regionales

Decanos
Dr. Martín Candanedo
Facultad de Ingeniería Civil
Ing. Gabriel Flores Barsallo
Facultad de Ingeniería Eléctrica
Dr. Israel Ruiz
Facultad de Ingeniería Industrial
Dr. Julio A. Rodríguez B.
Facultad de Ingeniería Mecánica
Dr. Clifton E. Clunie B.
Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales
Mgtr. Juan González
Facultad de Ciencias y Tecnología

Directores de Centros de Investigación
Ing. Javier Navarro
Centro Experimental de Ingeniería - Encargado
Dr. José Fábrega
Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas
Dr. Félix Henríquez
Centro de Investigación e Innovación Eléctrica
Mecánica y de la Industria
Dr. Wedleys Tejedor
Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales
Lic. Norman Rangel
Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación
en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones - Encargado

RIC: Revista de Iniciación Científica = Journal of undergraduate Research.
Vol.6 , No. 2 (Julio - Diciembre 2020) .- Panamá: Edición Tecnológica, 2020

V.; 27 cm
Semestral
P-ISSN-2412-0464
E-ISSN-2413-6786

1. Universidad Tecnológica de Panamá
2. Investigaciones – Publicaciones seriadas
3. Investigación y desarrollo.

Universidad Tecnológica de Panamá

Bienvenido al Portal de Revistas Académicas (Investigación, Académica, Cultural, Congresos Nacionales e internacionales) de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).
Este sitio nace como una iniciativa del proyecto UTP-Ridda² para mostrar la producción científica e investigativa desarrollado por los docentes, investigadores y estudiantes de la UTP. Este proyecto es desarollado por la Vicerrectoría de Investigación, Postgrado y Extensión, Editorial Universitaria y la Dirección de Comunicación Estratégica, con el apoyo de las principales autoridades de nuestra Universidad.
El objetivo de esta plataforma es visibilizar la producción científica en las revistas científicas en vías de mejorar el alcance de las publicaciones a nivel nacional e internacional a través de la integración en directorios, bases de datos, catálogos e indexaciones.

A partir del 2018 las publicaciones de los volúmenes de las revistas I+D Tecnológico, Prisma Tecnológico y la Revista de Iniciación Científica (RIC) se les asignará un DOI (Digital Object Identifier).

I+D Tecnológico
ISSN: 1680-8894
E-ISSN: 2219-6714

Prisma Tecnológico
ISSN: 2076-8133
E-ISSN: 2312-637X

Revista de Iniciación Científica
ISSN: 2412-0464
E-ISSN: 2413-6786

Revista RETOS XXI
ISSN: 2524-1125
E-ISSN: 2524-1133

El Tecnológico
ISSN: 1819-9623
E-ISSN: 1819-9623

Cultural Maga
ISSN: 1018-1563
E-ISSN: 1018-1563

Memorias de Congresos UTP

Congresos CLABES

Visítenos en:
http://www.revistas.utp.ac.pa
No es necesario registrarse para tener acceso a los contenidos de las revistas