

Revista de



TECNOLÓGICO

RIDTEC | Vol. 15, N.º 1, 2019, enero - junio 2019

P-ISSN 1680-8894

E-ISSN 2219-6714

Edición Semestral
Publicación Regional



Revista de I+D Tecnológico: revista de investigación en la Universidad Tecnológica de Panamá. - Vol. 15, no. 1 (ene. - jun. 2019). - Panamá: Editorial Tecnológica, 2019.

v. ;27 cm.

Semestral

P- ISSN 1680-8894

E- ISSN 2219-6714

1. Universidad Tecnológica de Panamá - Publicaciones seriadas
2. Investigaciones - Publicaciones seriadas
3. Investigación y desarrollo.

Universidad Tecnológica de Panamá

AUTORIDADES

Ing. Héctor M. Montemayor Á.

Rector

Licda. Alma Urriola de Muñoz

Vicerrectora Académica

Dr. Alexis B. Tejedor De León

Vicerrector de Investigación, Postgrado y Extensión

Mgtr. Mauro Destro Stimamiglio

Vicerrector Administrativo

Mgtr. Ricardo A. Reyes B.

Secretario General

Ing. Brenda Serracín de Álvarez

Coordinadora General de los Centros Regionales



La Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC) es una revista indexada abierta (OA) con publicación semestral de la Universidad Tecnológica de Panamá, especializada en las áreas de las ciencias, ingenierías y tecnologías.

Actualmente, la RIDTEC forma parte del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX), y The European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences (ERIH PLUS), entre otras como REDIB, ROAD, BASE y OAJI.

Para garantizar un proceso de evaluación libre de sesgo y/o conflictos de intereses, cada artículo ha sido evaluado a través de un proceso de "revisión por pares, doble ciego".

Revista de I+D Tecnológico disponible en:

<http://www.revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico>

Plataforma para la Recepción de Artículos:

<http://www.redinvestigadores.utp.ac.pa/revistal+D/openconf/openconf.php>

© Derechos reservados, UTP

Impreso en Panamá, Ciudad de Panamá

Imprenta de la Universidad Tecnológica de Panamá

Tiraje: 300 ejemplares.



Director de la revista

Dr. Orlando Aguilar

Dirección de Investigación, UTP¹

Editor de la revista

Dr. Orlando Aguilar

Dirección de Investigación, UTP¹

Comité Editorial

Dr. Carlos Medina

Facultad de Ingeniería Eléctrica, UTP¹

M.Sc. Julio Mario Daza Escorcía

Docente Investigador² y Estudiante Doctorando³

Dr. Jesús Javier Alcantar Peña

Investigador titular B⁴

Dr. Frederick Wittel

Docente Administrador⁵

Dr. David Álvarez

Docente Investigador⁶

Coeditores y coordinadores

Lic. Huriviades Calderón

Dirección de Investigación, UTP¹

Lic. Cristian Moreno

Dirección de Investigación, UTP¹

Equipo Técnico y proyección internacional

Ing. Danny Murillo, Ing. Dalys Saavedra⁷

Editorial Tecnológica

Ing. Libia Batista

Directora

Lcda. Sandra Siebert, Sr. Armando Pinillo

Mercadeo

Sección de diseño gráfico

Diseño y diagramación

Afiliaciones

1. Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá.
2. Politécnico de la Costa Atlántica, Colombia.
3. Universidad de Valencia, España.
4. Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), Querétaro, México.
5. Assoc. Dean of Math, Science, & Health Professions at Richland College, Dallas, Estados Unidos.
6. Universidad de Los Andes - Bogotá, Colombia
7. Repositorio institucional de documentos de acceso abierto

*P*resentación

La Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) presenta a la comunidad científica y público en general, la primera edición del año 2019 de la Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC), volumen 15, número 1. Con el propósito de divulgar la labor de investigación científica en la UTP, nace en 2002, RIDTEC, como una revista abierta (OA) evaluada por pares Doble Ciego, con publicación semestral. En la actualidad, RIDTEC es la principal revista panameña para la publicación de trabajos de investigación en las áreas de ingeniería y tecnología, apoyando como medio de publicación internacional, a docentes e investigadores nacionales e internacionales. RIDTEC forma parte de los catálogos de indexación de Latindex, REDIB, BASE, ROAD, OAJI y ERIHPLUS y de la Red LatinREV. Adicionalmente, forma parte de las bases de datos OEI, OpenAIRE, PKP|INDEX, MENDELEY, MIAR, DRJI, CROSSREF y Google. RIDTEC está integrada a los repositorios UTP-Ridda² y Repositorio Centroamericano SIIDCA.

El primer artículo de este número, muestra el prediseño de un túnel de viento de circuito abierto subsónico para el apoyo a la investigación en la Universidad Tecnológica de Panamá. Este túnel de viento sería de utilidad para el diseño de pequeños aerogeneradores y el estudio de la dispersión de contaminantes en el aire, entre otros.

El siguiente artículo determinó la isoterma de sorción de zanahoria a una temperatura de $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, aplicando el método de gravimetría estática en un rango de actividad de agua (A_w) entre 0.113 y 0.883. Se utilizaron los modelos matemáticos GAB, BET y Henderson y el coeficiente de regresión (R^2). Se obtuvo una isoterma tipo II. La humedad de monocapa reporta valores entre 0.102 y 0.125 g agua/g. m.s y valores R^2 entre 0.92 y 0.994.

En el tercer artículo se realiza una comparación de panquecas formuladas con harina de trigo y con harina de yuca. Las panquecas con harina de yuca al 100%, presentaron una disminución en la gomosidad, dureza, masticabilidad y cohesividad. El análisis sensorial no mostró diferencias significativas en el nivel de preferencia para las panquecas formuladas con harina de trigo y yuca.

El cuarto trabajo evalúa el efecto de los métodos de freído, convencional y en aire forzado, sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de chips del tubérculo taro. El chip elaborado por el método convencional mostró mayor crujencia, alto contenido de grasa, menor concentración de oxalato y mayor preferencia del consumidor en comparación con el chip

elaborado con la freidora en aire. El método de freído por aire parece ser una alternativa más saludable, ya que reduce significativamente el contenido de grasa y presenta características sensoriales aceptables en productos fritos.

El quinto trabajo presenta el desarrollo de un regulador cuadrático lineal como controlador para la navegación de un aerodeslizador no tripulado. El regulador se sintoniza utilizando como punto de partida la Regla de Bryson, y se mejora mediante ensayo y error. Se finaliza con una serie de simulaciones realizadas en MATLAB. El controlador resultó poco eficiente en su respuesta, pero logra seguir la trayectoria circular deseada.

El sexto trabajo evalúa la adición de funciones, cargos operativos y administrativos al modelo de gestión operativa de la Junta Administradora de Acueducto Rural de la comunidad de Ipetí Emberá, en la República de Panamá, con el objeto de lograr la sostenibilidad de su funcionamiento.

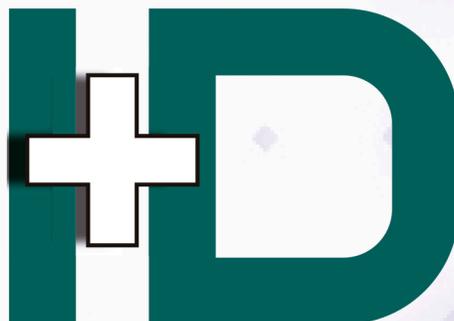
El siguiente trabajo elabora un mapa de susceptibilidad a deslizamientos de tierra en el distrito de San Miguelito, República de Panamá, mediante el análisis y validación de un modelo estadístico bivariado, incorporando herramientas del Sistema de Información Geográfica. Como datos de entrada se utilizaron un mapa inventario de deslizamientos y los mapas de parámetros.

El octavo trabajo estudia las señales eléctricas generadas por el cerebro de una persona cuando imagina el movimiento de sus extremidades superiores. Las señales son adquiridas mediante un equipo de interfaz cerebro-computador y son analizadas utilizando la técnica de descomposición de banda de energía. Los resultados indican que la técnica es factible para la caracterización de las señales eléctricas del cerebro.

El artículo siguiente presenta el análisis biomecánico y diseño de un pie protésico Bioc-dm2, que supla las necesidades y funcionalidad para satisfacer cada uno de los movimientos requeridos del complejo patrón de la marcha, en adición a soportar el peso corporal y uso cotidiano del paciente.

El último artículo propone un conjunto de requisitos y buenas prácticas de gestión en el proceso de diseño de software, a incorporarse al Modelo de Calidad para el Desarrollo de Aplicaciones Informáticas de Cuba. La propuesta incluye una descripción gráfica y textual del proceso, que facilita el cumplimiento de los requisitos y define un sistema de indicadores que permite medir la utilidad y el nivel de implementación del proceso.

Ing. Orlando Aguilar, Ph.D.
Director del Comité Editorial
Enero, 2019



Contenido

5

Diseño Preliminar Parte I, de un Túnel de Viento de Circuito Abierto (Tipo Eiffel) para Números de Reynolds de 3.3×10^6 m-1
Preliminary Design Part I, of an Open Circuit Wind Tunnel (Type Eiffel) for Reynolds of 3.3×10^6 m-1
Omar Cornejo Luna | Luis Mogollón | Humberto Álvarez

38

Control De Seguimiento Para Un Aerodeslizador No Tripulado Por Medio De Un Único Actuador
Trajectory Tracking Control Of An Unmanned Hovercraft By Means Of A Single Actuator
Ricardo De Levante | Deyka García

17

Modelado de la isoterma de adsorción de zanahorias deshidratadas
Modelling of moisture sorption isotherms of dehydrated carrots
Marialina Anria | Astrid González

49

Modelo de gestión de la Junta administradora de acueducto rural para desinfección de agua con tecnología sostenible en Ipetí Emberá, Panamá
Management model of the administrative board of rural aqueduct for water disinfection with sustainable technology in Ipetí Emberá, Panamá
Marta Anayansi Alvarez Zaldívar | Nelson Barranco Pilides

24

Desarrollo y caracterización de panquecas a base de harina de trigo (Triticum) y harina de yuca (Manihot esculenta)
Development and characterization of pancakes based on wheat flour (Triticum) and cassava flour (Manihot esculenta)
Yaremis Carrera | Elizabeth Franco | Rosa I. Quintero

59

Mapa de susceptibilidad a deslizamientos en el distrito de San Miguelito, Panamá, incorporando herramientas de sistema de información geográfica
Landslide susceptibility map of San Miguelito district, Panama, based on geographic information system
Avril Díaz | Daniel Acosta | Deeyvid Sáez

30

Efecto de los métodos de cocción por fritura en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de chips de taro (Colocasia esculenta)
Effect of frying methods in the physicochemical and sensorial properties of taro chips (Colocasia esculenta)
Melissa Chong | Gina Mazzitelli | Rosa Quintero

71

Caracterización de imaginación motora utilizando análisis de descomposición de bandas de energía
Characterization of motor imagination using decomposition analysis of energy bands
John Alexander Hernández Martín | Luis I. Moreno | C. Boya | J. Serracín | S. Serracín | E. Batista | J. Antelis | L. Hernández | R. Moreno | L. Gómez | J. Quintero

Contenido

80

**Análisis biomecánico del pie protésico
Bioc-dm2**

Biomechanical Analysis of a prosthetic foot
Bioc-dm2

**John Alexander Hernández Martín | Luis
Alberto Parra Piñeros | Edwin Yamith
Martínez | Oscar Heli Bejarano Peña | Jairo
Alberto Romero Gutiérrez**

87

**Proceso de diseño del software para un
modelo de la calidad en Cuba**

Process of software design for a model of quality in
Cuba

**Leanet Tamayo Oro | Yoandy Lazo Alvarado |
José Felipe Ramírez Pérez**



Diseño preliminar parte I, de un túnel de viento de circuito abierto (tipo Eiffel) para números de Reynolds de $3.3 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$

Preliminary design part I, of an open circuit wind tunnel (type Eiffel) for Reynolds of $3.3 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$

Omar Cornejo Luna ^{1*}, Luis Mogollón ¹, Humberto Álvarez ¹

¹ Centro de Investigación e Innovación Eléctrica, Mecánica y de la Industria (CINEMI), Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

*Autor de correspondencia: omar.cornejo@utp.ac.pa

RESUMEN– El propósito de este trabajo, es el prediseño de un túnel de viento de circuito abierto subsónico para la Universidad Tecnológica de Panamá; para el desarrollo de futuras investigaciones como lo son el diseño de pequeños aerogeneradores e investigaciones de dispersión de emisiones contaminantes, entre otros. Para ello se requirió realizar una extensa investigación de los modelos existentes y las limitaciones de los diversos componentes que conforman un túnel de viento con esta configuración, basándose en las pautas y lineamiento existentes a la fecha y con el apoyo de la dinámica de fluidos computacional. El empleo de los modelos y el apoyo de dichos métodos numéricos permitió obtener un prediseño funcional que teóricamente satisface los requerimientos iniciales, y permitió desarrollar una correlación para el diseño de la contracción, propiciando nuevos caminos de investigación con el fin de mejorar el rendimiento del ventilador axial.

Palabras clave– *Dinámica de fluidos computacional, contracción, difusor, malla, sección de pruebas, túnel de viento, ventilador.*

ABSTRACT– The purpose of this work is pre-design a subsonic open-circuit wind tunnel for the Technological University of Panama; for the development of future researchs such as the design of small wind turbines and research on the dispersion of polluting emissions, among others. For them, it was necessary to carry out an extensive investigation of the existing models and their limitations of the various components that make up a wind tunnel with this configuration, based on the existing guidelines to date and with the support of computational fluid dynamics. The use of the models and the support of these numerical methods allowed us to obtain a theoretically functional design that satisfies our initial requirements, propitious to develop a correlation for the design of the contraction, fostering new research paths in order to improve the performance of the fan axial.

Keywords – *Computational fluid dynamic, contraction, diffuser, mesh, test section, wind tunnel, fan.*

1. Introducción

La optimización y desarrollo de aerogeneradores, requiere de herramientas de investigación que permitan obtener flujos de aire que simulen las condiciones reales a las cuales están expuesto, a través del empleo de un modelo a escala.

El túnel de viento es una herramienta de investigación en mecánica de fluidos, específicamente de gran utilidad en aerodinámica experimental que ha permitido resolver un amplio rango de problemas, fenómenos que involucra la interacción con el aire en movimiento.

Su empleo inicial permitió a los hermanos Wright conocer información básica sobre arrastre producida por el ala, la sustentación y el centro de presión necesarias para el correcto diseño de su aeronave. Otros investigadores como lo son Reynolds, Tsiolkovsky, Lilienthal, Langley, Prandtl, Von Karman e Eiffel, entre

otros, llevaron a cabo investigación con esta herramienta.

Entre las décadas del 30 y el 40 del pasado siglo, se produjo un rápido avance en el diseño y construcción. Esta herramienta posee cerca de 147 años desde que fue construida por primera vez en 1871 por parte del Wenham [1], existiendo una gran cantidad de investigaciones referente a su diseño y materiales empleados [2], actualmente aún en constante evolución.

Existen varios tipos de túneles de viento [3-12], lo cual depende del tipo de experimentos que se pretende llevar adelante, siendo los más populares los túneles de vientos de circuito abierto, llamados también túnel de viento de Eiffel y los túneles de viento de circuito cerrado. Basados en nuestros requerimientos y necesidades, se seleccionó un túnel de viento de circuito abierto o túnel de viento tipo Eiffel subsónico con un número de Mach < 0.4 [4].

Citación: O. Cornejo, L. Mogollón y H. Alvarez, “Diseño preliminar parte I, de un túnel de viento de circuito abierto (tipo Eiffel) para números de Reynolds de $3.3 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$ ”, *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 1, pp. (5-16), 2019.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 23 de mayo de 2018. **Recibido con correcciones:** 19 de noviembre de 2018. **Aceptado:** 19 de noviembre de 2018.

DOI <https://doi.org/10.33412/idt.v15.1.2091>

Copyright: This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Actualmente solo se tienen directrices, más o menos establecidas, para el diseño y construcción de túneles de viento de diversos tipos. La mayoría de la bibliografía consultada está basada en experimentación, que con el tiempo han llegado a ser, algunas de ellas, directrices [4] [13]. A través de métodos numéricos computacionales, es posible llevar a cabo un prediseño de un túnel de viento abierto tipo Eiffel.

En este trabajo se emplearán métodos numéricos computacionales. Específicamente, Dinámica de fluido Computacional (CFD) en conjunto con herramientas CAD, con el fin de optimizar la geometría de las diversas partes que conforman el túnel de viento de tipo Eiffel para velocidades comprendidas entre los 4 m/s y los 65 m/s. En este prediseño de tipo preliminar no se tiene en cuenta las paredes del recinto donde estar instalado, la cámara de tranquilización y la toma de aire del mismo.

2. Fundamentos teóricos y características de diseño

Los túneles de viento abiertos poseen cinco (5) componentes principales:

1. La zona de acondicionamiento del flujo
2. La contracción
3. La sección de pruebas
4. El difusor
5. El ventilador.

La zona de acondicionamiento del flujo se encuentra agua arriba de la sección de prueba y contiene “malla de abeja” para reducir la turbulencia, con la finalidad de producir una corriente de aire lo más uniforme posible. La contracción permite tomar un volumen grande de aire a baja velocidad reduciendo a un volumen pequeño de aire de alta velocidad sin crear turbulencia. Por otro lado, la sección de pruebas es la zona donde se instala el modelo y su correspondiente instrumentación.

El difusor tiene como objetivo transformar la energía cinética en energía de presión de manera eficiente, mientras que el ventilador suministra la energía necesaria para la corriente de aire y suple la pérdida producida por la corriente de aire a través de las secciones anteriores.

2.1 Requerimiento del túnel de viento y configuración del túnel de viento

Los requisitos condicionan la configuración y las dimensiones; por otro lado, los recursos económicos y

materiales existentes y métodos de manufactura poseen un gran peso durante el proceso de selección basado en casa de la calidad.

Entre los requisitos empleados durante nuestra selección del tipo de túnel a diseñar, se tiene:

- Poseer un número de Reynolds superior a 1.0×10^6 m⁻¹.
- Poder crear velocidades comprendidas entre 4 m/s hasta 65 m/s.
- Costos bajos de construcción.
- Posibilidad de hacer visualización con humos.
- Facilidad de manufactura.

Para nuestro caso en particular, el túnel de circuito abierto resultó ser la mejor opción. Cumpliendo con la mayoría de los requerimientos antes expuestos.

Con el objetivo de poder emplear objetos cuya envergadura máxima fuera 0.8m, se diseñó la sección de prueba con dimensiones de 0.92m x 0.92m y una longitud de 2m; esto permite obtener números de Reynolds mayores a 3.0×10^6 1/m para maquetas de 0.8m de envergadura.

Tabla 1. Propiedades del aire a diferentes temperaturas

Temperatura	15°C	20°C	30°C
μ (Kg/m-s)	1.80E-5	1.83E-5	1.83E-5
ρ (Kg/m ³)	1.225	1.204	1.164
v (m/s)	65	65	65
D (m)	0.8	0.8	0.8
Re (1/m)	3.53E+6	3.43E+6	3.31E+6

2.2 Configuración estructural del túnel de viento

Para determinar las diversas zonas que componen el túnel de viento se analizaron diversos modelos propuestos por otros investigadores.

Se inició dimensionando la sección de prueba para poseer un área antes mencionada, para velocidad máxima expuesta con anterioridad. Ver tabla 1.

El diseño de la contracción es muy sensitiva y demorada; requirió más de tres meses de estudios de diversos modelos, propuestos por diversos

investigadores [15-23]. Se procedió a desarrollar la geometría propuesta y llevar a cabo la simulación de la misma. Las limitaciones de algunos de estos modelos reducían significativamente las cargas de presión, la pérdida de uniformidad del flujo, se producían desprendimiento en la contracción y zona de prueba, siendo el modelo más prometedor el presentado por [14].

A partir de este modelo se procedió a realizar diversas modificaciones geométricas hasta obtener el siguiente modelo propio, el cual es el empleado en nuestro actual estudio.

$$y(x) = 0.8688 + 1.0197 \cdot x - 1.0992 \cdot x^2 + 0.252 \cdot x^3 \quad (1)$$

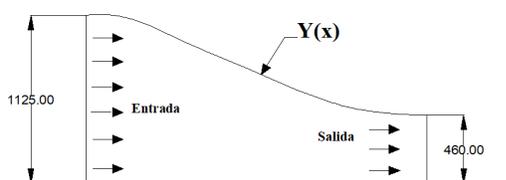


Figura 1. Dimensiones y modelo de la contracción.

La metodología empleada en el desarrollo de la Contracción del túnel de viento, siguiente; nos permitió evaluar la gran cantidad de correlación para el diseño de la contracción.

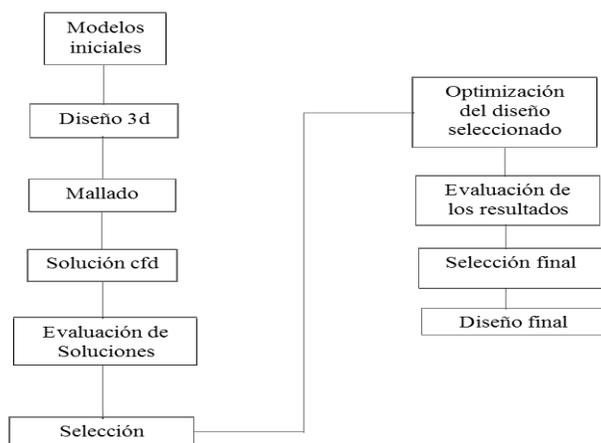


Figura 2. Metodología de desarrollo de la contracción.

Posteriormente se procedió a determinar las dimensiones del difusor, para ellos se empleó el modelo propuesto por [4], teniendo en cuenta el radio hidráulico de la sección de prueba, el ángulo máximo sugerido 6° para todo el difusor, la relación (A_R) entre el área de la salida del difusor y el área de la sección de prueba(D_1).

$$\theta_e = \text{actan} \left(\frac{1}{2} \frac{\sqrt{A_R - 1}}{\frac{L}{D_1}} \right) \quad (2)$$

Para el área de salida del difusor se empleó una relación de área 2.2, las sugerencias más modernas como [2], sitúan esta relación de área entre $1.5 < A_R < 6$. Esto permitió obtener una longitud del difusor (L) de 4.3 m de largo, logrando el correcto desarrollo del perfil de velocidad del fluido.

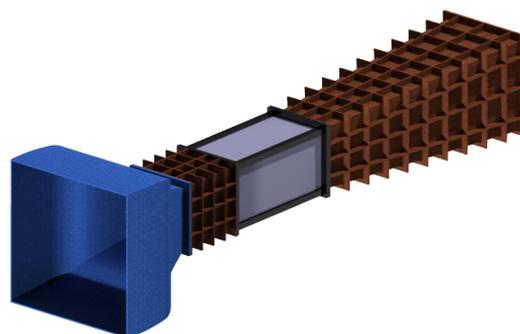


Figura 3. Túnel de viento.

La selección del ventilador obedece a las necesidades de flujo y las pérdidas que este debe superar, producida por las diversas secciones que comprenden el túnel de viento. Para ello se procedió a determinar el flujo de aire en la sección de prueba para condiciones de temperatura de 30°C, siendo este flujo $51.55 \text{ m}^3/\text{s}$ y la pérdida a través de los componentes del túnel de viento, como se observará en las siguientes secciones.

A partir de esto se seleccionó un ventilador axial, el cual posee un motor eléctrico de 300Hp y capacidad de 0.55 psi (0.038 bar). Este tipo de ventiladores poseen aplicaciones donde se requiere mover grandes cantidades de aire como baja resistencia al flujo y producir un incremento de presión máximo de 1.05 bar.

La eficiencia del ventilador se puede obtener empleando la siguiente ecuación:

$$\eta = 1 - \left[\frac{\epsilon_m}{\phi} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1 - \theta^3}{1 - \theta^2} + (1 - \eta_p) \cdot \frac{\phi^2}{\psi} \right] \quad (3)$$

Donde ϵ_m se refiere al índice de frotamiento, ϕ y ψ son coeficientes de flujo y el coeficiente de trabajo, ν es el coeficiente de rozamiento, η_p eficiencia isentrópica [24][25].

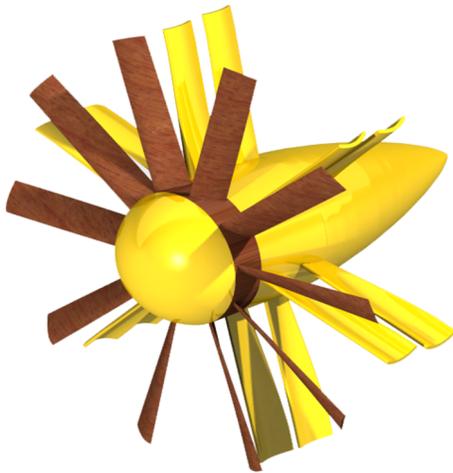


Figura 4. Ventilador axial.

En la tabla siguiente se muestra las características técnicas del ventilador seleccionado.

Tabla 2. Características del Ventilador Axial

Características del ventilador	
ψ	0.514
ϕ	0.329
$\eta_{\text{vol.}} (\%)$	93.8
$\eta_{\text{mec.}} (\%)$	91
$\eta_{\text{aero.}} (\%)$	80
ΔP (bar)	0.038
Q (m ³ /h)	185,500
# Alabes	10
Rpm max del motor	1750
Perfil Aerodinámico Naca	6309

Nuestro ventilador axial, posee un cuerpo aerodinámico, el motor eléctrico dentro de una carcasa fuselada y Vanes Guide (straighteners) o enderezador de flujo, que permite disminuir torbellino (swirl) producido por las alabes del rotor del ventilador. El diseño y desarrollo de ventiladores axiales no es algo trivial [28-40].

Para este ventilador se tiene un rendimiento volumétrico como lo muestra la figura 5.

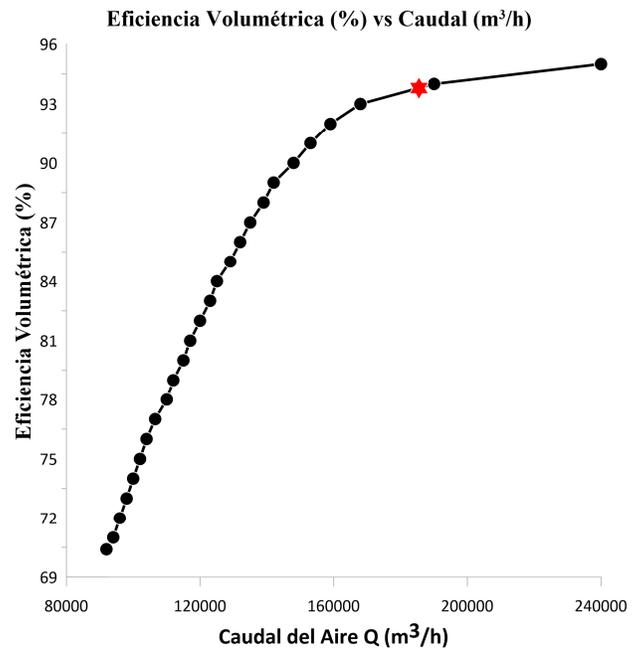


Figura 5. Eficiencia volumétrica del ventilador axial.

2.3 Cálculo de pérdidas en componentes del túnel de viento

Para la correcta selección o diseño del ventilador, el cual creará la corriente de aire necesaria en el túnel de viento, se requerirá conocer, una vez determinadas las dimensiones de este, las diversas pérdidas de presión producidas por cada uno de ellos, las cuales se deben a la viscosidad de fluido y son calculadas por la ecuación de Darcy-Colebrook [26]:

$$\Delta P_f = \zeta \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (4)$$

ΔP_f se refiere a la pérdida por fricción; ζ es el factor de fricción; L es la longitud del ducto; D es el diámetro hidráulico; ρ es la densidad del fluido y v la velocidad promedio.

Por lo tanto, es necesario emplear la correlación de Colebrook [27], para determinar el factor de fricción:

$$\frac{1}{\sqrt{\zeta}} = 2 \cdot \log_{10}(R_e \sqrt{\zeta}) - 0.8 \quad (5)$$

La potencia del ventilador y su consumo eléctrico están ligados a las pérdidas de presión, la forma de la sección transversal del túnel de viento, la geometría de las partes que conforman el túnel de viento, al igual que sus longitudes; así se verán reflejadas en el cálculo de pérdidas.

Otro tipo de pérdidas que deben ser estimadas, son dinámicas que resultan de las perturbaciones del flujo causados por equipos montados en los conductos, accesorios, cambios de dirección del flujo de aire y de área.

Para ellos es necesario determinar coeficiente de pérdida local. El coeficiente adimensional K es usado para definir la pérdida de presión en conductos, este coeficiente que tiene el mismo valor en corrientes dinámicas similares.

$$K = \zeta \cdot \frac{L}{D} \quad (6)$$

Donde, L es la longitud del conducto y D es el diámetro hidráulico del conducto.

Para ello se determinan las pérdidas para cada uno de los componentes que lo conforman:

Se utilizó el Honeycomb el cual tiene como objetivo proveer una corriente constante y uniforme en toda la sección de prueba del túnel de viento y reducir la turbulencia. Para determinar las Pérdidas dinámicas, y determinar las pérdidas en el Honeycomb, la ecuación es la siguiente [13]:

$$K = \lambda \cdot \left(\frac{L}{D_{hc}} + 3 \right) \left(\frac{A}{A_{flow}} \right)^2 + \left(\frac{A}{A_{flow}} - 1 \right)^2 \quad (7)$$

Donde λ es el coeficiente de fricción basado en el Honeycomb, L es la longitud del conducto y D_{hc} es el diámetro hidráulico del conducto, A hace referencia a la sección transversal, A_{flow} se refiere el área de la sección transversal de flujo, y la estimación de λ se realizó a través de la siguiente expresión:

$$\lambda_h = \begin{cases} 0.375 \cdot \left(\frac{\Delta}{D} \right)^{0.4} \cdot Re_{\Delta}^{-0.1} & \text{para } Re_{\Delta} \leq 275 \\ 0.214 \cdot \left(\frac{\Delta}{D} \right)^{0.4} & \text{para } Re_{\Delta} > 275 \end{cases} \quad (8)$$

Donde Δ es la rugosidad de la superficie del Honeycomb, Re_{Δ} se refiere al número de Reynolds basado en la rugosidad del material y D es el diámetro de la celda de Honeycomb.

También se requiere de la instalación de una malla posterior al Honeycomb. Su función principal es disipar la turbulencia de escala que el Honeycomb no puede disipar. El Honeycomb reduce o elimina los componentes de velocidad transversal, así como la turbulencia transversal. La misma malla es empleada en

la parte delantera del ventilador, previendo protección instalada al mismo, la cual está situada antes del ventilador. Al estar produciendo pérdidas debido a la alta velocidad del flujo de aire en esta zona, aparte, provee control de separación de flujo.

Para determinar las pérdidas dinámicas a través de la malla que se encuentra en la parte posterior del Honeycomb; así como también la que se encuentra antes del ventilador, es posible emplear la siguiente expresión [4]:

$$K_m = K_{malla} \cdot K_{Rn} \cdot \sigma_s + \frac{\sigma_s^2}{\beta_s^2} \quad (9)$$

$$K_{Rn} = 0.785 \cdot \left(\frac{Re_w}{241} + 1.0 \right)^{-4} + 1.01 \quad (10)$$

$$\beta_s = (1 - d_w \cdot \rho_m)^2 \quad (11)$$

$$\rho_m = \frac{1}{W_m} \quad (12)$$

Donde K_m es la pérdida debido a la malla, K_{malla} es llamado factor, de malla, K_{Rn} es el factor de sensibilidad, σ_s es la solidés de la malla y β_s es la porosidad, ρ_m se refiere a la densidad de la malla, W_m es el ancho de una celda de malla cuadrada y d_w es el diámetro del alambre.

La pérdida debido a la fricción en la contracción puede ser estimada a través de la siguiente ecuación:

$$K_{ct} = 0.32 \cdot \zeta \cdot \frac{L}{D_{ct}} \quad (13)$$

Donde ζ es el factor de fricción, L es la longitud de la contracción y D_{ct} es el diámetro hidráulico de la contracción y 0.32 es una constante de la ecuación.

Por otra parte, la pérdida debido a la contracción del túnel de viento debe cuantificarse. Por lo tanto, es importante determinar dicha pérdida a través de la siguiente expresión:

$$K_{ct} = 0.32 \cdot \zeta_m \cdot \frac{L_d}{D_{hc}} \quad (14)$$

Donde ζ_m se refieren al factor de fricción, L_d es la longitud de la contracción y D_{hc} es el diámetro hidráulico de la sección de trabajo. El factor de fricción no es más que:

$$\zeta_m = \frac{\zeta_f + \zeta_{ct}}{2} \quad (15)$$

Por lo tanto, es necesario emplear la correlación de Colebrook nuevamente.

La estimación de la pérdida de carga en las secciones constantes como la sección de prueba y la sección antes de ella se empleó la siguiente ecuación:

$$K_{ct} = \zeta \cdot \frac{L_d}{D_{hc}} \quad (16)$$

Donde ζ , L_d , D_{hc} se refieren al factor de fricción, la longitud de la contracción y el diámetro hidráulico de la sección de pruebas, respectivamente.

En el difusor, al igual que otros componentes de túnel de viento, produce pérdidas. La mecánica de fluidos de los difusores es compleja, ya que el flujo puede depender de los detalles de los perfiles de flujo entrantes, que pueden variar con las configuraciones específicas del modelo de nuestro diseño del túnel de viento; pero muchos autores [4][37], sugieren emplear las siguientes ecuaciones para determinar las pérdidas.

$$K_D = K_f + K_{Exp} \quad (17)$$

$$K_f = \left(1 - \frac{1}{A_R^2}\right) \cdot \frac{\zeta}{8 \cdot \sin \theta} \quad (18)$$

$$K_{Exp} = K_e(\theta) \left(\frac{A_R - 1}{A_R}\right)^2 \quad (19)$$

$$A_R = \frac{A_2}{A_1} \quad (20)$$

$$K_e(\text{Cuadrada}) = 0.1709 - 0.170 \cdot \theta + 0.03260 \cdot \theta^2 + 0.001078 \cdot \theta^3 - 0.0009076 \cdot \theta^4 - 0.00001331 \cdot \theta^5 + 0.00001345 \cdot \theta^5 \quad (21)$$

Donde K_D se refiere a la pérdida del difusor, ζ es el factor de fricción, K_f se refiere a la pérdida por fricción, K_{Exp} no es más que la pérdida por la expansión, $K_e(\theta)$ es un factor el cual depende de la sección transversal del difusor empleado para determinar el factor de pérdida por la expansión empleada en una correlación cuyos límites de validés se encuentran entre 1.5° y 5° , A_R se refiere la relación de área, siendo A_1 el área de entrada al difusor, A_2 es el área de salida del difusor, θ no es más que el ángulo del difusor.

El enderezador de flujo es empleado para eliminar la rotación del fluido. Lo que se persigue al emplearlo es recuperación de presión; para determinar la pérdida de presión del enderezador de flujo se emplea la siguiente ecuación:

$$K_{th} = \frac{2}{\lambda} (\varepsilon_s - \varepsilon_p) \quad (22)$$

$$\lambda = \frac{u}{\Omega \cdot r} \quad (23)$$

$$\varepsilon_s = \frac{w_s \cdot r}{u} \quad (24)$$

$$\varepsilon_p = \frac{w_p \cdot r}{u} \quad (25)$$

Donde ε_s es el coeficiente de torbellino a la salida del ventilador, ε_p es el coeficiente de torbellino a la entrada del ventilador y λ no es más que el coeficiente de flujo, u se refiere a la velocidad axial, w_p , w_s son los componentes tangenciales de la velocidad.

2.4 Modelado Numérico CFD

Esta sección presenta la descripción general del diseño de túnel de viento de circuito abierto y el modelado dinámico de fluidos computacional (CFD), empleando Ansys Fluent. El dominio computacional consta de cuatro dominios básicos que son: la contracción, la sección de prueba, el difusor y el ventilador. Como muestra, a continuación:

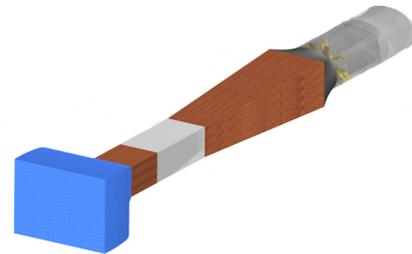


Figura 6. Dominio computacional.

El modelo CFD permitirá la obtención de información no suministrada por el diseñador y vendedor del ventilador, además de información muy importante como son los perfiles de velocidad en la zona de pruebas, los datos de velocidad axial antes y después del ventilador, que permita calcular los coeficientes de torbellinos; facilitando la evaluación de posibles zonas donde es posible la recirculación del aire, permitiendo evaluar y modificar la geometría inicial del diseño.

Aparte de los cuatro dominios básicos, se incluyó en la simulación (CFD) la sección del ventilador, aumentando el tiempo de simulación y elementos empleados durante la misma.

Para ello se ha requerido realizar la discretización del dominio de cálculo el cual está conformado por los cuatro dominios básicos y la zona del ventilador, empleando para ellos volúmenes finitos y una malla ortogonal estructurada hexaédrica.

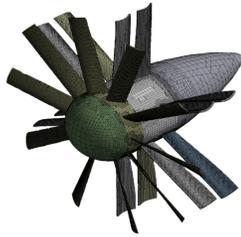


Figura 7. Discretización del ventilador axial.

Inicialmente se creó una malla estructurada hexaédrica ortogonal con 900,000 celdas, posteriormente se procedió a realizar una independencia de malla [41] hasta obtener una malla final con 3,200,000 de celdas y un error de continuidad del fluido menor a 0.01%.

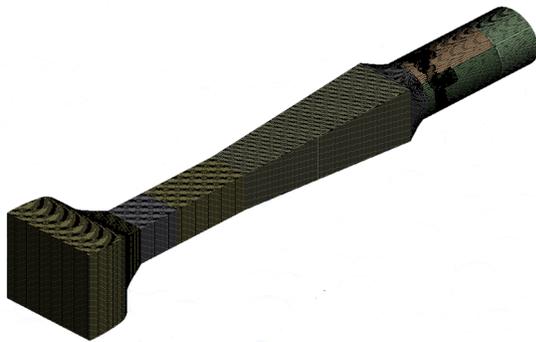


Figura 8. Discretización del dominio computacional.

Se emplearon inicialmente los modelos K-ε (estándar) y K-w (sst); durante el proceso de independencia de malla, el modelo K-ε resultó más atractivo debido al tiempo de convergencia relativamente menor que el modelo K-w.

El modelo K-ε [42] es un modelo ampliamente utilizado en CFD, emplea dos ecuaciones para describir turbulencia. Estas se emplean para definir la escala de velocidad v y l para definir la longitud de la escala.

$$v = K^{\frac{1}{2}} \tag{26}$$

$$l = \frac{k^{\frac{3}{2}}}{\epsilon} \tag{27}$$

El modelo K-ε estándar emplea cinco constantes de ajuste ya predefinidas las cuales son:

$$C_u = 0.09; \sigma_k = 1.00; \sigma_\epsilon = 1.30; C_{1\epsilon} = 1.44; C_{2\epsilon} = 1.92$$

Las anteriores constantes de ajuste de dicho modelo fueron obtenidas a través de experimentación y ajuste durante el desarrollo de este modelo [43]. Cabe resaltar que estos tipos de modelos están apoyadas en muchas suposiciones y simplificaciones; pertenecen a grupo de modelos clásicos empleados en CFD basados en el enfoque de soluciones de las ecuaciones de Navier-Stokes, promediadas de dichas ecuaciones.

El y^+ de esta malla es de 350 [41], ubicándonos en la zona donde la turbulencia predomina. Por ende no se está tratando de solucionar la capa límite en nuestro diseño preliminar; si no que será tema de los siguientes *papers* sobre este diseño preliminar. Resolver la capa límite o tener una aproximación requiere usar funciones de pared, requerirá de alto costo computacional por el refinamiento de la malla en la cercanía de las paredes a lo largo del túnel de viento.

3. Resultado

Los resultados siguientes no permiten conocer las pérdidas para cada sección del túnel de viento con el fin de seleccionar correctamente el ventilador axial que cubra todas las pérdidas del túnel de viento.

Tabla 3. Pérdida de presión por componentes del túnel de viento

Componentes	HI (Teórico)	HI (CFD)	% Error
Contracción	0.355	0.3539	0.31
Adicional	44,24	40.72	7.8

Sección de pruebas	85.40	83.99	1.65
Difusor	43.68	49.12	11.08

La anterior tabla muestra un error de los cálculos teóricos vs los experimentales. Los mayores errores se encuentran en el difusor debido a las turbulencias que se generan debido al ventilador. Por lo general, es el componente de mayor contribución de pérdidas en el túnel de viento. Se debe buscar su correcto dimensionamiento para mantener un flujo lo más uniforme posible en todas las áreas del túnel de viento y evitar separación de flujo.

En trabajos futuros debe mejorarse la malla del difusor, incluirse la cámara de tranquilización (honeycomb y sus mallas, las paredes del recinto donde se instalará el túnel de viento debe ser incluidas en la simulación). Esto permitirá un estudio más detallado del túnel de viento, así como optimizar la geometría, eliminar oscilaciones, flujo que podría llegar a ocurrir a medida que detalle el túnel de viento.

Se debe tener en cuenta la existencia de una gran cantidad de incertidumbre por parte de los fabricantes en cuanto a la rugosidad que presentan los materiales empleados en la simulación. Esto podría disminuir el error mostrado en la tabla 3.

También disminuir el Y^+ empleado en nuestro modelo $K-\epsilon$ hasta un rango $5 < Y^+ < 40$, actualmente no encontramos con un Y^+ de 350. Debemos aclarar que los resultados expuestos a la fecha en este rango expresan los componentes de velocidad de una manera eficaz; resultado de correlacionar el perfil de velocidad basada en la teoría existente a la fecha [44] [45].

El resultado de la simulación en la imagen nos muestra una relación de presión constante en la mayor parte del túnel de viento. Los reportes sobre caída de presión en el túnel de viento muestran un promedio de 2335.7889 Pa que equivale a 0.337 psi, una diferencia con nuestros datos teóricos de 0.38 psi, en condiciones de velocidad en la sección de prueba de 65m/s.

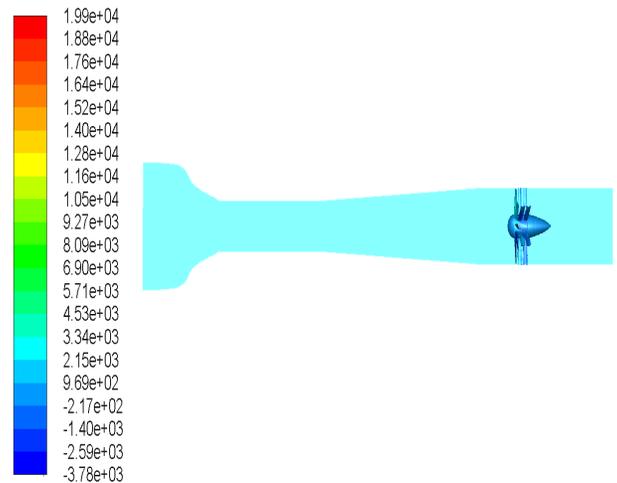


Figura 9. Relación de Presión en el Túnel de Viento.

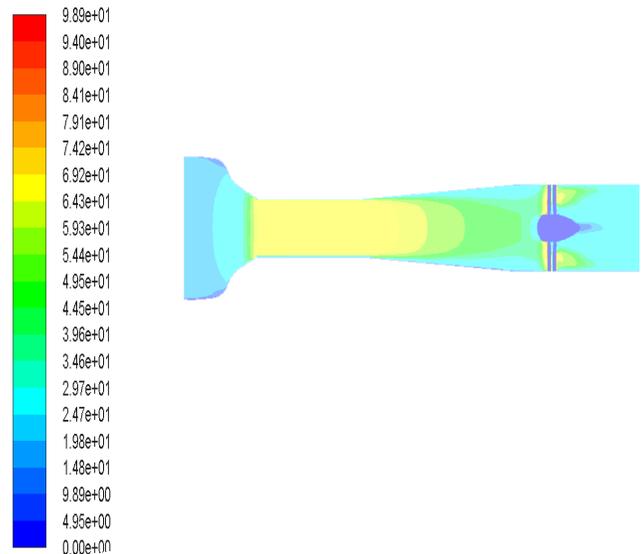


Figura 10. Velocidades en el interior del túnel de viento.

En la imagen observamos el desarrollo del perfil de velocidades para la condición de velocidad 65 m/s. Se observa claramente un perfil de velocidad desarrollado para esta condición de interés. Dicho perfil está desarrollado desde la contracción, sin ningún tipo de perturbación debido al correcto dimensionamiento, no solo de la contracción sino del conjunto completo.

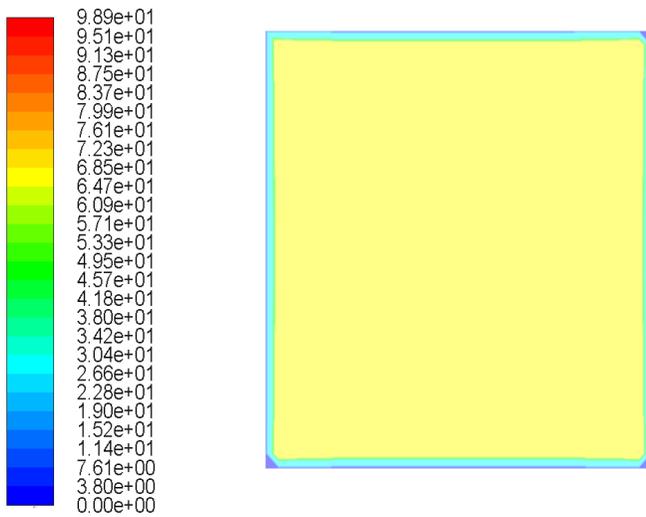


Figura 11. Velocidad a la entrada a la sección de pruebas.

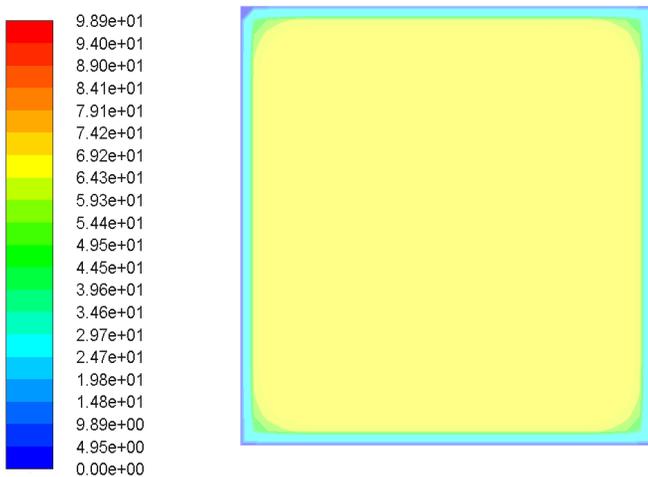


Figura 12. Velocidad a la salida a la sección de pruebas.

Se observa una disminución de la velocidad entre salida (62.9 m/s) y la entrada (68.5 m/s) de la sección de pruebas (figuras 11 y 12). El patrón visual de la distribución de velocidad en ambas secciones muestra claramente uniforme y, a medida que el fluido se acerca a la pared, una disminución de dicha velocidad. Las esquinas de dicha sección poseen velocidades muy cercanas a cero.

En la imagen anterior se observa el punto de operación del ventilador (punto azul). La curva en negro hace referencia al sistema mientras que la curva en rojo es el caudal del ventilador vs su presión diferencial. El ventilador cumple con las pérdidas en el túnel de viento.

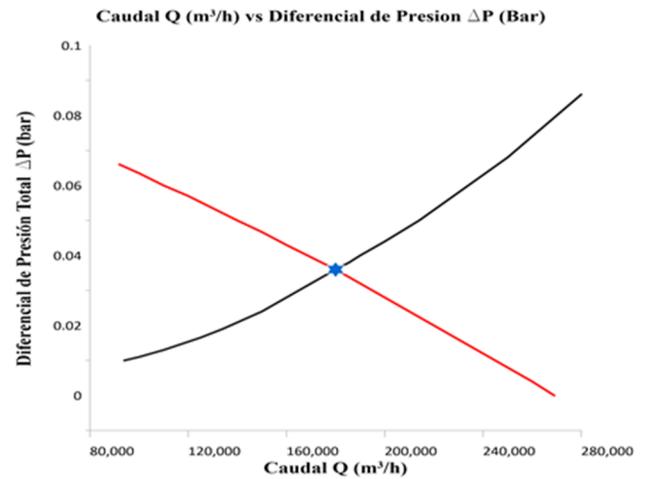


Figura 13. Curva Característica del ventilador axial caudal (m³/s) vs diferencia de presión (bar).

En la imagen anterior se observa el punto de operación del ventilador (punto azul). La curva en negro hace referencia al sistema mientras que la curva en rojo es el caudal del ventilador vs su presión diferencial. El ventilador cumple con las pérdidas en el túnel de viento.

4. Conclusiones

- Se desarrolló una nueva correlación para el diseño de contracción para túnel de viento abierto, ecuación (1).
- El empleo de la dinámica de fluido computacional (CFD) permitió evaluar dicha correlación y obtener datos no facilitados por el fabricante del ventilador axial.
- La dinámica de fluido computacional (CFD) para determinar la presión necesaria que debe proveer el ventilador axial para solventar todas las pérdidas en nuestro túnel de viento, muestra claramente que es 11.31% menor que las estimadas teóricamente, ya que no toma en cuenta las pérdidas por fugas que puedan darse.
- La poca documentación sobre el diseño básico de ventiladores axiales empleados para este fin.
- La baja eficiencia del ventilador 68.3% hace necesario un diseño futuro.
- Las siguientes partes de esta publicación permitirán incorporar el análisis de capa límite no desarrollado en este manuscrito (papers), al igual que mostrar perfiles de velocidad más detallados e incluir gráficas de velocidad a lo largo de la sección de prueba y túnel de viento, tener en cuenta aspectos como Honeycomb, malla y las dimensiones posibles de sitio donde se

llevará a cabo su construcción con el fin de poder simular las paredes, toma de aire, etc.

- El diseño final y su construcción permitirá la realización de diversas investigaciones relacionadas con mecánica de fluidos, aerodinámica, dispersión de emisiones contaminantes, cargas sobre edificaciones, etc.

5. Agradecimiento

Agradecemos al Doctor Oscar Garibaldi por sus acertadas sugerencias y de igual modo al Doctor John Sullivan. El reconocimiento a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) por el apoyo financiero.

6. Referencias

- [1] C. A., Quispe, W. J., Urcuhuaranga, J. E. Chiroque. "Diseño Aerodinámico de un Túnel de Viento de Bajas Velocidades". Revista de Investigación de Física vol. 17, 1417001601, 2014.
- [2] G. Johl, M. Passmore, P. Render. "Design Methodology and Performance of an Indraft Wind Tunnel". The Aeronautical Journal, vol. 108, pp. 465-473, 2004.
- [3] R.C. Pankhurst, D.W. Holder. "Wind Tunnel Technique an Account of Experimental Methods in Low and High Speed Wind Tunnels". Pitman & Sons, 1952, pp. 117-130.
- [4] J.B. Barlow, W.H. Rae, A. Pope. "Low Speed Wind Tunnel Testing". John Wiley & Sons, 1999, pp. 19-120.
- [5] P. Bradshaw, R.C. Pankhurst. "The Design of Low Speed Wind Tunnel". Progress in Aerospace Sciences, vol.5, pp 1-69, 1964.
- [6] B. Celis, H. H. Ubbens. "Design and Construction of an Open Circuit Wind Tunnel with Specific Measurement for Cycling". Procedia Engineering, vol. 147, pp. 98-103, 2016.
- [7] N.J. Cook. "A Boundary Layer Wind Tunnel for Building Aerodynamics". Journal Industrial Aerodynamics, vol. 1, pp. 3-12, 1975.
- [8] J.E. Cermak. "Wind Tunnel development and Trends in Applications to Civil Engineering". Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 91, pp. 355-370, 2003.
- [9] H. A. Al Nehari, A.K. Abdel Rahman, A. El Moneim Nassib, H.M. Shafey. "Design and Construction of a Wind Tunnel for Environmental Flow Studies". Journal of Engineering Sciences, Assiut University, vol. 38, pp. 177-193, 2010.
- [10] G. Dianna, S. De Ponteb, M. Falcoa, A. Zasso. "A New Large Wind Tunnel for Civil Environmental and Aeronautical Applications". Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 74, pp. 553-565, 1998.
- [11] M. A. Gonzalez Hernandez, A.I. Moreno López, A., Artur, J.M. Perales Perales, Y. Wu, S. Xiaoxiao. "Design Methodology for a Quick and Low-Cost Wind Tunnel". Wind Tunnel and Their Diverse Engineering Applications, Intech, 2013.
- [12] B.H. Goethert. "Transonic Wind Tunnel Testing". Dover Publications, 2007, pp. 2-29.
- [13] W. T. Eckert, K.W. Mort, J. Joep. "Aerodynamic Design Guidelines and Computer Program for Estimation of Subsonic Wind Tunnel Performance". Nasa TN D-8243, 1976.
- [14] R.D. Metha, P. Bradshaw. "Design rules for Small Low Speed Wind Tunnels". The Aeronautical Journal, vol.83, pp. 443-449, 1979.
- [15] J.H. Bell, R.D. Metha. "Boundary Layer Predictions for Small Low Speed Contractions". AIAA, vol. 27, pp. 372-374, 1989.
- [16] D.Brassard, M. Ferchichi. Transformation of a Polynomial for a Contraction Wall Profile". ASME Journal Fluid Engineering, vol. 127 (1), pp. 183-185, 2005.
- [17] J. H. Watmuff. "Wind Tunnel Contraction Design". 9th Australasian Fluid Mechanics Conference, Auckland, pp. 8-12, 1986.
- [18] R. Harrop. "A Method for Designing Wind Tunnel Contractions". Journal of the Aeronautical Society, vol.55, pp 169-180, 2016.
- [19] A.S Abdelhamed, Y. El-S Yassen, M.M. ElSakka. "Design Optimization of Three Dimensional Geometry of Wind Tunnel Contraction". Ain Shams Engineering Journal, vol. 6, pp. 281-288, 2015.
- [20] L. Leafsome, S. Koziel, F. Andrason, K. Magnusson, A. Gylfason. "Numerical Optimization and Experimental Validation of a Low Speed Wind Tunnel Contraction". Procedia Computer Science vol. 9, pp.822-831, 2012.
- [21] N. Nordin, Z.A. Abdul Karim, S. Othman and V. R. Raghavan. "Design and Development of Low Subsonic Wind Tunnel for Turning Diffuser Application. Advanced Materials Research, vol. 614-615, pp. 586-591, 2012.
- [22] Q.Y. Nguyen. "Designing, Construction and Testing a Low Speed Open Jet Wind Tunnel". Journal of Engineering Research and Applications, vol. 4, pp. 243-246, 2014.
- [23] Y.H. Kao, Z.W. Jiang, S.C. Fang. "A computational Simulation Study of Fluid Mechanics of Low Speed Wind Tunnel Contractions". Fluid, vol. 2, 23, 2017.
- [24] A. Luszczewski. "Redes industriales de tubería, bombas para agua, ventiladores y compresores". Reverte, 1999, pp. 223-277.
- [25] V. Dakshina Murty. "Turbomachinery Concepts, Applications and Design". CRC press, 2018.
- [26] C.F. Colebrook. Turbulent Flow in Pipes, with Particular Reference to the Transition between the Smooth and Rough Pipe Laws". Journal of the Institute of Civil Engineers, vol.11, pp. 133-156, 1939.
- [27] C.F. Colebrook, M. White. "Experiments with Fluid in Roughened Pipes". Proceeding of the Royal of London. Series

- A, Mathematical and Physical Sciences, vol. 161 (906), pp. 367-381, 1937.
- [28] A. Betz. "Introduction to the Theory of Flow Machines". Pergamon Press, 1966, pp. 161-167.
- [29] J.C. Páscoa. "Turbomaquinas – Uma Abordagem Moderna". Engebook, 2017, pp. 147-181.
- [30] R.A. Wallis. "Axial Flow Fans Design and Practice". Academic Press, 1961.
- [31] S.L. Dixon & C., Hall. "Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery". Butterworth-Heinemann, 2014, pp. 265-316.
- [32] E. Logan. "Turbomachinery: Basic Theory and Applications". CRC Press, 1993, pp. 109-136.
- [33] A.J. Stepanoff. "Turboblowers: Theory, Design and Application of Centrifugal and Axial Flow Compressor and Fans". John Wiley & Sons, 1955, pp. 277-308.
- [34] E. Dick. "Fundamental of Turbomachines". Springer, 2014, pp. 97-151.
- [35] T. Wright and P.M., Gerhart. "Fluid Machinery". CRC Press, 2009, pp. 125-149.
- [36] S.M. Yahya. "Turbines, Compressors and Fans". Tata Mc Graw Hill, 2011, pp. 639-666.
- [37] G. A. pignone, U. R. Vercelli. "Turbomacchine. Elementi Teorici e Progettuali-Compressori-Turbine-Ventilatori-Eliche". Ulrico Hoepli, 1991, pp. 123-207.
- [38] M.P. Encinas. "Turbomaquinas Hidraulicas". Limusa, 1976, pp.176-193.
- [39] M.P. Encinas. "Turbomaquinas de Fluido Compresible: Turbocompresores, Turbinas de Gas, Turbinas de Vapor". Limusa, 1984, pp. 125-198.
- [40] R.D. Mehta. The Aerodynamic Design of Blower Tunnels with Wide Angle Diffusers". Progress Aerospace Science, vol. 18, pp. 59-120, 1979.
- [41] H.K. Versteeg & W. Malalasekera. "An Introduction to Computational Fluid". Prentice Hall, 1995, pp. 72-90.
- [42] J.M. Fernández Oro. "Técnicas numéricas en ingeniería de fluidos". Reverte, 2007, pp. 284-307.
- [43] B.E. Launder, D.B. Spalding. "The Numerical Computational of Turbulent Flows". Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, vol. 3, pp.269-289, 1974.
- [44] P.A. Durbin , B.A. Pettersson Reif. " Statistical Theory and Modelling for Turbulent Flows. John Wiley & sons, 2003, pp. 59-70.
- [45] P.A. Davidson. "Turbulence: An Introduction for Scientists and Engineers". Oxford University Press, 2007, pp. 107-131.

Siglas

μ = Viscosidad dinámica el aire

ρ = Densidad del aire

v = Velocidad del aire

D = Diámetro hidráulico

Re = Número de Reynolds

Θ_e = Angulo del difusor

A_R = Relación de áreas para el difusor

η = Eficiencia del ventilador axial

ϵ_m = Índice de frotamiento

ϕ = Coeficiente de flujo del ventilador axial

ψ = Coeficiente de trabajo del ventilador axial

η_p = Eficiencia isentrópica

$\eta_{vol.}$ = Eficiencia volumétrica del ventilador axial

$\eta_{mec.}$ = Eficiencia mecánica del ventilador axial

$\eta_{aero.}$ = Eficiencia aerodinámica del ventilador axial

ΔP = Diferencia de presión

ΔP_ζ = Pérdida debido a la fricción

K = Coeficiente adimensional de Pérdida local

L = longitud del conducto

λ = Coeficiente de fricción del Honeycomb / coeficiente de flujo

A_{flow} = Área de sección transversal de flujo

Δ = Rugosidad de la superficie del Honeycomb

Re_Δ = Numero del Reynolds basado en la rugosidad del material

D_{hc} = Diámetro Hidráulico del Honeycomb

K_m = Es la Pérdida debido a la malla

K_{malla} = Factor de malla

K_{Rn} = Factor de sensibilidad

σ_s = Solides de la malla

β_s = Porosidad

ρ_m = Densidad de la malla

W_m = Ancho de una celda de malla cuadrada

d_w = Diámetro del alambre

D_{ct} = Diámetro hidráulico de la contracción

ζ_m = Factor medio de fricción

K_D = Pérdida del difusor

K_f = Pérdida por fricción

K_{Exp} = Pérdida por expansión

$K_e(\theta)$ = Factor de pérdida dependiente de la sección transversal del difusor

ε_s = Coeficiente de torbellino

ε_p = Coeficiente de torbellino a la entrada del ventilador

u = Velocidad axial

w_{pr} = Componente tangencial de velocidad antes del rotor

w_{sr} = Componentes tangencial de velocidad justo delante del rotor.

Modelado de la isoterma de adsorción de zanahorias deshidratadas

Modelling of moisture sorption isotherms of dehydrated carrot

Marialina Anria^{1*}, Astrid González¹, Rosa I. Quintero²

¹ Facultad de Ciencias y Tecnología, Licenciatura de Ingeniería en Alimentos, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

² Ciencia y Tecnología Innovadora en Alimento (CYTIA), Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

*Autor de correspondencia: maria-lina-23@hotmail.com

RESUMEN—El comportamiento de las isotermas de adsorción es importante ya que estos garantizan la estabilidad de los productos alimenticios durante los procesos de secado, envasado y almacenamiento. En este estudio se determinó a una temperatura de $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ la isoterma de sorción de zanahoria aplicando el método de gravimetría estática en un rango de actividad de agua (A_w) entre 0.113 y 0.883. Los datos se ajustaron utilizando los modelos matemáticos GAB, BET y Henderson y la calidad del ajuste se evaluó con el coeficiente de regresión (R^2). Se obtuvo una isoterma tipo II, la cual es típica para frutas y vegetales. La humedad de la monocapa (W_0) fue ligeramente menor en el modelo de BET que en el de GAB, con valores de 0.102 y 0.125 g agua/g de m.s., respectivamente, lo cual concuerda con la literatura consultada. Todos los modelos presentaron un ajuste superior a 0.92. Sin embargo, los que mejor se ajustaron al comportamiento de los datos experimentales fue de BET y GAB, los cuales presentaron un R^2 de 0.975 y 0.994, respectivamente.

Palabras clave— Actividad de agua, deshidratado, humedad relativa, isoterma, modelado matemático, sorción, zanahoria.

ABSTRACT—The behavior of the adsorption isotherms is important since these guarantee the stability of the food products during the drying, packaging and storage processes. In this study, the carrot sorption isotherm was determined at a temperature of $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ applying the method of static gravimetry method in a range of water activity (A_w) between 0.113 and 0.883. The data were adjusted using the GAB, BET and Henderson mathematical models and the quality of the adjustment was evaluated with the regression coefficient (R^2). An isotherm type II was obtained, which is typical for fruits and vegetables. The humidity of the monolayer (W_0) was slightly lower in the BET model than in that of GAB, with values of 0.102 and 0.125 g water / g of m.s., respectively, which agrees with the literature consulted. All models presented an adjustment higher than 0.92. However, those that best adjusted to the behavior of the experimental data were BET and GAB, which presented an R^2 of 0.975 and 0.994, respectively.

Keywords— Water activity, dehydrated, relative humidity, isotherm, math model, sorption, carrot.

1. Introducción

La zanahoria (*Daucus carota L.*) es un producto que se produce a lo largo de todo el año en las tierras altas de Panamá [1] que se consume en forma fresca, procesada y deshidratadas en sopas o encurtidos [2].

Se encuentra dentro de las hortalizas de raíz más populares al ser una de las fuentes más ricas de carotenoides (11,263 $\mu\text{g}/100\text{g}$) y fibra (2.8g/100g) [3] [4].

Los carotenoides son metabolitos secundarios obtenidos de las plantas, a los cuales se les atribuye actividades antioxidantes y pueden controlar o prevenir enfermedades inducidas por radicales libres [5].

Las zanahorias crudas sufren deterioro microbiológico y bioquímico debido a ser un alimento perecedero con alto contenido de agua. Cuando son

procesadas térmicas mediante cocción, esterilización y deshidratado se puede afectar el contenido de carotenoide, el color y textura debido al incremento de procesos de oxidación [6].

Relacionar el contenido de humedad y la correspondiente actividad de agua a una temperatura determinada, se obtienen las isotermas de sorción de un producto; estas, reflejan un equilibrio entre el producto y su atmósfera. Proveen información acerca de la distribución y las formas de agua que están presentes en el producto, la intensidad de las uniones y disponibilidad de la misma [7].

En base al modo de obtención, se clasifican en isotermas de adsorción y desorción. En las primeras, se coloca la muestra seca en atmósferas de humedad relativa superior a su actividad de agua para que haya una

Citación: M. Anria, A. González y R. Quintero, "Modelado de la isoterma de adsorción de zanahorias deshidratadas", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 1, pp. (17-23), 2019.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 22 de julio de 2018. **Recibido con correcciones:** 20 de agosto de 2018. **Aceptado:** 19 de noviembre de 2018.

DOI <https://doi.org/10.33412/idt.v15.1.2093>

Copyright: 2019 M. Anria, A. González y R. Quintero. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

adsorción de agua y en las segundas, se coloca la muestra húmeda en atmósferas de humedad relativa inferior a su actividad de agua de modo que pierdan agua. En ambas, el equilibrio se alcanza cuando el peso de la muestra se mantiene constante. Sin embargo, las isotermas de adsorción y desorción para un mismo producto no suelen coincidir. La diferencia entre las curvas se observa en la figura 1, donde la isoterma de adsorción se sitúa por debajo de la desorción. La región que se encuentra entre ambas se define como histéresis.

Las isotermas se dividen en tres regiones; la región A representa la zona de baja A_w donde se encuentra el agua ligada, que incluye el agua estructural y de la monocapa. Esta agua no es congelable y no está disponible para reacciones químicas. En la región B el agua está unida más débilmente que en la región anterior y usualmente se presenta en pequeños capilares; a esta, se le conoce como zona de A_w intermedia. El agua de la región C, conocida como zona de A_w alta, es el agua libre que está encerrada en tejidos y membranas o contenida en macrocapilares [8].

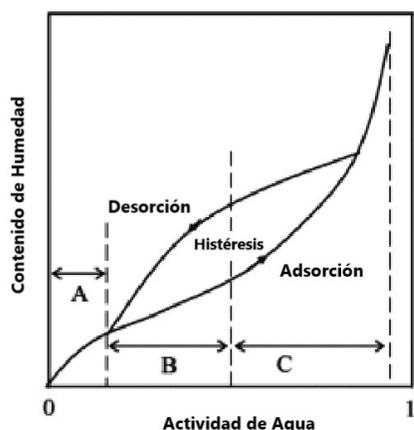


Figura 1. Isotherma de sorción típica de un producto [8].

Las isotermas de adsorción se utilizan en cuatro áreas del procesamiento de alimentos: secado, mezclado, envasado y almacenamiento [9].

La modelización de las isotermas de sorción es posterior al proceso de secado. Debido a la complejidad de los alimentos, no hay ningún modelo que se ajuste en todos los casos. Por lo tanto, cuando se aborda la modelización de un producto no estudiado previamente se debe evaluar la capacidad de ajuste de diferentes

modelos con el objetivo de disponer para la optimización de distintas ecuaciones con diferente grado de aplicabilidad [10].

El objetivo de este estudio fue obtener la isoterma de adsorción de humedad a una temperatura de 22°C de la zanahoria (*Daucus carota L.*) deshidratada y posteriormente ajustada mediante los modelos matemáticos de BET, GAB y Henderson.

2. Materiales y Métodos

2.1 Obtención de la materia prima

Las zanahorias fueron adquiridas en un supermercado de la localidad. Para la elección se tuvo en consideración tamaño, forma y uniformidad.

2.2 Preparación de la muestra y deshidratado

Las muestras fueron lavadas, peladas, pesadas y cortadas en rodajas de 3 – 5 mm de espesor. Posteriormente, colocadas en bandejas en el deshidratador de aire de temperatura controlada marca Presto, a una temperatura de 46°C por 20 horas. Al finalizar se pesaron y se colocaron en bolsas de polietileno selladas para evitar la absorción de humedad del ambiente.

2.3 Determinación de la isoterma

La determinación de la humedad de equilibrio se realizó utilizando el método estático de gravimetría a temperatura de 22°C ± 1°C.

El diseño experimental consistió en colocar una masa conocida de muestra (por triplicado) en recipientes cerrados herméticamente (desecadores), los cuales contenían soluciones de sales saturadas que proporcionaban diferentes humedades relativas. En el equilibrio, la actividad de agua (a_w) es igual a la humedad relativa del aire que rodea al producto a una temperatura determinada. Generalmente se trabaja con valores de a_w conocida (0 - 1) de acuerdo a las sales utilizadas. El valor de las actividades de agua utilizada en este estudio se muestra en la tabla 1. A cada desecador se le agregaron 150 mL de solución saturada en el fondo y la muestra se colocó en la bandeja superior en cápsulas de porcelana. En la figura 2 se muestra el sistema utilizado.

Tabla 2. Ecuaciones para el modelado de las isotermas de sorción

Modelo	Ecuación	Variables
BET	$We = \frac{W_0 \cdot C \cdot Aw}{(1 - Aw) \cdot (1(C - 1) \cdot Aw)}$	W_0 : humedad del producto correspondiente a una capa monomolecular de agua adsorbida. C : constante característica del material relacionada con el calor desprendido en el proceso de sorción.
GAB	$We = \frac{W_0 \cdot C \cdot K \cdot Aw}{(1 - K \cdot Aw) \cdot (1 + (C - 1) \cdot K \cdot Aw)}$	W_0 : humedad del producto correspondiente a la situación en que los puntos de adsorción primarios están saturados por moléculas de agua. C : constante de Guggenheim, característica del producto y relacionada con el calor de adsorción de la monocapa. K : factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa.
Henderson	$We = 0.01 \left(\frac{-\log(1 - Aw)}{10^f} \right)^{1/n}$	n y f : son parámetros característicos del producto.
Smith	$We = B + A \cdot \ln(1 - Aw)$	A y B : constantes del modelo y características para cada alimento.
Oswin	$We = C \left(\frac{Aw}{1 - Aw} \right)^n$	C y n : constantes del modelo y características para cada alimento.

Fuente: Navarrete [11] y Zapata [12]

Tabla 1. Soluciones de sales saturadas, humedad relativa (%HR) y su respectiva actividad de agua (A_w)

Sal	%HR	A_w
LiCl	11.3	0.113
KF	27.3	0.273
CoCl2	46.74	0.467
NaBr	57.57	0.576
KI	68	0.680
NaCl	75.3	0.753
KCl	84.43	0.843

Se controló el peso de la muestra cada 5 días hasta obtener un peso constante (condición de equilibrio). Se consideró como condición de equilibrio cuando ya no hubiese variación dentro de los límites del equipo utilizado.



Figura 2. Desecador con las muestras y la solución de sal saturada.

Previo a los ensayos de humedad de equilibrio, se determinó por triplicado la humedad inicial de la zanahoria fresca y deshidratada utilizando una balanza de humedad marca Precisa modelo XM50.

2.4 Modelado de la isoterma de sorción

Se graficó el contenido de humedad de equilibrio contra la actividad de agua para la obtención de las isotermas de sorción de la zanahoria. En la tabla 2 se presentan diferentes ecuaciones para modelar las isotermas de sorción, sin embargo, en esta investigación solo se trabajó con los modelos de BET, GAB y Henderson.

Los datos experimentales se trabajaron con estos modelos y se evaluó el mejor ajuste para producto elegido, mediante el coeficiente de correlación lineal (R^2) para determinar.

3. Resultados y Discusión

3.1 Preparación de la muestra y deshidratado

La humedad inicial de la zanahoria fresca fue de 0.8875 g de agua / g de producto. Luego del proceso de deshidratado se redujo a 0.1266 g agua / g de materia seca. En la figura 3 se muestra la pérdida de peso de la zanahoria durante la deshidratación en función del tiempo. Esta pérdida de peso es referente al agua que se elimina durante este tratamiento. Por lo tanto, se consigue una disminución del contenido de humedad, como se muestra en la figura 4. Se puede observar que la mayor pérdida de agua ocurre durante las primeras 3.5 horas y se alcanza un peso constante a las siete horas utilizando una temperatura de 46°C.

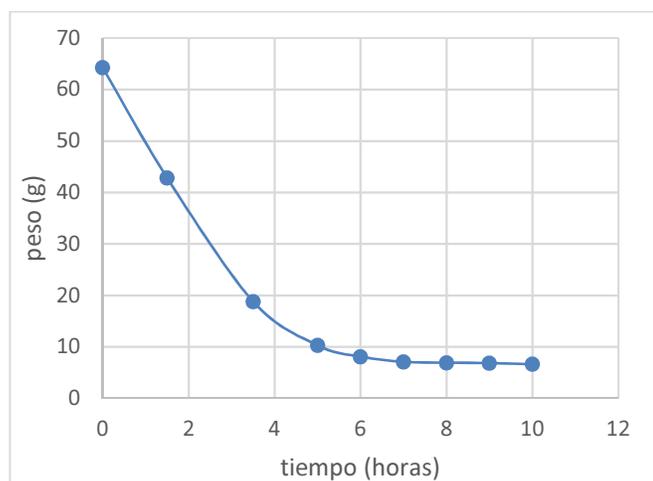


Figura 3. Pérdida de peso del producto fresco en función del tiempo durante el proceso de deshidratación.

Este comportamiento concuerda con los estudios realizados por Lee [13] y Sonmete, Menges, Ertekin y Özcan [14], quienes midieron las características de

secado de rebanadas de zanahoria de diferentes espesores a temperaturas de 50°C y 55°C, respectivamente. Las rebanadas de 3mm de espesor alcanzaron la condición de equilibrio a las siete horas para la temperatura de 50°C y a las cuatro horas para la temperatura de 55°C.

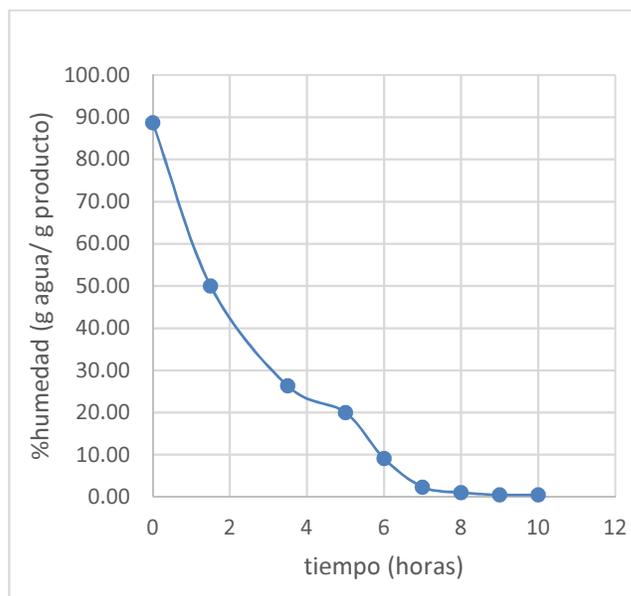


Figura 4. Disminución del contenido de humedad durante el proceso de deshidratado.

3.2 Determinación de la isoterma

En la figura 5 se muestran los datos de humedad de equilibrio en función de la actividad de agua a una temperatura de 22°C ± 1 °C. Se obtuvo una isoterma de tipo II, según la clasificación de Van der Waals, la cual es típica para alimentos como frutas y verduras [12].

Por otra parte, Eim, Rosselló, Femenia y Simal [15] obtuvieron las isotermas de zanahorias deshidratadas a cinco temperaturas diferentes y sus resultados arrojaron una isoterma tipo III, lo cual asociaron al alto contenido de azúcares y carbohidratos (cerca del 81% en materia seca) que se disolvieron y cambiaron la estructura cristalina del azúcar hacia un estado amorfo, aumentando así los sitios de adsorción.

3.3 Modelado de la isoterma

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para los modelos utilizados con sus respectivas constantes y valores de R^2 . De acuerdo con esto, los modelos que mejor se ajustaron al comportamiento de los datos experimentales fueron el modelo de BET y GAB,

los cuales presentaron R^2 de 0.975 y 0.994, respectivamente.

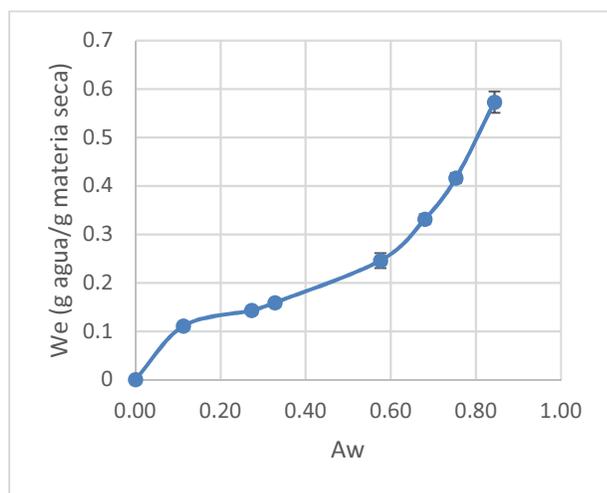


Figura 5. Contenido de humedad de equilibrio de las zanahorias deshidratadas a temperatura de 22 °C.

Tabla 3. Valores de los parámetros de los modelos de sorción ajustados

Modelo	Parámetro	Valor
BET	Wo	0.102
	C	19.62
	R ²	0.975
GAB	k	0.944
	Wo	0.125
	C	90.50
	R ²	0.994
Henderson	F	-2.909
	N	1.648
	R ²	0.920

Estudios anteriores realizados sobre zanahorias bajo condiciones similares se presentan en la tabla 4 y son comparados con los datos obtenidos en esta investigación. Iglesias y Chirife estudiaron las propiedades de adsorción y desorción aplicando su ecuación para determinar la humedad de la monocapa obteniendo un $W_o = 0.052$ kg de agua / kg de materia seca para ambas isothermas. Por otro lado, Kiranoudis estudió solo el comportamiento de desorción aplicando el modelo de GAB, obteniendo un W_o de 0.21 kg de agua/kg de materia seca.

Los resultados obtenidos muestran los valores de humedad de la monocapa, W_o , encontrados utilizando los modelos de BET y GAB fueron de 0.102 kg de agua/kg de m.s. y 0.125 kg de agua/kg de m.s., respectivamente. Mientras que los valores de la constante de energía, C, fueron de 19.62 para BET y 90.50 para GAB. De acuerdo con la investigación de Timmermann, los valores de W_o obtenidos del modelo de BET siempre resultan menores que los obtenidos por el modelo de GAB, contrariamente al parámetro C, que se obtienen mayores valores con el modelo de BET que con el modelo de GAB [16].

Tabla 4. Valores de los parámetros de GAB obtenidos en estudios similares

Especificaciones del producto	Wo	C	k	Fuente
Zanahorias deshidratadas en congelación a 40°C	0.066	3.6	1.04	Lavelli et al. [4]
Zanahorias deshidratadas con aire a 37°C	0.052	n.d.	n.d.	Iglesias &Chirife [17]
Zanahorias frescas a 37°C	0.052	n.d.	n.d.	Iglesias &Chirife [17]
Zanahorias frescas a 45°C	0.21	3.9	0.66	Kiranoudis et al. [18]
Zanahorias deshidratadas con aire a 22°C	0.125	90.5	0.944	Este trabajo

W_o es el contenido de humedad de la monocapa; C y k son parámetros de la ecuación de GAB relacionados con la temperatura; n.d.: no fue determinado.

En cuanto al valor de k, se obtuvo que fue de 0.944 y se encuentra dentro del rango de los valores obtenidos en investigaciones anteriores. Igualmente, Timmermann establece que entre menor es el valor de k, mayor son las diferencias entre los valores de W_o y C en ambos modelos, y que si $k=1$, la ecuación del modelo de GAB se reduciría a la ecuación del modelo de BET [16].

En cuanto a los modelos de BET, GAB y Henderson aplicados, el que obtuvo el mayor valor de ajuste R^2 fue el de GAB con 0.994. En la figura 6 se presentan las isothermas modeladas y la obtenida experimentalmente.

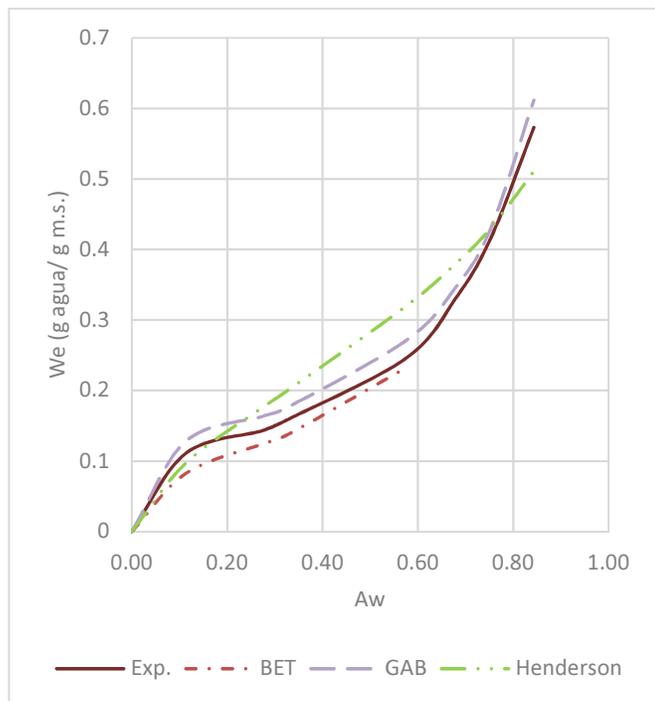


Figura 6. Isothermas modeladas y experimental.

4. Conclusiones

La isoterma de adsorción de humedad obtenida a $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ para las zanahorias deshidratadas resultó ser sigmoidea de tipo II. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, los valores de humedad de la monocapa, W_0 , están en un intervalo de 0.102 a 0.125 g agua / g. m.s. Las tres ecuaciones utilizadas modelan satisfactoriamente los datos experimentales, sin embargo, los modelos de BET y GAB fueron los más adecuados por su alto grado de ajuste con R^2 superiores a 0.97, destacándose el modelo de GAB con 0.994.

No se encontraron valores de estos parámetros de adsorción (W_0 , C y k) a la temperatura de trabajo de esta investigación.

Según los resultados obtenidos, el 12.5% de humedad corresponde a la máxima humedad permitida para este producto a la temperatura estudiada. Donde las reacciones enzimática, no enzimática y oxidación son mínimas, permite mayor estabilidad del producto y una mayor vida de anaquel.

Es necesario realizar mayores estudios sobre este tema, ya que esta información es necesaria para predecir la correcta estabilidad durante el almacenado de los productos deshidratados a diferentes temperaturas.

5. Referencias

- [1] MIDA, «Fichas Técnicas de Hortalizas Varias,» Panamá, 2015.
- [2] FAO, «Productos frescos de verduras. Fichas Técnicas,» 2014.
- [3] R. Monges y H. Campos, «Tabla de composición de Alimentos de Costa Rica,» INCIENSA, Costa Rica, 2013.
- [4] Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, «Tabla de composición de Alimentos de Centroamérica,» 2012.
- [5] S.-W. Lee, B.-K. Kim y J.-A. Han, «Physical and functional properties of carrots differently cooked within the same hardness-range,» *LWT - Food Science and Technology*, vol. 93, pp. 346 - 353, 2018.
- [6] V. Lavelli, A. Zaniboni y B. Zanoni, «Rate of Carotenoid Degradation in Dehydrated Carrots,» 2006. [En línea]. Available: <https://iufost.edpsciences.org/articles/iufost/pdf/2006/01/iufost06000857.pdf>. [Último acceso: 20 Enero 2019].
- [7] S. B. Mariem y S. B. Mabrouk, «Moisture sorption isotherms and isotheric heat of sorption of Tomato Slices,» *American Journal of Renewable and Sustainable Energy*, pp. 140-155, 2015.
- [8] R. Andrade, R. Lemus y C. Pérez, «Models of Sorption Isotherms for Food: Uses and Limitations,» *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, vol. 18, n° 3, pp. 325 - 334, 2011.
- [9] E. Soterias, J. Gil, P. Yacanto, S. Muratona, C. Abaca y M. Sustersic, «Isothermas de adsorción y desorción de agua en Leche en Polvo II. Leche entera,» *Avances en Ciencia e Ingeniería*, pp. 57 - 66, 2014.
- [10] J. V. García Pérez, Contribución al Estudio de la Aplicación de Ultrasonidos de potencia en el Secado Convectivo de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, 2007.
- [11] N. Martínez Navarrete, Termodinámica y cinética de sistemas: alimento - entorno, España: Editorial de la Universitat Politècnica de Valencia, 1998.
- [12] J. E. Zapata, Ó. A. Quintero y L. D. Porras, «Isothermas de Sorción para Avena (Avena sativa) en grano,» *Revista Agron*, vol. 23, pp. 82 - 92, 2015.
- [13] G. Lee, «Drying Characteristics of Carrot and Green Pumpkin Slices in Waste Heat Dryer,» *Journal of Biosystems Engineering*, vol. 37, pp. 36 - 43, 2012.
- [14] M. Sonmete, H. Menges, C. Ertekin y M. Özcan, «Mathematical modeling of thin layer drying of carrot slices by forced convection,» *Food Measure*, vol. 11, pp. 629 - 638, 2017.
- [15] V. Eim, C. Rosselló, A. Femenia y S. Simal, «Moisture Sorption Isotherms and Thermodynamic Properties of Carrot,» *International Journal of Food Engineering*, vol. 7, n° 3, 2011.
- [16] E. Timmermann, «Multilayer sorption parameters: BET or GAB values?,» *Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects*, vol. 220, pp. 235 - 260, 2003.

[17] H. A. Iglesias y J. Chirife, Handbook of food isotherms: Water sorption parameters for food and food components, New York: Academic Press, 1982.

[18] C. T. Kiranoudis, Z. B. Maroulis, E. Tsami y D. Marinos-Kouris, «Equilibrium moisture content and heat of desorption of some vegetables,» Journal of Food Engineering, vol. 20, pp. 55 - 74, 1993.

Desarrollo y caracterización de panquecas a base de harina de trigo (Triticum) y harina de yuca (Manihot esculenta)

Development and characterization of pancakes based on wheat flour (Triticum) and cassava flour (Manihot esculenta)

Yaremis Carrera¹, Elizabeth Franco¹, Rosa I. Quintero^{2*}

¹Facultad de Ciencias y Tecnología (CyT), Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá,

²Grupo CYTIA, Facultad de Ciencias y Tecnología (CyT), Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

*Autor de correspondencia: rosa.quintero@utp.ac.pa

RESUMEN— En Panamá la mayor parte de la yuca (Manihot esculenta) es producida por pequeños agricultores en suelos marginales, pocos fértiles y con un nivel tecnológico bajo. En este trabajo se realizó una comparación de panquecas formuladas con harina de trigo o con harina de yuca. Las panquecas elaboradas fueron sometidas a análisis fisicoquímicos, texturales y sensoriales. El producto fue elaborado siguiendo una formulación óptima de acuerdo a los patrones sensoriales previamente obtenidos por consumidores.

El producto obtenido fue sometido a pruebas fisicoquímicas de humedad, cenizas, fibra, carbohidratos, grasa y proteína. Además, se realizó un análisis de perfil de textura (TPA), para medir variables como fuerza, adhesividad y cohesividad de las panquecas. La sustitución de harina de yuca al 100% en las panquecas, disminuyó la gomosidad, dureza, masticabilidad y cohesividad. El análisis sensorial de los productos elaborados mostró el mismo nivel de preferencia para las panquecas formuladas con harina de trigo y yuca, no evidenciando diferencias significativas en los atributos evaluados.

Palabras clave— Harina de yuca, harina de trigo, panquecas, perfil de textura.

ABSTRACT— In Panama most of the cassava (Manihot esculenta) is produced by small farmers in marginal soil, few fertile and with a low technological level. In this work a comparison of pancakes formulated with wheat flour or cassava flour was made. The pancakes were subjected to a physicochemical, textural and sensory analysis. The development product was prepared following an optimal way according to our sensory patterns previously obtained by consumers.

The development product was a physicochemical test of moisture, ash, fiber, carbohydrates, fat and protein. In addition, a texture profile analysis (TPA) was performed to measure variables such as strength, adhesiveness and cohesiveness of the pancakes. The substitution of 100% cassava flour in pancakes reduced gumminess, hardness, chewiness and cohesiveness. Sensory analysis of the pancakes showed the same level of preference for the pancakes made with wheat flour and cassava flour, showing no differences ($P < 0.05$) in the attributes tested.

Keywords— Cassava flour, wheat flour, pancakes, texture profile.

1. Introducción

Las panquecas son productos que convencionalmente se elaboran con harina de trigo, sin embargo, resulta interesante considerar el estudio de materias primas que puedan sustituir el trigo en dicho producto, ya que, para que se dé el cultivo de trigo es necesario requerimientos edafoclimáticos que no son propios de Panamá, como temperaturas entre 10-24°C y un pH de suelo neutro o algo alcalino. Por lo anterior la industria harinera se ve forzada a utilizar el grano importado [1].

En Panamá la mayor parte de la yuca (Manihot esculenta) es producida por pequeños agricultores en suelos marginales y poco fértiles y con un nivel

tecnológico bajo. La variedad brasileña es la más cultivada a nivel nacional con un rendimiento promedio de 10-12 toneladas/ha [2]. Esto hace necesario y atractivo la incorporación de materias primas autóctonas como tubérculos en la producción de productos de panaderías, para disminuir la importancia del trigo.

En este sentido, la utilización de harinas y almidones obtenidos a partir de raíces y tubérculos (yuca, papa, ñame, camote), como materia prima en la elaboración de productos convencionales o en el desarrollo de nuevos productos, es una forma de incentivar e incrementar la producción y demanda de estos rubros, ya que al deshidratarse bajo la forma de harinas y almidones

Citación: Y. Carrera, E. Franco y R. Quintero, "Desarrollo y caracterización de panquecas a base de harina de trigo (Triticum) y harina de yuca (Manihot esculenta)", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 1, pp. (24-29), 2019.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 24 de julio de 2018. **Recibido con correcciones:** 28 de agosto de 2018. **Aceptado:** 19 de noviembre de 2018.

DOI <https://doi.org/10.33412/iddt.v15.1.2094>

Copyright: 2019 Y. Carrera, E. Franco y R. Quintero. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

pueden ser utilizados en la elaboración de productos tales como sopas, galletas, panes, bebidas y pudines, entre otros [3].

Las raíces y tubérculos son fuente importante de carbohidratos, por lo que es factible elaborar harinas a partir de ellas. La yuca puede convertirse en una harina de alta calidad para ser utilizada como sustituto de la harina de trigo, maíz o arroz, en la industria alimenticia para la producción de productos de panadería [4], ya que en Panamá existe un aproximado del 10% de celíacos o sensibilidad al gluten, las personas que padecen esta enfermedad al ingerir gluten genera una reacción inmune que ataca al intestino, causando daño en las vellosidades intestinales, que ayudan a la absorción de nutrientes [5], por eso es importante incluir alimentos libres de gluten en la dieta, así dándole variedades de productos sin gluten.

Estos nuevos alimentos pueden ser diferentes en palatabilidad a los productos convencionales elaborados con trigo, por lo que deben reformularse para que puedan ofrecer las mismas características sensoriales y la aceptación. Debido a que el gluten es la principal proteína formadora de estructura, responsable de las propiedades reológicas en la masa, su reemplazo total o parcial resulta en un desafío importante, principalmente desde el punto de vista estructural, para lo cual deben desarrollarse tecnologías adecuadas [6].

Con base en lo expuesto, el objetivo del estudio se centró en evaluar las características fisicoquímicas, texturales y sensoriales de panquecas elaboradas con harina de trigo y harina de yuca.

2. Materiales y métodos

Materia prima: las muestras de harina de yuca y harina de trigo marcas Sunny Mills son elaboradas por Panamá Mills S.A y adquiridas en un supermercado de la localidad.

2.1 Elaboración de las panquecas

La formulación base utilizada para la preparación de la mezcla para panqueca se muestra en la tabla 2, la cual se obtuvo ajustando los valores y modo de preparación a fin de optimizar las muestras del estudio a partir de ensayos preliminares [6]. Todos los ingredientes de cada panqueca se mezclaron y homogenizaron manualmente. La mezcla se vertió en un sartén caliente a una temperatura de 300°F, se cocinó cada muestra por tres

minutos cada lado, hasta obtener una apariencia dorada y esponjosa.

Tabla 2. Formulación base para la preparación de las panquecas

Ingredientes	Cantidad (%)	
	P100Y	P100T
Harina de trigo	---	29.9
Harina de yuca	26	---
Huevo	31.2	14
Bicarbonato de sodio	4.6	3.7
Leche	30.6	46.1
Azúcar	6.1	5
Aceite	1.5	1.3

P100Y = panqueca 100% harina de yuca, P100T = panqueca 100% harina de trigo.

2.2 Análisis fisicoquímicos

Todos los procedimientos utilizados para los diferentes análisis fueron metodología estándar de la AOAC[8].

2.2.1 Determinación de proteínas

Se realizó el método Kjendahl, el cual consiste en una digestión, destilación y titulación. La cuantificación fue en base a proteínas crudas, donde se calcula con nitrógeno obtenido por el factor de correlación (% N x 6.25).

2.2.2 Determinación de humedad

Fue determinado utilizando una balanza de humedad marca Precisa®, modelo XM50, donde la humedad es obtenida por la pérdida del peso por secado empleando

Tabla 1. La composición proximal de las harinas utilizadas

Parámetros (%)	Trigo enriquecida	Yuca
Humedad	11.92	14.20
Ceniza	0.47	2.60
Carbohidratos totales	74.31	81
Grasa	0.98	0.50
Proteína	9.62	1.70
Fibra dietética	2.70	--

Fuente: INCAP. Tabla de composición de los alimentos de Centroamérica [7].

una balanza de torsión sensible para colocar la muestra de panqueca y una lámpara infrarroja para secarla.

2.2.3 Determinación de carbohidratos

El contenido de carbohidrato total se determinó por diferencia, el porcentaje de carbohidratos = $100 - (\% \text{ humedad} + \% \text{ grasa} + \% \text{ proteína} + \% \text{ cruda} + \% \text{ ceniza})$ [9].

2.2.4 Determinación de ceniza

El contenido total de cenizas se realizó mediante el secado previo de las muestras a 100°C y luego su incineración a 600°C en una mufla durante cinco horas.

2.2.5 Determinación de fibra cruda

Este método permite determinar el contenido de fibra en la muestra, después de ser digerida con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio y calcinado el residuo. La diferencia de pesos después de la calcinación nos indica la cantidad de fibra presente.

2.2.6 Determinación de grasa

El contenido de lípidos fue determinado mediante la extracción con éter de petróleo usando un sistema de Soxhlet, por 12 ciclos cada muestra.

2.3 Análisis de perfil de textura

Se empleó un Texturómetro TA. XTplus Texture Analyzer Stable Micro Systems (Reino Unido), para determinar la resistencia de las panquecas calibrado previamente a cada análisis, la distancia de sonda: 10 mm para trigo y 5mm para yuca, diámetro de sonda: 6mm. TPA se basa en el reconocimiento de la textura como un atributo de múltiples parámetros. Para fines de investigación, puede ser deseable un perfil de textura en términos de varios parámetros determinados en una pequeña muestra homogénea.

Se determinaron siete parámetros texturales que derivan de la curva de análisis de textura (figura 1):

- Dureza, la fuerza máxima en el primer ciclo de compresión (H).
- Fracturabilidad, el primer pico significativo en la curva del primer ciclo de compresión (F).
- Cohesividad, la relación entre el área positiva durante el segundo ciclo de compresión y el primero (A_2/A_1+A_2).

- Adhesividad, el área negativa del primer ciclo de compresión (B). Representa el trabajo necesario para retirar el sensor de la muestra.
- Elasticidad, la altura que la muestra recupera entre el término del primer ciclo de compresión y el inicio del segundo (C).
- Gomosidad, el producto de la dureza y cohesividad.
- Masticabilidad, producto de gomosidad y elasticidad [10].

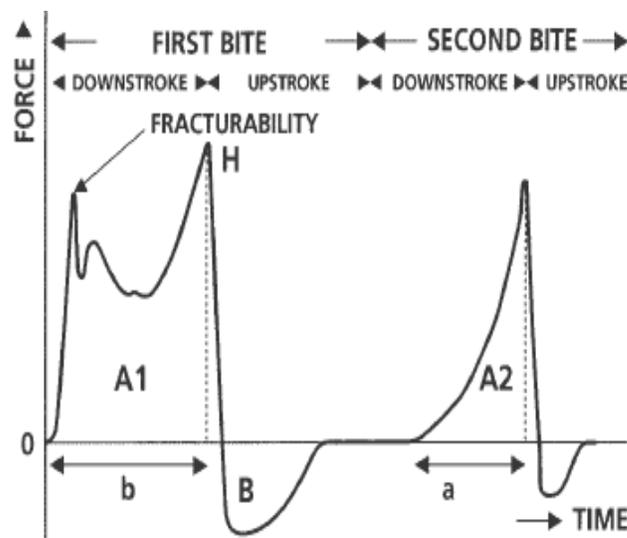


Figura 1. Curva generalizada: análisis de perfil de textura (TPA).

2.4 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial de las panquecas elaboradas en este estudio consistió en una prueba de preferencia de aceptabilidad con escala Hedónica, con un panel no entrenado constituido por 20 panelistas de ambos sexos, 18 mujeres y 2 hombres, en edades comprendidas entre 23 y 45 años, a los cuales se les dio una porción de aproximadamente 15 gramos de ambas muestras codificadas a temperatura ambiente [11] [12] [13].

2.5 Análisis estadístico

Las mediciones de las pruebas fisicoquímica fueron realizadas por triplicado y los resultados se presentaron como valores promedios con desviación estándar. Adicional a ello se aplicó análisis de varianza (ANOVA). Con los resultados de las pruebas de nivel de aceptabilidad, se realizó una prueba de distribución t de Student con un nivel de significancia del 95%. Para todas

las pruebas se dio uso del programa estadístico Microsoft Excel versión 2016.

3. Resultados

3.1 Análisis fisicoquímicos

Los resultados de la composición proximal de las panquecas elaboradas se muestran en la tabla 3. Los valores de humedad aumentaron con la sustitución de la harina de trigo por la harina de yuca en la mezcla, lo cual podría atribuirse a la mayor capacidad de retención de líquido que posee la harina de yuca, y que por tanto le otorga a la panqueca. Además, es necesario que durante los procesos de cocción del producto exista un control de la temperatura, debido a que puede existir una pérdida de agua. Podríamos atribuir que las harinas son clasificadas de acuerdo al tipo de trigo de aquí varía su capacidad de retención de agua, harinas elaboradas de trigo duro tienen mayor retención de agua y las elaboradas con trigo blando tienen menor capacidad de retención de agua [14].

Diversos estudios han reportado que la harina de yuca muestra una mayor capacidad de absorción de agua, poder de hinchamiento que la harina de trigo, esto se atribuye a mayor contenido de almidón en comparación con el trigo [15].

Con respecto a los contenidos de cenizas, proteína y fibra, estos no presentaron diferencias estadísticamente significativas. Los resultados obtenidos son similares a los presentados en un estudio donde se analizaban panquecas elaboradas con harina de trigo y harinas compuestas de yuca y salvado de arroz [16] [17].

El contenido de cenizas, indica la cantidad de materia inorgánica que pudiera aportar las harinas utilizadas en nuestro estudio, ya que la harina de trigo utilizada es enriquecida con minerales debido a que la molienda del trigo fractura muchas células del endospermo poniendo al descubierto su contenido junto a los demás ingredientes que constituyen las panquecas.

Para carbohidratos el contenido encontrado en la muestra de yuca fue ligeramente mayor (30%) al obtenido por harina de trigo en la panqueca (29%). Difiere de los resultados obtenidos por otro estudio realizado en panqueca de trigo donde los carbohidratos presentaron valores desde 35-45 % de acuerdo al grado de sustitución del producto [18].

En relación al contenido de grasa, la panqueca de harina de trigo presenta un porcentaje mayor atribuido a los ingredientes utilizados, los que aportan la mayor cantidad de grasa son la leche y el huevo y en nuestra

formulación se le debió añadir mayor cantidad de leche a la panqueca de trigo para que esta lograra obtener la consistencia que se busca en una mezcla de este tipo. El menor contenido de grasa en la panqueca de yuca se ha atribuido a la baja capacidad de absorción de aceite que presentan diversos tubérculos [19].

Tabla 3. La composición proximal de las panquecas elaboradas

Parámetros (%)	P100T	P100Y
Humedad	47.82 ± 0.22 ^a	49.18 ± 0.27 ^b
Ceniza	2.85 ± 1.10 ^a	2.36 ± 0.35 ^b
Carbohidratos totales*	29.02	29.94
Grasa	3.68 ± 0.62 ^a	1.52 ± 0.25 ^b
Proteína	6.74 ± 0.03 ^a	6.96 ± 0.06 ^a
Fibra cruda	9.89 ± 0.41 ^a	9.78 ± 0.03 ^a

Los resultados están expresados como valor promedio medio (n=3) con desviación estándar.

*Los valores de carbohidrato se determinaron por diferencia.

Medias con letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0.05).

3.2 Análisis de perfil de textura

Los resultados del perfil de textura de las panquecas se presentan en la tabla 4. Las panquecas elaboradas con 100% harina de trigo presentaron una mayor dureza en relación con la elaborada 100% harina de yuca. El parámetro de elasticidad no presentó diferencia significativa para ambas muestras, lo que permite señalar que ambas formulaciones presentarán la misma capacidad de recuperación, esto se debe a la característica de esponjosidad.

En cuanto a la cohesividad se puede observar que la panqueca elaborada con harina de yuca se desintegrará fácilmente comparándola con la panqueca de harina de trigo, al aplicarle compresión, ya que presenta valores más bajos en cuanto al parámetro indicado, un comportamiento similar fue observado por otros investigadores [6]. Esta disminución viene dada por los enlaces y uniones de menor fuerza que presenta el almidón de yuca en comparación a red formada entre el gluten y el almidón en la harina de trigo.

La adhesividad, gomosidad y masticabilidad son parámetros que se refieren al trabajo necesario para despegar las panquecas de determinada superficie y para desintegrarlas antes de ser tragadas y deglutidas, respectivamente. Se encontró que la sustitución total de

la harina de trigo por harina de yuca en el producto puede disminuir para ambos casos la fuerza requerida.

Tabla 4. Análisis de perfil de textura

Parámetros	P100T	P100Y
Dureza (g)	6215.12 ± 646.58 ^a	1777.17 ± 48.15 ^b
Adhesividad (g/s)	-101.63 ± 38.52 ^a	-29.15 ± 20.87 ^b
Elasticidad	0.95 ± 0.22 ^a	0.98 ± 0.03 ^a
Cohesividad	0.60 ± 0.07 ^a	0.45 ± 0.02 ^b
Gomosidad	3710.02 ± 878.88 ^a	810.57 ± 56.67 ^b
Masticabilidad	2631.05 ± 542.30 ^a	795.07 ± 68.07 ^b

Lo resultados están expresado como valor promedio (n=3) con desviación estándar.

Medias con letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0.05).

3.3 Evaluación sensorial

En la tabla 4, se aprecian los resultados de la evaluación sensorial de las panquecas de trigo comparadas con las panquecas elaboradas con yuca. Se puede apreciar que no se existen diferencias estadísticamente significativas con un 95% de confiabilidad entre los dos tipos de panquecas, para ninguno de los atributos evaluados por el grupo de panelistas.

Tabla 4. Evaluación sensorial de las panquecas

Atributo	P100Y 6458	P100T 1430
Color	4.052 ± 1.08 ^a	4.000 ± 1.20 ^a
Sabor	3.368 ± 1.16 ^b	4.105 ± 0.81 ^a
Olor	4.157 ± 0.90 ^a	3.210 ± 1.08 ^b
Textura	4.194 ± 0.69 ^a	4.526 ± 0.61 ^a
Aceptabilidad	3.632 ± 0.60 ^a	3.579 ± 0.84 ^a

Los resultados están expresados como valor promedio (n=20) con desviación estándar.

Medias con letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P<0.05).

En las muestras de panquecas las características evaluadas se ubicaron por encima de los 3 y 4 puntos (“me gusta moderadamente” y “no me gusta ni me disgusta”), respectivamente lo que indica que, aunque no

hubo una excelente aceptación del producto presentado se obtuvieron resultados moderadamente buenos, y que la sustitución por yuca no afectó el agrado de las panquecas. Resultados similares se obtuvieron en estudios de diversos autores con modificación de los ingredientes tradicionales utilizados en la elaboración de panqueca [6] [19] [20].

El olor y el sabor obtuvieron las mejores calificaciones en ambas muestras. Con una diferencia de 18.94% en el olor para la muestra de yuca y 14.74% en el sabor para la muestra trigo, debido a que la muestra de yuca al final presentaba un sabor levemente amargo, atribuido a los carbohidratos que es el componente mayoritario en esta harina.

A pesar de las diferencias encontradas en algunos de los parámetros de la textura entre las panquecas con harina de yuca comparadas con las de harina de trigo, estas no influyeron en la aceptación por el panel no entrenado que las degustó.

4. Conclusiones

Se demostró que existe una influencia en las muestras de panquecas de harina de trigo por harina de yuca, sobre las propiedades fisicoquímicas y texturales, siendo este último atributo mayormente afectado, debido a que, en las panquecas elaboradas con harina de yuca, los valores de gomosidad, cohesividad y masticabilidad, fueron menores que los de la panqueca de trigo, mientras que las propiedades fisicoquímicas no presentaron diferencias significativas entre ambas muestras.

La evaluación sensorial evidenció un nivel de aceptación por encima de la media de la escala hedónica utilizada, para ambas muestras, tomando en cuenta que los panelistas percibieron un leve sabor amargo al final de la panqueca de harina de yuca.

Los resultados obtenidos, para todas las pruebas realizadas, sugieren la factibilidad de la sustitución total de la harina de trigo, por harina de yuca, en este producto, por lo que se demuestra que es posible diversificar tecnológicamente el uso de la harina de yuca. Aunque se obtuvieron resultados positivos, para futuros estudios recomendamos la variación en la sustitución de harina de trigo por harina de yuca y otros tipos de harina en diferentes porcentajes, que ayuden a mejorar las cualidades texturales del producto.

5. Agradecimiento

En los laboratorios de Química y Análisis de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Tecnológica de Panamá donde se llevaron a cabo los análisis fisicoquímicos, contando con la colaboración del Lic. Alejandrino Sevillano. El Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales (CEPIA) de la Universidad Tecnológica de Panamá que facilitó el uso del texturómetro para el análisis instrumental de textura, con la colaboración de la Ing. Cindy Mayorga.

6. Referencias

- [1] I. Moreno, A. Ramírez, R. Plana y L. Iglesias. “El cultivo del trigo. Algunos resultados de su producción en Cuba”. [Online]. Vol. 22(4), pp. 55-67. 2001. Disponible: <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193230162009.pdf>. [Junio 29, 2018].
- [2] J. Aguilar. “El cultivo de la yuca en Panamá”. [Online]. 82 (1), pp. 99-103, 1991. Disponible: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/82080> [Junio 29, 2018].
- [3] N. Techeira, L. Sívoli, B. Perdomo, A. Ramírez y F. Sosa, “Caracterización fisicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (*Manihot esculenta Crantz*), batata (*Ipomoea batatas Lam*) y ñame (*Dioscorea alata*), cultivadas en Venezuela” *Interciencia*, vol. 39 (3), pp. 191-197, 2014.
- [4] A. Ayala. “Estimación de las isotermas de absorción y del calor isostérico en harina de yuca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*” [Online]. 20(1), pp. 88-96, 2011.
- [5] G.K.T. Holmes, P. Prior, M.R. Lane, D. Pope, R.N. Allan. “Malignancy in coeliac disease- effect of a gluten free diet” 30, pp. 333-338, 1989. [Online]. Disponible: <http://gut.bmj.com/> [enero 15, 2019].
- [6] P. Ribotta, R. Borneo, D. Cueto y E. Pérez E. Efecto de la adición de harina de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) sobre las características sensoriales, reológicas y físicas de tortas y panquecas”, *Revista agronómica UCV*, vol. 37(2), pp. 64-74, 2011.
- [7] INCAP y OPS, *Tabla de composición de los alimentos de Centroamérica*, segunda edición, 2012.
- [8] AOAC *Official Methods of Analyses*. Washington, DC:s.n. 1997.
- [9] P.J. Espitia-Pérez, Y.J. Pardo-Plaza, A.P. Montalvo-Puente. “Característica del análisis proximal de harinas obtenidas de frutos de plátano variedad Papocho y Pepita (Musa ABB Simmons”. *Acta Agronómica*, vol. 62(3), pp. 189-195, 2013.
- [10] J. Torres, K. González, “Análisis de perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos”, *ReCiTeIa*. ISSN 2027-6850.
- [11] B. Watts, G.L. Ylimaki, L.E. Jeffery, L.G. Elias. *Métodos sensoriales básicos para la evaluación de los alimentos*. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo Regional para América Latina y el Caribe, 2^{da}, 1992.
- [12] J.S. Ramírez-Navas. “Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor”. Cali: *Revista ReCiTeIA*, 2012.
- [13] J.S. Ramírez-Navas. “Análisis de aceptación y preferencia del manjar blanco del Valle. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*” vol. 12 (1) pp. 20-27, 2014.
- [14] H. Charley *Tecnología de los Alimentos*. Limusa. México, 2001, pp. 767.
- [15] H. Kusumayanti, N. A. Handayani, H. Santosa. “Swelling power and water solubility of cassava and sweet potatoes flour” *Procedia Environmental Sciences*, vol. 23, pp. 164 – 167, 2015.
- [16] M. Hernández-Medina, J.G. Torruco-Uco, I. Chel-Guerrero, D. Betancur-Ancona. “caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, Mexico. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Campinas, vol. 28(3) pp. 718-726, julio-septiembre, 2008.
- [17] K. Siso, E. Pérez. *Composición proximal, características físicas, fisicoquímicas y sensoriales de panqués elaborados con harinas compuestas trigo: yuca: salvado de arroz estabilizado*. 2009. [Online]. Disponible: <https://www.researchgate.net/publication/230814529> [Julio 6, 2018].
- [18] P. Vargas y D. Hernández. “Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria”. *Tecnología en Marcha*, vol. 25(6), pp.37-45, 2013.
- [19] L. Gamboa, m. Gonzalez, E. Hurtado. “Valoración nutricional y sensorial de panquecas elaboradas a base de harina de trigo (*Triticum aestivum*) y zanahoria (*Daucus carota*)”. *IDIESA Chile*, vol. 25 (1), pp. 47–52, enero-abril 2007.
- [20] M. Villarroel, C. Reyes, J. Hazbun y J. Karmelic. “Optimización de una fórmula de queques (cakes) con características funcionales a partir de almidones resistentes, *Sphangnum magellanicum* y harina desgrasada de avellana (*Gevuina avellana mol*)”. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol. 57, pp. 56-62, 2007.

Efecto de los métodos de cocción por fritura en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de chips de taro (*Colocasia esculenta*)

Effect of frying methods in the physicochemical and sensorial properties of taro chips (*Colocasia esculenta*)

Melissa Chong^{1*}, Gina Mazzitelli¹, Rosa Quintero²

¹ Licenciatura de Ingeniería en Alimentos – Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

² Grupo Ciencia y Tecnología Innovadora de Alimentos – Facultad de Ciencias y Tecnológica, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

*Autor de correspondencia: melissachong1628@gmail.com

RESUMEN– Taro (*Colocasia esculenta*) es un tubérculo comestible cultivados en regiones tropicales y subtropicales del mundo, incluyendo África, Asia, Hawái, América Central, América del Sur, el Caribe y México. En este estudio se elaboraron chips de taro mediante dos métodos de cocción, freído convencional y freído con aire forzado. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de ambos métodos sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de los chips elaborados. Al producto obtenido se realizaron pruebas de humedad, ceniza, lípido, proteínas, fibras y evaluación sensorial, además se determinó el contenido de oxalato en taro crudo y los chips elaborados. El chip elaborado por el método convencional mostró una mayor crujencia (208.95 gf), alto contenido de grasa (32.53 %), menor concentración de oxalato 0.40 mg/100 g muestra y mayor preferencia (87%) por parte del consumidor en comparación con el chip elaborado con la freidora de aire (21.53 % de grasa, 2.48 mg oxalato/100 g muestra y dureza 40908 gf). En conclusión, se logró elaborar chips de taro, un tubérculo poco conocido y comercializado, con característica nutricionales importante como es el contenido de carbohidratos. Por otra parte, el método de freído por aire puede ser una alternativa saludable que reduce significativamente el contenido de grasa y presenta características sensoriales aceptables en productos fritos.

Palabras clave– *Colocasia esculenta*, crujiente, freidora de aire, oxalatos, taro.

ABSTRACT– Taro (*Colocasia esculenta*) is an edible root grown in tropical and subtropical regions of the world, including Africa, Asia, Hawaii, Central America, South America, the Caribbean and Mexico. In this study, taro chips were processed by two methods of cooking, conventional frying and air frying. The objective of this work was to determine the effect of both methods on the physicochemical and sensorial characteristics of the processed chips. The product obtained was tested for moisture, ash, lipid, protein, fibers and sensorial evaluation, in addition, the oxalate content both, in raw taro and the processed chips were determined. The chip by the conventional process showed greater crispy, high fat content (32.53%), lower oxalate concentration (0.40 mg/100 g sample) and higher preference by the consumer, compared to the chip air fried process fat contents (fat contents 21.53%, oxalates contents 2.48 mg/ 100 g sample and hardness 40908 gf). In conclusion, it was possible to process taro chips, a not well known and commercialized root with important nutritional characteristics, such as carbohydrate content. On the other hand, the air frying could be an alternative method to prepare healthy food, reducing fat content and with acceptable sensorial attributes.

Keywords– *Colocasia esculenta*, crispy, air fryer, oxalates, taro.

1. Introducción

El taro es el tubérculo comestible de la planta *Colocasia esculenta*, y es un importante ingrediente en muchas comidas de Asia y las Islas de Pacífico [1]. Actualmente es uno de los principales cultivos en regiones tropicales y subtropicales del mundo, incluyendo África Occidental, África Central, Asia, Hawái, América Central, América del Sur, el Caribe y México; su cultivo ha aumentado pero su uso ha sido limitado debido a su corta vida postcosecha [2]. El tubérculo es de rápido desarrollo vegetativo, fácil de

cultivar, muy resistente al ataque de plagas y enfermedades [3]. La planta pertenece a la familia de las Aráceas, y producen en su base un corno alargado (tubérculo) de forma ovoide, que es la parte comestible, aunque en algunas culturas también consumen las hojas [1]. La cáscara es de color café y la pulpa es blanca con vetas de color rosadas a lilas [4].

El tubérculo es una excelente fuente de energía, por esta particularidad son rápidamente digeribles tanto para el hombre como para los animales. Recientemente el taro ha adquirido gran importancia, se considera como

Citación: M. Chong, G. Mazzitelli y R. Quintero., “Efecto de los métodos de fritura por inmersión y no inmersión en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de chips de taro (*Colocasia esculenta*)”, *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 1, pp. (30-37), 2019.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 27 de julio de 2018. **Recibido con correcciones:** 22 de agosto de 2018. **Aceptado:** 19 de noviembre de 2018.

DOI <https://doi.org/10.33412/iddt.v15.1.2095>

Copyright: 2019 M. Chong, G. Mazzitelli y R. Quintero. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

materia prima de gran potencial por su alto contenido de carbohidratos, principalmente de almidón (700–800 g/kg base seca) [3]. Estos tubérculos presentan gran contenido de calcio, magnesio, potasio, zinc, hierro, proteína y aminoácidos que otras raíces y tubérculos tropicales [5]. Puede reemplazar el uso de materias primas convencionales como maíz, plátano, yuca y papa, utilizando tecnologías sencillas y aprovechando este recurso agrícola que sirve para la elaboración de diversos productos tipo *snack* [6].

Estudios han reportado que las variedades de taro contienen una cantidad significativa de oxalato que se distribuyen en toda la planta y se encuentran de forma soluble como los oxalatos de potasio, sodio y amonio, y de forma insoluble como calcio. El oxalato de calcio se presenta en como cristales en forma de finas agujas y causan un sabor acre y pueden causar hinchazón e irritación en los labios, boca y garganta si se comen crudos [7]. La presencia de oxalato en los alimentos se ha visto implicada en la reducción de la biodisponibilidad del calcio, esto conlleva a que el consumo de cantidades considerables de oxalato puede ser fatal para el organismo porque puede promover la formación de depósitos de oxalato de calcio en los tejidos y órganos del cuerpo [8]. Es el principal componente de los cálculos renales, por lo que las personas con este problema de salud deben tener una dieta controlada para alimentos que contienen oxalato [9]. La American Dietetic Association recomienda una ingesta diaria máxima de 40-50 mg de oxalato [10].

Los procesos de remojo, cocción y fermentación pueden reducir el contenido de oxalato en el taro hasta niveles seguros [11].

Tradicionalmente los chips se elaboran por freído convencional a escala doméstica e industrial. Es un proceso de deshidratación que requiere una transferencia rápida de calor y masa cuando el alimento se sumerge en aceite caliente (150-190 °C), se produce una textura crujiente, olores, colores y sabores agradables [12]. Sin embargo, está la preocupación de los consumidores por los problemas de salud como la obesidad, hipertensión, diabetes y cáncer, asociados al frecuente consumo de este tipo de producto, con alto contenido de grasa, calorías y formación de sustancias tóxicas como la acrilamida.

En los últimos años se ha incrementado los estudios en nuevas alternativas tecnológicas en el procesamiento de alimentos que reduzca el contenido de grasa

manteniendo la calidad nutricional y sensorial de los mismos. El freído por aire forzado es un método económico y se encuentran equipos de uso domésticos comercialmente disponible a nivel mundial. En este proceso, el alimento frito se obtiene por contacto directo del producto y una emulsión externa de gotas de aceite en aire caliente dentro de una cámara que está en movimiento constante [13] [14]. Imita la deshidratación y la formación de la corteza típica de los alimentos fritos de la manera convencional. Estudios han demostrado que el contenido de lípidos en los productos elaborados por este método es significativamente más bajo, la formación de acrilamina se reduce y los atributos sensoriales pueden ser similares a los fritos por inmersión en aceite [15] [16].

Por lo antes expuesto, el objetivo de este estudio fue evaluar la viabilidad de elaborar chips de taro y determinar el efecto de los métodos de freído convencional y con aire forzado en las características fisicoquímicas y atributos sensoriales.

2. Materiales y métodos

Los tubérculos de taro se obtuvieron frescos en un supermercado de la localidad, cuyo cultivo procedía de la población de Chilibre, provincia de Panamá. Se seleccionaron muestras pequeñas con diámetros entre 5 a 6 cm. Para su conservación se envolvió con filme plástico PVC para alimentos y se almacenó a 5 °C para su posterior análisis.

2.1 Elaboración de los chips

Los tubérculos se lavaron, pelaron y rebanaron con un pelador de vegetales para conseguir un grosor de 1 a 2 mm.

2.1.1 Método de cocción: freído en aceite

El freído se realizó de forma convencional por inmersión en aceite en una freidora de acero inoxidable de 2 litros de capacidad. Se utilizó 1 litro de aceite vegetal y se frieron en porciones de 35g a 180 °C por 1 min. Posteriormente se colocaron sobre una malla que permitiera el escurrido del exceso de aceite y se guardaron en bolsas de polietileno con cierre tipo *ziploc* para su posterior análisis.

2.1.2 Método de cocción: freído por aire

A las rebanadas se les aplicó una ligera capa del mismo aceite por ambos lados, con una brocha de silicona. Se utilizó una freidora de aire marca RCA

modelo RCFR10 con 2.8 L de capacidad con un poder de 1200 W. Se coloraron en porciones de 50g distribuidas equitativamente por toda la malla. Se realizó su cocción durante 5 min a 180 °C por cada lado, se dejó enfriar a temperatura ambiente por 10 min y se guardaron en bolsas de polietileno con cierre tipo *ziploc* para su posterior análisis.

2.2 Caracterización Fisicoquímica

El contenido de humedad se determinó por medio de un analizador de humedad precisa modelo XM-50. El contenido de grasa, proteína (se calculó en base al contenido de nitrógeno y un factor 6.25), fibra y ceniza se determinaron de acuerdo con los métodos oficiales de AOAC [17] [18]. El contenido de carbohidrato total se determinó por diferencia, el porcentaje de carbohidratos = 100 - (% humedad + % grasa + % proteína + % fibra + % ceniza) [7].

2.3 Determinación del contenido de oxalato

Se determinó el contenido de oxalato en el corno crudo y en los dos chips según la metodología de Kumoro et al. [7]. El procedimiento implica tres pasos: digestión, precipitación del oxalato y titulación con permanganato de potasio. El contenido de oxalato se calculó usando la fórmula:

$$\frac{\text{mg de oxalato}}{100 \text{ g de muestra}} = \frac{T \times V_{me} \times DF \times 10^5}{ME \times mf} \quad (1)$$

donde T es el volumen consumido de KMnO_4 (mL), V_{me} es el volumen-equivalente de masa (1 mL de KMnO_4 0.05M es equivalente a 0.00225g de ácido oxálico anhidro), DF es el factor de dilución VTA (2, donde VT es el volumen total de filtrado (300 ml) y A es la alícuota utilizada (150 ml)), ME es el equivalente molar de KMnO_4 en oxalato en la reacción redox (5) y mf es la masa de muestra utilizada.

2.4 Evaluación sensorial

Ambas muestras fueron evaluadas por 40 jueces no entrenados usando las pruebas de preferencia y comparación pareada simple. En la primera prueba se presentó las muestras de chips en forma aleatoria y debidamente codificados a los panelistas, después de probar cada uno se indicó el código de su preferencia en el formato entregado. La segunda prueba se realizó de la misma forma con la diferencia que se evaluó el atributo de crujencia.

2.4.1 Perfil sensorial

Se realizó la prueba a 23 jueces semientrenados para determinar el perfil sensorial general. La prueba consistió en presentar ambos chips codificados, a las cuales se le evaluó la intensidad de los atributos de olor (aceite), sabor (salado y aceite), crujencia y apariencia general (aceite en la superficie) mediante escala de intervalo de 5 puntos (0 baja intensidad y 4 mayor intensidad)

2.4.2 Análisis de textura

La dureza de ambos chips fue analizada con un texturómetro Stable Micro Systems modelo TA.XT.plus con una sonda P/2 cilíndrica de 2 mm diámetro de acero inoxidable. Se realizaron 10 réplicas, seleccionando previamente los chips más homogéneos [19]. Se realizó un ensayo de compresión, fijando una distancia de avance 3.0 mm y fuerza de impulso de 5.0 gf. Tanto la velocidad de pre-ensayo como la de ensayo fueron de 1.00 mm/s.

2.5 Análisis estadístico

Análisis fisicoquímicos: se realizaron por triplicado presentándose como valores promedios con su desviación estándar, con un nivel de confianza de 95 %. Evaluación sensorial: los datos fueron analizados mediante ANOVA mediante la hoja de cálculo Excel 2016 y se aplicó prueba de Duncan se utilizó para establecer las diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización fisicoquímica

La humedad y el contenido de aceite son características importantes en los productos fritos. Durante el proceso de fritura el contenido de agua se pierde casi en su totalidad. En la tabla 1 se presentan la composición del taro crudo según la literatura [20], donde el contenido de humedad es de 70.64%, y en la tabla 2 se muestra la composición de los chips, y se observa que la humedad en los chips fritos por inmersión (0.62%) fue mucho más bajo que en los chips de freidora de aire (2.78%). En cuanto al contenido de grasa, los chips obtenidos por método convencional presentaron un contenido de 31.53%, mientras que el freído por aire 21.53%, lo cual presenta una reducción del 32%.

Tabla 1. Composición proximal de los cormos de taro crudo por cada 100 g de porción comestible

Componente	Valor (g)
Humedad	70.64
Lípidos	0.20
Proteína	1.50
Carbohidratos	26.46
Fibra cruda	4.10
Ceniza	1.20

Fuente: INCAP. Tabla de composición de los alimentos de Centroamérica.

Tabla 2. Composición proximal de los chips de taro por cada 100 g

Componente	Tipo de chip	
	Inmersión en aceite	Freidora de aire forzado
Humedad (g)	0.62 ± 0.12 ^a	2.78 ± 0.12 ^b
Grasa (g)	31.53 ± 0.28 ^a	21.53 ± 1.45 ^b
Proteína (g)	5.05 ± 0.88 ^a	6.66 ± 0.90 ^a
Carbohidrato* (g)	55.86	60.03
Fibra cruda (g)	2.98 ± 0.32 ^a	3.89 ± 0.03 ^a
Ceniza (g)	4.17 ± 0.20 ^a	5.24 ± 0.43 ^a

Lo resultados están expresado como valor promedio (n=3) con desviación estándar.

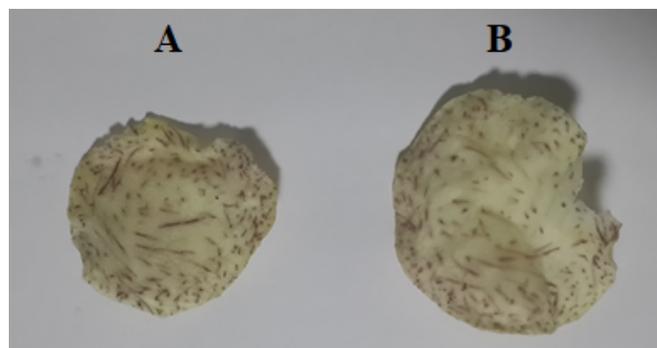
*Los valores de carbohidrato se determinaron por diferencia.

Letras iguales en la misma fila indica que no hay diferencia significativa entre las muestras.

Se obtuvieron resultados similares en estudios con papas fritas por inmersión en aceite, donde se observó que estas absorben cantidades elevadas de aceite, y el contenido de grasa es alrededor de 30% y fritas por aire forzado el contenido graso alrededor de 15% [15] [13]. La alta temperatura del aceite favorece la conducción de calor, el agua migra del alimento al aceite y se evapora al contacto [21]. El aumento de tiempo de cocción incrementa la evaporación del agua favoreciendo la porosidad y formación de espacio vacío que puede ser reemplazado por el aceite [22].

El contenido de carbohidrato y proteína es similar en ambos chips, y la pérdida respecto al taro crudo es poca. En estudios realizados se sostiene que el cambio de color de los chips después de la fritura se debe principalmente al contenido de azúcares reductores presente en las raíces y tubérculos. Si este contenido es bajo, se obtendrán chips levemente dorados de buena calidad, sin embargo,

un alto contenido en el producto provocará una coloración marrón oscura, debido a reacciones de oscurecimiento no enzimática tales como la de Maillard y cambios estructurales acelerados por las altas temperaturas del aceite de fritura [23]. En la figura 1 se observan los dos chips, visualmente son muy similares en color y forma, y presentan una coloración amarillenta leve, sin llegar al tostado.

**Figura 1.** Chips de taro: (A) chip por inmersión en aceite, (B) chip elaborado en freidora de aire.

El contenido de fibra y ceniza no varían en gran medida entre ambos chips, y permanecen respecto al taro crudo. El efecto del contenido de fibra se puede apreciar en la textura, favoreciendo la crujencia. Estudios realizados demuestran que el contenido de fibra aumenta con la edad de cultivo, si el contenido de fibras es muy alto se obtendrán chips demasiado duros [24].

3.2 Contenido de oxalato

En la tabla 3 se presentan el contenido de oxalato para el taro crudo y los dos chips. Diversos estudios han reportado el contenido de oxalato para taro crudo fresco 65 mg/100g [25], 367-710 mg/100g y 780 mg/100g para variedades provenientes de África, además depende de factores ambientales, sequía [26]. El contenido de oxalato en taro crudo investigado en este estudio fue de 0.30 mg/100 g (base húmeda), y no concuerda con los valores reportados. Esto puede atribuirse a pérdidas durante el procesamiento de las muestras. El método se basa en la precipitación del oxalato como oxalato de calcio y tiene algunas limitaciones en cuanto a sensibilidad, precisión y tiempo requerido para su desarrollo [27]. Por otra parte, cabe recalcar que en este estudio se utilizaron taros pequeños, que se cosecharon en una etapa temprana, mientras más tiempo tarde en

cosecharse mayor tamaño adquirirá y la concentración de oxalato aumenta con el tamaño [28].

Tabla 3. Contenido de oxalato por cada 100 g de muestra

Muestra	mg de oxalato
Taro crudo (base seca)	1.03 ± 0.16 ^a
Chip de freidora convencional	0.40 ± 0.05 ^b
Chip de freidora de aire	2.48 ± 0.22 ^c

Lo resultados están expresado como valor promedio (n=3) con desviación estándar.

Letras diferentes en la misma columna indica que hay diferencia significativa entre las muestras.

Los niveles de oxalatos son altos en la cáscara del taro y va disminuyendo hacia la parte comestible. Se espera que los procesos de cocción reduzcan el contenido de oxalato. Sin embargo, solo se observa reducción en el chip de inmersión, lo que se puede atribuir a la descomposición térmica del oxalato en carbonato y monóxido de carbono debido al gran calor generado en este proceso [7]. El proceso de cocción de la freidora de aire es similar al horneado, y se ha reportado que hornear el taro tiene el efecto de concentrar el oxalato en la matriz del alimento debido a la pérdida de agua [1], pero en contraparte también, el secado del taro disminuye la concentración de oxalato en un 50%, debido a la degradación térmica de oxalato mencionada anteriormente [11].

Por lo antes mencionado, el taro debe pasar por un proceso de cocción para inactivar los pequeños cristales de oxalato de calcio que causan irritación en la boca, lo que desfavorece las propiedades sensoriales y disminuye la toxicidad [29].

El método reportado más eficiente para reducir los niveles de oxalato en el taro es por lixiviación durante el hervido, disminuye en un 56 % si se hierve por 40 min [1]. Similarmente en estudios sobre la oca (*Oxalis tuberosa*) demostraron que el hervido disminuye significativamente la concentración de oxalato en todo el tubérculo [30].

3.3 Evaluación sensorial

En los resultados de las pruebas sensoriales aplicadas se reportan en la tabla 4. En la prueba de preferencia y se observa que 35 panelista prefieren el chip elaborado por el método de freído convencional, lo que representa un

87 % en comparación con el 13 % obtenido por el método de freído por aire forzado. Por otra parte, la prueba de comparación pareada aplicada indicó que el 80 % de los panelistas detectan mayor crujencia en el chip de freído convencional en comparación con el otro chip.

Tabla 4. Resultados de las pruebas sensoriales

Tipo de Chip	Preferencia	Comparación pareada simple
Freidora convencional	35	32
Freidora de aire	5	8

Fuente: cantidad de panelista 40.

En la tabla 5 se presentan las puntuaciones medias obtenida del perfil sensorial referente a los atributos de olor a aceite, crujencia, sabor salado y graso. En todos los parámetros evaluados se observó los mayores valores para el chip elaborado por inmersión en aceite, similares resultados se obtuvieron en papas frita elaboradas con ambos métodos [13]. La presencia de aceite en el chip de freído convencional es muy perceptible, y crea una diferencia global con el chip de freído por aire. Se ha reportado que la mayor parte del contenido de aceite de los productos fritos se encuentra en la superficie, y que es principalmente adquirido durante el período de enfriamiento y no durante el freído como se espera. Se presume que, durante el freído, la evaporación del agua del producto es tan vigoroso que genera una barrera para evitar la entrada de aceite hacia la estructura porosa del alimento y como consecuencia, la absorción de aceite se ve limitada durante la mayor parte del período de inmersión. Como resultado, la absorción de aceite va a depender de la succión en la corteza y del drenaje una vez que se retira el producto del aceite [31].

Tabla 5. Parámetros sensoriales de los chips

Parámetro	Tipo de Chip	
	Freidora convencional	Freidora de aire
Aceite en la superficie	2.78 ± 1.13 ^a	0.74 ± 1.10 ^b
Olor a aceite	2.89 ± 0.94 ^a	1.00 ± 0.88 ^b
Sabor salado	2.27 ± 0.88 ^a	0.82 ± 0.73 ^b
Sabor a aceite	2.68 ± 1.17 ^a	0.95 ± 0.84 ^b
Crujiente	3.55 ± 0.60 ^a	2.20 ± 1.06 ^b

Lo resultados están expresado como valor promedio (n=23) con desviación estándar.

Letras diferentes en la misma fila indica que hay diferencia significativa entre las muestras.

En el parámetro del sabor salado se observó diferencia significativa, a pesar de que se agregó sal en la misma proporción. La mayor percepción del sabor salado fue en el chip de freído convencional. Esto puede ser atribuido a que el contenido graso del chip aumenta la percepción del sabor salado. Se ha encontrado que reducir el contenido graso disminuye las sensaciones gustativas básicas. Estudios realizados donde redujeron el contenido graso en queso, aderezo para ensalada y mayonesa, demostraron que la percepción del sabor salado fue con menor intensidad en comparación con los alimentos con contenido graso completo [32].

3.4 Análisis de textura

En la industria de los *snacks* fritos se busca una textura crujiente en los productos, que es la principal propiedad que los distingue. La dureza se define como la fuerza máxima requerida para que se dé la ruptura de la muestra, y se relaciona con cuan crujiente está el chip [16]. Una menor dureza indica que un alimento es más crujiente. Los resultados del análisis de los datos generados por el texturómetro se presentan en la tabla 6 y demostraron que la dureza del chip de inmersión es significativamente menor ($p < 0.05$) que la del chip de freidora de aire, siendo el chip de inmersión el más crujiente. Estos los resultados son congruentes con los obtenidos en las pruebas apareada simple y perfil sensorial. Existe diferencia significativa en el crujiente de los chips por el método cocción por fritura aplicado

Tabla 6. Resultados de dureza obtenidos para los chips

Tipo de Chip	Dureza (gf)*
Inmersión en aceite	208.95 ± 10.40 ^a
Freidora de aire	40908.81 ± 487.05 ^b

*gf = gramos fuerza.

*Los valores están expresados como valor medio ± desviación estándar (n=10).

Letras diferentes en la misma columna indica que hay diferencia significativa.

Otros factores que afectan el crujiente es la falta de uniformidad en el chip, la variabilidad en la humedad y

la distribución heterogénea del almidón y otros compuestos que afecta a la microestructura de los alimentos después de la fritura. La variabilidad de las técnicas usadas, el manejo y almacenamiento de los chips antes de realizar las mediciones, son las principales variables que deben ser consideradas en los estudios de textura de este producto [19]. La textura depende mucho de la humedad del producto, ya que, al deshidratarse el almidón a altas temperaturas, este se retrograda y provoca un cambio en la estructura interna que se ve reflejado en una disminución de la fuerza de ruptura de las células [33].

4. Conclusiones

Se lograron elaborar chips de taro por los métodos de fritura convencional y por aire forzado. Los resultados mostraron mayores diferencias en el contenido de grasa, crujencia y preferencia por parte del panel sensorial. Los chips elaborados por freído convencional mostraron el 87 % preferencia siendo los atributos de crujencia y sabor los de mayor puntuación. Por otra parte, presentaron un 31.53 % de lípidos, menor contenido de oxalato 0.40 mg /100g muestra y menor dureza 208.95 gf. En comparación al freído por aire (21.53% de lipido, 4.48 mg oxalato/100 g muestra y 40908 gf de dureza).

Es necesario seguir realizando investigaciones con el método de freído con aire forzado, tecnología que permitirá obtener productos más saludables con propiedades nutricionales y sensoriales aceptables

5. Agradecimiento

Los autores agradecen a la Coordinación de Química, Departamento de Ciencias Naturales de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Tecnológica de Panamá, por el apoyo brindado en el desarrollo de este estudio, especialmente a la Dra. Indira Franco, Lcdo. Alejandrino Sevillano, Lcda. Johanna Rodríguez y Marialina Anria por su asesoramiento y asistencia técnica. Se agradece también a la Ing. Cindy Mayorga del Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales de la Universidad Tecnológica de Panamá, por su asistencia en los análisis de textura.

6. Referencias

- [1] D.J. Catherwood, G.P. Savage, S.M. Mason, J.J.C. Scheffer and J.A. Douglas, "Oxalate content of cormels of Japanese taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) and the effect of cooking,"

- Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 20, pp. 147-151, 2007.
- [2] A. Torres, M. Durán y P. Montero, "Evaluación de las propiedades funcionales del almidón obtenido a partir de malanga (*Colocasia esculenta*)," *Revista Ciencias e Ingeniería al Día*, vol. 8, nº2, pp. 29-38, 2013.
- [3] Q.W. Caicedo, B.R. Rodríguez y R.S. Valle, "Una reseña sobre el uso de tubérculos de papa china *Colocasia esculenta* conservados en forma de ensilaje para alimentar cerdos," *Revista Electrónica de Veterinaria*, vol. 15, nº1, 2013.
- [4] K. Ríos, "Análisis comparativo de las propiedades físico-químicas y nutrimentales de almidón obtenido a partir de dos especies de malanga (*Colocasia antiquorum* y *Colocasia esculenta*) cultivadas en el estado de Oaxaca," Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, Oaxaca, México, 2014.
- [5] C.A. Estrada, L.A. Bello, C.E. Martínez, J.L. Montañez, J. Jiménez y M.A. Vivar, "Producción enzimática de maltodextrinas a partir de almidón de malanga (*Colocasia esculenta*)," *CyTA - Journal of Food*, vol. 7, nº3, pp. 233-241, 2009.
- [6] A. Torres, P. Montero y M. Durán, "Propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*)," *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 10, nº2, 2013.
- [7] J.H. Bradbury and R.W. Nixon, "The Acridity of Raphides from the Edible Aroids," *Journal of the Science of Food & Agriculture*, vol. 76, nº4, pp. 608-616, 1998.
- [8] A.C. Kumoro, R.D.A. Putri, C.S. Budiayati, D. Susetyo, Retnowati and Ratnawati, "Kinetics of calcium oxalate reduction in Taro (*Colocasia esculenta*) corm chips during treatments using baking soda solution," *Procedia Chemistry*, vol. 9, pp. 102-112, 2014.
- [9] Quan-Yuan Ruan, Xue-Qin Zheng, Bai-Ling Chen, Yang Xiao, Xin-Xiang Peng, David W.M. and Leung, E-E Liu, "Determination of total oxalate contents of a great variety of foods commonly available in Southern China using an oxalate oxidase prepared from wheat bran," *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 32, pp. 6-11, 2013.
- [10] *Urolithiasis/urinary stones*, ADA Nutrition Care Manual of the American Dietetic Association, Chicago, IL, USA, 2005.
- [11] S. Sefa-Dedeh and E. K. Agyir-Sackey, "Chemical composition and the effect of processing on oxalate content of cocoyam *Xanthosoma sagittifolium* and *Colocasia esculenta* cormels," *Food Chemistry*, vol. 85, pp. 479-487, 2004.
- [12] F. Pedreschi, "Frying of potatoes: physical, chemical, and microstructural changes," *Drying Technology: an-International Journal*, vol. 30, pp. 707-725, 2012.
- [13] J. Tian, S. Chen, J. Shi, J. Chen, D. Liu, Y. Cai, Y. Ogawa, and X. Ye, "Microstructure and digestibility of potato strips produced by conventional frying and air-frying: an *in vitro* study," *Food Structure*, vol. 14, pp. 30-35, 2017.
- [14] S.K. Pankaj and K. M. Keener, "A review and research trends in alternate frying technologies", *Current Opinion in Food Science*, vol. 16, pp. 74-79, 2017
- [15] S.M. Arafat, "Air frying a new technique for produce of healthy fried potato strips," *Journal of Food and Nutrition Sciences*, vol. 2, nº4, pp. 200-206, 2014.
- [16] B. Belkova, J. Hradecky, K. Hurkova, V. Forstova, L. Vaclavik and J. Hajslova, "Impact of vacuum frying on quality of potato crisps and frying oil," *Food Chemistry*, vol. 241, pp. 51-59, 2018.
- [17] AOAC International, *Official Methods of Analysis*, 17° ed., Gaithersburg, USA: Association of Official Analytical Chemists, 2000.
- [18] AOAC International, *Official Methods of Analysis*, 30° ed., Washington, USA: Association of Official Analytical Chemists, 1980.
- [19] C. Castro, "Evaluación de las propiedades físico-químicas y sensoriales de la patata para fritura". Tesis de Maestría, Universidad de Burgos, Burgos, España, 2008.
- [20] INCAP y OPS, *Tabla de composición de los alimentos de Centroamérica*, 2da ed., 2007.
- [21] M.D.R. Teruel, M. Gordon, M.B. Linares, M.D. Garrido, A. Ahromrit and K. Niranjana, "A comparative study of the characteristics of French fries produced by deep fat frying and air frying," *Journal of Food Science*, vol. 80, nº2, pp. 349-358, 2015.
- [22] Y. Zhang, T. Zhang, D. Fan, J. Li, L. Fan, "The description of oil absorption behavior of potato chips during the frying", *LWT-Food Science and Technology*, vol. 96, pp. 119-126, 2018.
- [23] J. Hasbún, P. Esquivel, A. Brenes y I. Alfaro, "Propiedades físico-químicas y parámetros de calidad para uso industrial de cuatro variedades de papa," *Agronomía Costarricense*, vol. 33, nº1, pp.77-89, 2009.
- [24] N.P. Durán, I. Osorio and M.A. Rojas, "Proposed methodology for the evaluation of the physicochemical characteristics of two varieties of cassava (*Manihot esculenta* Crantz), used as raw material for the preparation of fried chips," *Scientia et Technica Año XVIII*, vol. 18, nº3, pp. 553-559, 2013.
- [25] W. D. Holloway, M. E. Argall, W.T. Jealous, J.A. Lee and J.H. Bradbury, "Organic acids and calcium oxalate in tropical root crops," *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, vol. 37, pp. 337-341, 1989.
- [26] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, *Raíces, tubérculos, plátanos y bananas en la nutrición humana*. Roma, Italia: FAO, 1991, pp. 108.
- [27] K. Judprasong, S. Charoenkiatkul, P. Sungpuag, K. Vasanachitt and Y. Nakjamanong, "Total and soluble oxalate contents in Thai vegetables, cereal grains and legume seeds and their changes after cooking," *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 19 nº4, pp. 340-347, 2006.
- [28] A. Montaldo, *Cultivo de raíces y tubérculos tropicales*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1991, pp. 59-62.
- [29] Aboubakar, N.Y. Njintang, J. Scher and C.M.F. Mbofung, "Texture, microstructure and physicochemical characteristics of taro (*Colocasia esculenta*) as influenced by cooking

- conditions,” *Journal of Food Engineering*, vol.91, pp. 373–379, 2009.
- [30] P.B.E. Albihn and G.P. Savage, “The effect of cooking on the location and concentration of oxalate in three cultivars of New Zealand-grown oca (*Oxalis tuberosa* Mol),” *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 81, pp. 1027-1033, 2001
- [31] V. Dueik and P. Bouchon, “Development of Healthy Low-Fat Snacks: Understanding the Mechanisms of Quality Changes During Atmospheric and Vacuum Frying,” *Food Reviews International*, vol. 27, n°4, pp.408-433, 2011.
- [32] E. Kostyra and N. Baryłko-Pikielna. “The effect of fat levels and guar gum addition in mayonnaise-type emulsions on the sensory perception of smoke-curing flavour and salty taste,” *Food Quality and Preference*, vol. 18, pp. 872–879, 2007.
- [33] J. Lucas, V. Quintero, J. Vasco y L. Cuellar, “Evaluación de los parámetros de calidad durante la fritura de rebanadas de papa criolla,” *Scientia et Technica*, vol. 16, n°48, pp. 299-304, 2011.

Control de seguimiento para un aerodeslizador no tripulado por medio de un único actuador

Trajectory tracking control of an unmanned hovercraft by means of A single actuator

Ricardo De Levante ^{1*}, Deyka García ²

¹ Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

² Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

*Autor de correspondencia: ricardo.delevante@utp.ac.pa

RESUMEN— Se presenta el desarrollo de un regulador cuadrático lineal como controlador para la navegación de un sistema no holonómico y subactuado: un aerodeslizador no tripulado. En este trabajo se utiliza un modelo simplificado del aerodeslizador derivado del modelo general de vehículo de superficie. Este modelo considera tres grados de libertad para el vehículo, dos de estos grados son completamente actuados; además, se añade al grado no actuado un coeficiente que representa las fuerzas de arrastre que se oponen al movimiento del vehículo. Aprovechando que este modelo del aerodeslizador es diferencialmente plano según un marco inercial de referencia, se diseña una trayectoria circular como consigna. Se verifica la controlabilidad del vehículo según el modelo encontrado, que es controlable siempre que la velocidad angular a la que gira sea distinta de cero. Este discernimiento se aprovecha, luego de asumir que la velocidad angular del vehículo es constante, para realizar un controlador que utiliza un único actuador para seguir la trayectoria deseada. Se presenta la ley de control propuesta, las ganancias de la ley de control son determinadas por un regulador cuadrático lineal. El regulador cuadrático lineal se sintoniza utilizando como punto de partida la Regla de Bryson, y se mejora mediante ensayo y error. Se finaliza con una serie de simulaciones realizadas en el *software* MATLAB probando que, aunque el controlador es poco eficiente en su respuesta, logra seguir la trayectoria circular deseada.

Palabras clave— Aerodeslizador, controlador, no holonómico, regulador cuadrático lineal, sistema subactuado.

ABSTRACT— This paper presents the development of a linear quadratic regulator for the navigational control of an underactuated and non-holonomic system: the unmanned hovercraft; a simplified model of the hovercraft derived from the general model for surface vehicles is used for this end. This model considers three degrees of freedom for the hovercraft; two of them are completely actuated. A coefficient representing the drag forces perceived by the vehicle is added in the direction of the unactuated degree. It is found while verifying the controllability of the hovercraft that the system is controllable as long as the angular velocity is not zero. Taking advantage that this model of the hovercraft is differentially flat with respect to an inertial reference frame a circular trajectory is designed as the reference for the controller. After assuming that the angular velocity of the hovercraft is constant, these properties are used to design a controller that uses a single actuator to follow the reference trajectory. This paper proposes a control law that uses a linear quadratic regulator to determine its gains. The regulator is tuned by trial and error, starting from Bryson's Rule. This paper finishes with a series of simulations programmed on the *software* package MATLAB proving that, although the controller is not efficient, it follows the trajectory by means of a single actuation signal as expected.

Keywords— Hovercraft, Controller, not holonomic, linear quadratic regulator, under-system.

1. Introducción

La agricultura moderna se divide en dos grandes ramas, la agricultura convencional y la agricultura de precisión. La agricultura de precisión se define, para este estudio, de la siguiente manera: “un sistema de manejo basado en información y tecnología que es específico al sitio y usa al menos una de las siguientes fuentes de datos: suelos, cultivos, nutrientes, plagas, humedad, o rendimiento, para lograr una óptima rentabilidad, sostenibilidad y protección del ambiente” (traducido y adaptado de [1]).

La agricultura de precisión tiene el objetivo de aprovechar al máximo los insumos tomando en cuenta las irregularidades de los campos sembrados, las necesidades específicas de ciertos grupos de plantas y otras características de los sembradíos.

La agricultura de precisión prefiere equipos que entren en contacto próximo con plantas o suelos, asegurando que los insumos sean aprovechados al máximo. Se busca en la agricultura de precisión limitar el uso de avionetas para regadío, pues los químicos se dispersan, impidiendo una distribución eficiente. Uno de los mecanismos implementados, consiste en usar

personas, que carguen los químicos pesticidas o similares y las suministren directamente a las plantas. Ya que un suministro directo a la planta de productos químicos, presenta un riesgo de salud, para operarios [2] se propone como alternativa introducir vehículos no tripulados y automáticos para realizar las funciones de la agricultura de precisión.

El aerodeslizador es un vehículo de sustentación de aire, capaz de flotar sobre cualquier superficie continua. Su extensión es delimitada por una falda, o manta flexible, al moverse sobre plantas las dobla sin quebrarlas por lo que un aerodeslizador se puede utilizar para monitorear y regar ciertos sembradíos. Un uso aún más interesante de los aerodeslizadores para agricultura consiste en la irrigación de suelos lodosos; este uso se conoce al menos desde los años 60, cómo se evidencia por el vehículo *Hover Rover* fabricado por *Vickers-Armstrong Limited*. El *Hover Rover* mostrado en la figura 2 consiste en un tractor al cual se le ha añadido el sistema de inflado y falda para convertirlo en un aerodeslizador. Normalmente, un tractor se atascaría en terreno lodoso, haciendo imposible el tratamiento del suelo hasta que la tierra

seque, añadiendo semanas al ciclo agrícola. Al bajarla falda hasta la tierra y llenarla de aire, el peso sobre las ruedas disminuye y el vehículo se puede hacer deslizar sobre el terreno lodoso impulsado ya sea por impulso de aire o por la acción de las ruedas [3]. De este modo un aerodeslizador puede ser usado en agricultura de precisión y se hace patente la necesidad de nuevos estudios en la aplicabilidad de aerodeslizadores para agricultura.

El aerodeslizador, como generalmente se diseña, consta de un sistema de inflado, que llena la falda de aire y crea la sustentación para el vehículo; incluye un sistema de propulsión que se suele unir al sistema de inflado para minimizar la cantidad de ventiladores necesarios; en específico para el caso de un aerodeslizador automático y no tripulado consta también de un sistema de control, que incluye una red de sensores. El sistema de propulsión es también el responsable del direccionamiento del vehículo por lo que es este sistema el objeto de control para navegación. Un aerodeslizador pequeño diseñado y construido por los autores cómo parte de un estudio relacionado se muestra en la figura 1.



Figura 1. Vehículo aerodeslizador construido por los autores. Hecho de madera balsa con una falda de poliéster recubierta con PVC. Los dos ventiladores sobre la cubierta del vehículo inflan la falda. Los tres ventiladores montados en la popa del vehículo impulsan el vehículo. Si el ventilador de babor genera un impulso mayor que el ventilador de estribor, el aerodeslizador giraría en sentido contrario.

El desafío de controlar un aerodeslizador surge de su dinámica. El vehículo es no holonómico, por lo que su posición no se puede determinar completamente por su cinemática. Implica también controlar un aerodeslizador subactuado, por lo que hay grados de libertad sin actuación.

Un sistema no holonómico es aquel sistema cuyos estados dependen del camino tomado. En un sistema como este, se pueden identificar una serie de parámetros que varían conforme el sistema evoluciona, y aunque estos parámetros vuelvan a los del punto de partida, el estado del sistema puede no ser el mismo. Una definición

un poco más precisa de un sistema no holonómico se refiere a aquel sistema que presenta ecuaciones de restricción en las velocidades del sistema, diferenciándose de un sistema holonómico que solo presenta restricciones en las posiciones. Las restricciones de un sistema no holonómico se presentan como relaciones diferenciales no integrables; se encuentra, además, que el número de grados de libertad de este sistema es menor al número de coordenadas independientes en una cantidad igual al número de estas restricciones. Finalmente, en un sistema no holonómico, el movimiento entre posiciones infinitesimalmente vecinas, puede ser imposible, añadiendo una dificultad adicional al planeamiento de la trayectoria de un sistema como este [4].

Un sistema subactuado es aquel en el cual hay una menor cantidad de actuadores por grado de libertad que grados de libertad. Un sistema con tres grados de libertad que únicamente posee actuación en dos grados, es un sistema subactuado. Un sistema subactuado también se puede entender como aquel sistema que no puede acelerarse instantáneamente por sus actuadores en alguna dirección arbitraria. Como una consecuencia de esto, los sistemas subactuados no pueden ser dirigidos a seguir trayectorias arbitrarias [5]. Los sistemas subactuados contrastan con los sistemas completamente actuados, donde cada grado de libertad posee actuación y es posible acelerar el sistema instantáneamente a una dirección arbitraria.

El diseño de sistemas de control para aerodeslizadores es un campo de trabajo activo en la actualidad [6], con enfoques a seguimientos de trayectoria y navegación también en la literatura [7], incluyendo modelos de aerodeslizadores subactuados. Las soluciones que se suelen encontrar en la literatura hacen uso de al menos dos actuadores para controlar el vehículo, este estudio busca abrir la discusión hacia el diseño de controladores de sistemas subactuados con un mínimo de actuadores, en este caso un único actuador; logrando este objetivo aprovechando ciertas características propias de la dinámica de los aerodeslizadores.

Este trabajo se realiza como seguimiento al trabajo realizado por García et al., quien utilizó el método directo de Lyapunov [6] y formuló un diseño para la estabilización de un aerodeslizador [8]. En el trabajo de García et al., se diseña un controlador para estabilizar la posición de un aerodeslizador, de tal forma que

permanezca indefinidamente en su posición de consigna sin deslizarse o girar. En este trabajo se aprovecha la baja resistencia dinámica del aerodeslizador que le permite mantener algún giro que se le haya sido impartido en la dirección de guiñada para realizar el seguimiento de una trayectoria circular únicamente con un actuador actuando en la dirección de proa-popa.

En este trabajo se trata el diseño de un controlador basado en reguladores cuadráticos para navegar un vehículo aerodeslizador. Se presenta primero el modelo del aerodeslizador, el cual está basado en los vehículos de superficie, como botes. Al analizar el modelo del vehículo se nota que el mismo es no holonómico y subactuado. Atendiendo a estas limitaciones del vehículo se introduce un difeomorfismo para tratar el hecho de que sea no holonómico y se encuentra una trayectoria circular como solución para tratar el problema de la subactuación. Se nota que, debido en parte a las consideraciones tomadas, el seguimiento de la trayectoria es lograda con una sola señal de actuación.

Ya que el aerodeslizador debe ser autónomo para eliminar la necesidad de un operario, este debe ser capaz de seguir automáticamente alguna trayectoria de trabajo sobre la cual realizar su acción agrícola. Como primer paso se busca la navegación a una trayectoria circular, aprovechando también el hecho de que, a partir de una secuencia de trayectorias circulares, es posible construir trayectorias más complejas.

Este trabajo propone un método para lograr que un aerodeslizador siga una trayectoria circular utilizando un único actuador, siendo este el aporte al estado del arte. Se presentan simulaciones realizadas con el *software* MATLAB del controlador propuesto ante diversas condiciones iniciales como evidencia de su funcionamiento.

El trabajo presentado aquí fue realizado con fondos provistos por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) de Panamá, por medio del Sistema Nacional de Investigación (SNI).

2. Modelado dinámico del aerodeslizador

La dinámica de un aerodeslizador se puede modelar cómo un vehículo de superficie [9] al considerar al aerodeslizador como un vehículo que se sostiene sobre una capa de aire, y que flota de manera similar a como lo haría un bote sobre el agua. En este modelo se utilizan dos marcos de referencia para describir la dinámica del

vehículo: uno inercial y otro no-inercial, este último sobre el vehículo. El movimiento solamente se considera en el plano x-y, esto es superficial; no se considera relevante que el vehículo cambie su altura. Aunque el cabeceo de la nave sí tiene un aporte al movimiento en el plano del vehículo, principalmente debido a que los escapes de aire modifican la dinámica del sistema ya sea añadiendo fuerzas o cambiando el peso del vehículo, un balance correcto del sistema de inflado y un cuidado con la superficie sobre la que se navega, minimiza estos efectos en la práctica.

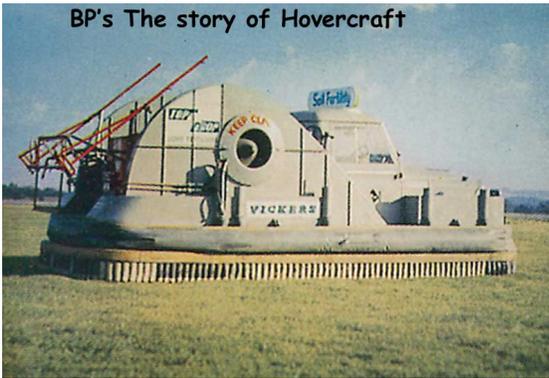


Figura 2. Vehículo Aerodeslizador *Hover Rover* modelo del fabricante inglés *Vickers-Armstrong Limited* tomado de [3]. El vehículo se utiliza para irrigación de suelos, existen videos de su operación en internet¹. Fotografía usada con permiso.

En la figura 3 se muestra el modelo simplificado del aerodeslizador adaptado para este estudio de [6]. Para este modelo se considera un sistema de referencia inercial local. De este modo se desprecian las fuerzas de Coriolis inducidas por la rotación de la Tierra; también, se considera a la Tierra localmente plana.

Refiriéndose a la figura 3, x , y , ψ representan la posición generalizada y la orientación según el marco de referencia inercial. El marco sobre el vehículo considera dos ejes. Uno de los ejes, el eje transversal, en la dirección babor-estribor, según el cual se mide la velocidad de abatimiento, indicada con v . El otro eje, el

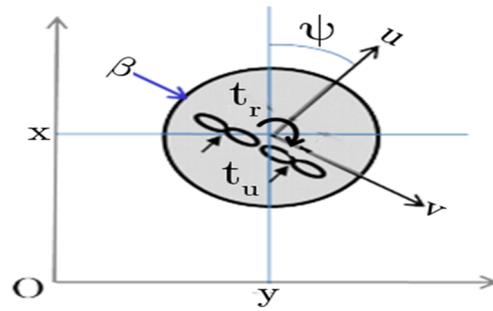


Figura 3. Modelo del aerodeslizador, adaptado de [6].

longitudinal, en la dirección popa-proa, según el cual se mide la velocidad de avance u . En el eje longitudinal de la nave se han montado al menos dos ventiladores, que proveen impulso a la nave. Funcionando como actuadores del sistema de control de la nave; la fuerza que aportan al movimiento se denota con τ_u . Estos mismos ventiladores se pueden hacer operar y disponer en una variedad de configuraciones; es posible entonces adicionar al sistema un segundo actuador al configurar los ventiladores como un diferencial de torsión, por ejemplo. Este segundo actuador proveerá un momento de torsión para hacer girar la nave actuando sobre el ángulo de guiñada. El momento de torsión provisto de esta manera se indica por τ_r . Al modelo se añade un elemento a veces despreciado en la literatura pero que se puede encontrar en trabajos como [7], un coeficiente que representa el efecto de las fuerzas de arrastre en la dirección estribor-babor, β ; este coeficiente es constante y depende del diseño del vehículo y su entorno de trabajo; es posible dimensionarlo mediante pruebas de laboratorio. Al analizar este modelo siguiendo un desarrollo similar al descrito en [6] encontramos la siguiente dinámica del vehículo. Se recalca que todos los términos, excepto β y aquellos que representan funciones trigonométricas, son variables

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= u \cos(\psi) - v \sin(\psi) \\
 \dot{y} &= u \sin(\psi) + v \cos(\psi) \\
 \dot{\psi} &= r \\
 \dot{u} &= vr + \tau_u \\
 \dot{v} &= -ur - \beta v \\
 \dot{r} &= \tau_r
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

¹ Archiveros virtuales han recabado videos de la operación de este vehículo para la irrigación de tierras para cultivos como: <https://www.britishpathe.com/video/hover-rover>

Donde,

u es la velocidad (m/s) hacia proa en el eje longitudinal de la nave,

v es la velocidad (m/s) hacia estribor en el eje transversal,

ψ es el ángulo de guiñada de la nave (rad),

r es la velocidad angular (rad/s) en el ángulo de guiñada de la nave, se omite de la figura 3 por espacio,

x es la posición del vehículo según el eje vertical de un sistema inercial de referencia (m),

y es la posición del vehículo según el eje horizontal de un sistema inercial de referencia(m),

β es un coeficiente (1/s) que representa el arrastre del vehículo en la dirección estribor-babor,

τ_u es la fuerza aplicada en el eje longitudinal de la nave (N),

τ_r es el torque aplicado a través del eje vertical de la nave, en la dirección del ángulo de guiñada (N/s).

Para obtener este modelo se han aplicado ciertas condiciones a la dinámica del vehículo, las mismas se suelen encontrar en la literatura [9] como aproximaciones para estos sistemas. Se considera que la forma del vehículo es un disco, que los ventiladores se ubican en el centro de masa del vehículo, que la matriz de inercia del vehículo, según el modelo de vehículos de superficie (ver [7]), es diagonal e igual a la matriz identidad. Se considera que solamente existe arrastre aerodinámico y que este solamente actúa en el eje de estribor a babor de la nave, en la dirección de v . También, por el diseño del vehículo no hay actuador en este eje, por lo que no hay fuerza externa en su ecuación. También se considera que la aceleración angular en el ángulo de guiñada es directamente controlable por el torque aplicado, aproximación que es posible hacer al considerar despreciables los efectos del arrastre aerodinámico en este movimiento. La baja resistencia al movimiento del aerodeslizador se modela aquí considerando que la actuación en el ángulo de guiñada controla completamente la aceleración en esta dirección. Esto se aprovecha para el diseño del controlador de la siguiente manera: el aerodeslizador permanece en movimiento a una velocidad angular constante, definida por el impulso inicial, en la ausencia de fuerzas no-conservativas.

3. Planeación de la trayectoria

El sistema del aerodeslizador que se muestra en la ecuación (1) es diferencialmente plano con respecto a las salidas x y y [7]. Esto implica que todas las variables del

sistema se pueden expresar como funciones de las variables de salida, x y y , y sus derivadas. Esto hace posible expresar el ángulo de guiñada en términos de las variables de salida y, a partir de este resultado, encontrar una trayectoria posible para este sistema tomando en cuenta sus limitaciones. Siguiendo el procedimiento detallado en [7], el ángulo de guiñada se puede expresar en términos de estas variables como se muestra en la ecuación (2). El término β es constante.

$$\psi = \arctan\left(\frac{\ddot{y} + \beta \dot{y}}{\ddot{x} + \beta \dot{x}}\right) \quad (2)$$

A partir de las primeras dos líneas de la ecuación (1) se puede encontrar otro resultado de utilidad: expresiones para u y v en términos de las variables de salida.

$$\begin{aligned} v &= \dot{y} \cos(\psi) - \dot{x} \sin(\psi) \\ u &= \dot{y} \sin(\psi) + \dot{x} \cos(\psi) \end{aligned} \quad (3)$$

Tomando la ecuación (2) junto con la ecuación (3) se encuentran el conjunto de ecuaciones que deben solucionarse para encontrar una trayectoria posible para el aerodeslizador, expresada en la ecuación (4).

$$\begin{aligned} \psi_d &= \arctan\left(\frac{\ddot{y}_d + \beta \dot{y}_d}{\ddot{x}_d + \beta \dot{x}_d}\right) \\ v_d &= \dot{y}_d \cos(\psi_d) - \dot{x}_d \sin(\psi_d) \\ u_d &= \dot{y}_d \sin(\psi_d) + \dot{x}_d \cos(\psi_d) \\ r_d &= \dot{\psi}_d \end{aligned} \quad (4)$$

En la ecuación (4) se usan las mismas letras que en la ecuación (1) para representar las mismas variables. A cada letra se añade el subíndice d , de este modo se indica que esta representa las características de la trayectoria deseada, también llamada de referencia o consigna.

Al elegir una trayectoria y_d y x_d para que el vehículo siga, esta debe ser una solución del sistema de ecuaciones (4). Se elige una trayectoria con forma de círculo y el sistema se resuelve a la ecuación (5).

$$\begin{aligned} x_d &= p \cos(\omega t) \\ y_d &= p \sin(\omega t) \\ \psi_d &= \omega t + \arctan\left(\frac{\beta}{\omega}\right) \\ v_d &= p \omega \cos\left(\arctan\left(\frac{\beta}{\omega}\right)\right) \\ u_d &= -p \omega \sin\left(\arctan\left(\frac{\beta}{\omega}\right)\right) \\ r_d &= \omega \end{aligned} \quad (5)$$

Para la ecuación (5) cual,

p es el radio del círculo,

w es la frecuencia de oscilación,

t es el tiempo,

y las unidades son definidas según las dimensiones del sistema. Un resultado interesante de esta elección surge debido a la consideración de que el ángulo de guiñada es directamente controlable por lo que se puede, seguir completamente r_d , ya que esta es constante, la acción del actuador se extingue con el tiempo y la navegación del sistema se logra únicamente con el actuador de avance. Así si se imparte un impulso de torsión al vehículo que lo haga girar constantemente a la frecuencia de oscilación w , este seguirá la trayectoria circular únicamente con los actuadores de avance. Este es un resultado que solo se ha podido verificar para trayectorias circulares en este estudio.

4. Controlabilidad del aerodeslizador

Para describir el movimiento del sistema en el sistema de referencia inercial con respecto al plano no inercial se aplica una transformación, que es un difeomorfismo, y se muestra en la ecuación (6) [9].

$$\begin{aligned} Z_1 &= \cos(\psi)x + \sin(\psi)y \\ Z_2 &= -\sin(\psi)x + \cos(\psi)y \\ Z_3 &= \psi \end{aligned} \quad (6)$$

Al aplicar la ecuación (6) en conjunto con la ecuación (1) el sistema del aerodeslizador se reduce de la siguiente manera.

$$\begin{aligned} \dot{Z}_1 &= u + Z_2 r \\ \dot{Z}_2 &= v - Z_1 r \\ \dot{u} &= vr + \tau_u \\ \dot{v} &= -ur - \beta v \end{aligned} \quad (7)$$

donde se han despreciado las ecuaciones que corresponden a la actuación en el ángulo de guiñada, ya que se está considerando que este grado es directamente controlable. Esto implica que se desprecie la derivada de la variable temporal r , que para la trayectoria que se usará tendrá un valor nulo. La ecuación (7) se reescribe en representación de espacio de estados para aplicar el criterio de controlabilidad, esta formulación se aprecia en la ecuación (8). En la ecuación (8) A es la matriz del sistema, B es la matriz de entrada y q es el vector de estados y U es el vector de entradas del sistema, que para

esta aplicación solo tiene una entrada: τ_u ; también se presenta en la ecuación (8) la matriz de salida.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{Z}_1 \\ \dot{Z}_2 \\ \dot{u} \\ \dot{v} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & r & 1 & 0 \\ -r & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & r \\ 0 & 0 & -r & -\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ u \\ v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} [\tau_u] = Aq + BU \\ \begin{bmatrix} Z_{1o} \\ Z_{2o} \\ u_o \\ v_o \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ u \\ v \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (8)$$

Se requiere que al formar la matriz de controlabilidad del sistema esta sea de rango completo para que el sistema sea controlable.

$$R_c = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -r^2 & \beta r^2 \\ 0 & -r & \beta r & -r(\beta^2 - r^2) \\ 0 & 1 & 0 & -3r^2 \\ 0 & 0 & -2r & \beta r \end{bmatrix} \quad (9)$$

La ecuación (9) es la matriz de controlabilidad del sistema. Esta matriz es de rango completo siempre que r , la velocidad angular del vehículo en el ángulo de guiñada, sea distinta de cero. Para el caso de la trayectoria circular, r será constante y distinta de cero, por lo que el sistema es controlable para este caso.

5. Control por regulación cuadrática lineal

Se utiliza un regulador cuadrático lineal para construir un controlador para el aerodeslizador y así navegar el aerodeslizador por la trayectoria circular. Haciendo referencia a la ecuación (10) tenemos:

$$\dot{q} = Aq + BU \quad (10)$$

$$U = -Kq \quad (11)$$

$$J(t, t_f) = \int_t^{t_f} (q^T Q q + u^T R u) d\tau \quad (12)$$

donde,

q es el vector de estados del sistema,

A es la matriz de la dinámica de sistema,

B es la matriz de actuación del sistema,

U es el vector de controles del sistema,

K es una matriz de ganancias,

Q es la matriz de peso de los estados,

R es la matriz de costo de control.

Prosigue un resumen de reguladores cuadráticos lineales [10]. Para un sistema como el descrito en (10) se puede definir un controlador proporcional como el que se

muestra en (11), donde la matriz K se puede definir como la solución a la ecuación de Riccati que minimiza la función de costo definida en la ecuación (12).

Para que exista la matriz K es necesario que las matrices R y Q en la ecuación (12) cumplan ciertas condiciones. R debe ser una matriz simétrica positiva definida y Q debe ser simétrica y al menos semipositiva definida. Las matrices R y Q son dimensionadas por el diseñador y su elección es uno de los desafíos principales del diseño de un controlador por regulación cuadrática lineal. Las matrices R y Q son usadas para definir la importancia que tiene para la función de costo J la magnitud de las entradas de control o de los estados; así si un diseñador quiere minimizar la energía que consumen las entradas de control es solo necesario que se elija una matriz R cuya influencia en la función de costo sea mayor que la matriz Q . Es posible utilizar la Regla de Bryson [11] como punto de partida para el dimensionamiento de estas matrices, no obstante su afinamiento se realiza por prueba y error.

A continuación, se definirá el error e del sistema de control. Primero es necesario construir la trayectoria deseada, un círculo, en términos de la transformación que se realizó en la sección 4. Usando la ecuación (5) y el modelo que se presenta en la ecuación (6), se encuentra la trayectoria deseada y se presenta en la ecuación (13).

Donde el subíndice d indica que se trata de valores deseados o de referencia. Se recalca que de interés para este estudio son las salidas definidas en la ecuación (10), en especial las dos variables Z_1 y Z_2 , de las cuales es posible reconstruir la trayectoria que sigue el vehículo. Ahora se procede a comparar la trayectoria deseada con el vector de estados, el vector resultante es el error del sistema, e . Se presenta en la ecuación (14). Donde Z_1 , Z_2 , u y v son los valores actuales de las variables de estado durante operación, reportados, por ejemplo, por una red de sensores de posición y aceleración.

$$\begin{aligned} Z_{1d} &= \cos(\omega t + \arctan(\frac{\beta}{w}))p \cos(\omega t) \\ &\quad + \sin(\omega t + \arctan(\frac{\beta}{w}))p \sin(\omega t) \\ Z_{2d} &= -\sin(\omega t + \arctan(\frac{\beta}{w}))p \cos(\omega t) \\ &\quad + \cos(\omega t + \arctan(\frac{\beta}{w}))p \sin(\omega t) \\ v_d &= pw \cos(\arctan(\frac{\beta}{w})) \\ u_d &= -pw \sin(\arctan(\frac{\beta}{w})) \end{aligned} \quad (13)$$

$$e = \begin{bmatrix} Z_{1d} - Z_1 \\ Z_{2d} - Z_2 \\ u_d - u \\ v_d - v \end{bmatrix} \quad (14)$$

Tomando el controlador sugerido en [10] que se muestra en la ecuación (11) como referencia, se propone una ley de control para el sistema del aerodeslizador definido en la ecuación (10). La ley de control propuesta para el seguimiento de trayectoria se define por la ecuación (15). Los términos mantienen su significado de la ecuación (11) y la ecuación (14).

$$U = -Ke \quad (15)$$

donde,

e es la diferencia entre el vector de estados deseados y el vector de estados actuales o medidos.

6. Simulación

Se usa el *software* MATLAB para simular el sistema dinámico y la actuación del controlador sobre él. Se escoge MATLAB ya que incluye funciones para solucionar la ecuación algebraica de Riccati y por la facilidad de escribir un programa y poder cambiar las condiciones iniciales, facilitando el encontrar la respuesta del sistema frente a diferentes condiciones.

En MATLAB hay dos funciones que son de especial utilidad para simular el desarrollo de este estudio. La primera función a mencionar, es la función *initial*; la cual, a partir de un sistema dinámico representado en espacio de estados obtiene la respuesta natural para cualquier condición inicial. La segunda función de utilidad es *lqr* esta función se invoca para diseñar, a partir de la dinámica de un sistema y los parámetros de la función de costo, un regulador cuadrático lineal; esto es, al invocar esta función se obtiene el valor de la ganancia K . En general para el diseño de las simulaciones se sigue un procedimiento similar al propuesto en [10].

Es necesario definir en MATLAB la dinámica del sistema, haciendo referencia a la ecuación (10), la matriz A se rellena con los valores de la consigna, recordando que esta matriz solo depende de la velocidad de giro del vehículo y en nuestro tratamiento esta es constante; la matriz B y todos los parámetros se normalizan dividiendo entre la masa del vehículo. El vehículo de simulación se considera un aerodeslizador pequeño de unos 30kg, es con este valor que se normaliza la matriz B y el resto del

sistema. Se presenta en la ecuación (16) las matrices que se usaron en simulación.

$$\begin{bmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \\ \dot{u} \\ \dot{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{w}{30} & 1 & 0 \\ -\frac{w}{30} & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{w}{30} \\ 0 & 0 & -\frac{w}{30} & \frac{347}{3000} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ u \\ v \end{bmatrix} + \frac{1}{30} [\tau_u] \quad (16)$$

Para elegir las matrices de costo Q y R se inicia usando la Regla de Bryson. En la Regla de Bryson se rellena únicamente la diagonal principal de cada matriz escogiendo valores máximos que dependen de parámetros como el tiempo de muestreo y la fineza de los mecanismos de medición, luego los valores de la matriz son modificados hasta que la respuesta llegue a estar dentro de algún rango de valores deseados. En la tabla 1 se muestra el parámetro adimensional u_{1max} , este corresponde con el valor inicial según la Regla de Bryson para la matriz R , que solo tiene un valor. Los valores x_{1max} hasta x_{4max} , son parámetros adimensionales utilizados en la sintonización de la matriz Q . Ellos corresponden con los valores de la matriz Q , en orden cada uno se relaciona a una de las cuatro variables de estado del sistema. Las matrices Q y R en sus versiones para los resultados de estas simulaciones se muestran en la ecuación (17).

$$Q = \begin{bmatrix} 1 \times 10^5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 \times 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \times 10^{11} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \times 10^7 \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$R = [7 \times 10^6]$$

La tabla 1 muestra los valores escogidos para realizar la simulación del aerodeslizador. Los primeros dos valores de la columna de la izquierda corresponden a la trayectoria a seguir por el vehículo aerodeslizador. El radio del círculo es P y la frecuencia de oscilación es w . De interés es el valor de β , que se escogió según el encontrado experimentalmente para el vehículo de la figura 1. Los otros valores se utilizan para determinar las matrices Q y R de la función de costo para la ganancia de control K . El tiempo de muestreo es t_s , y ρ es un coeficiente de peso que se utiliza para añadir o reducir

importancia a la parte dinámica o la parte de actuación en la función de costo.

La trayectoria a la cual navegará el vehículo se muestra en la figura 4. Esta es una trayectoria circular a pesar de como se pueda ver por la diferencia en la escala de los ejes del gráfico. La figura 4 muestra tres ilustraciones, arriba se grafica la posición del vehículo según la coordenada y del sistema de referencia contra su posición en x , cada par de puntos comparten el mismo valor de tiempo. En las dos ilustraciones de abajo se grafican cada coordenada deseada con respecto al tiempo, como es de esperar estas gráficas son sinusoidales según esta variable independiente.

Para estos parámetros el vector de ganancia del controlador queda completamente definido. Al utilizar la función *lqr* de MATLAB con las matrices A , B , Q y R que se presentan aquí el vector de ganancias es el que se

presenta en la ecuación (18).

$$K = \begin{bmatrix} 92.2877 \\ -472.3233 \\ 49.2097 \\ -108.9291 \end{bmatrix}^T \quad (18)$$

El origen del eje coordenado del sistema de referencia se determina como la posición de la nave al momento en que se inicia la simulación. La simulación se diseñó para que se pudieran indicar varias condiciones iniciales diferentes, pudiendo probar posiciones lejos del centro del círculo, o con ciertas velocidades iniciales. La sintonización de las matrices R y Q se llevó a cabo variando estas condiciones iniciales, la intención era lograr que para un grupo predeterminado de condiciones iniciales el sistema se estabilizara en menos de 60 segundos.

Tabla 1. Valores para la simulación del aerodeslizador

Variable	Valor	Variable	Valor
P	5 m	x_{2max}	0.1
w	$\pi/16$ rad/s	x_{3max}	1.0e-5
β	347/3000 1/s	x_{4max}	1.0e-3
u_{1max}	0.1	t_s	0.1 s
x_{1max}	0.01	ρ	0.7e5

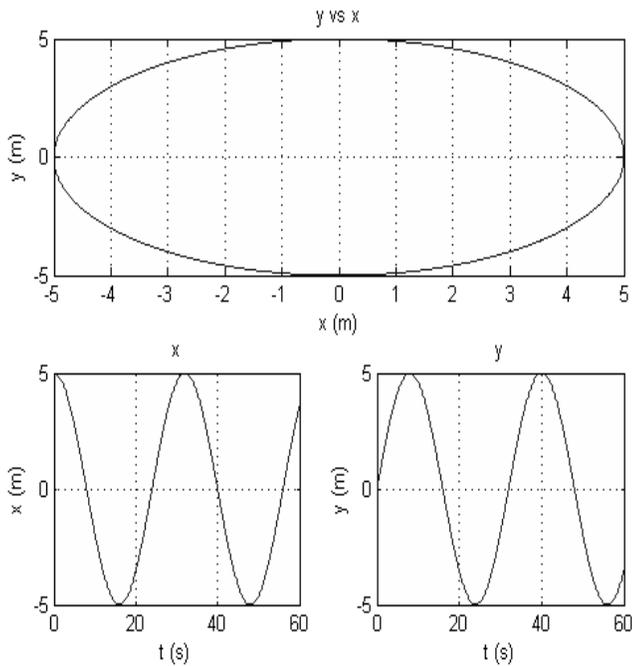


Figura 4. Trayectoria deseada para la navegación del aerodeslizador.

7. Resultados de la simulación

La respuesta simulada con MATLAB frente a diversas condiciones iniciales se muestra en las siguientes imágenes. El vector de condiciones iniciales es $X_i = [u_i \ v_i \ Z_{1i} \ Z_{2i}]$, donde las variables tienen los significados usuales expresados en las secciones anteriores. Así si se desea que la simulación inicie con una velocidad inicial de 50 m/s en la dirección de estribor-babor, se usaría el vector $[0 \ -50 \ 0 \ 0]$. Se presentan los resultados de la simulación para dos vectores de condiciones iniciales. La respuesta ante el vector de reposo $[0 \ 0 \ 0 \ 0]$ donde el vehículo inicia su movimiento en el centro del eje coordenado y luego es actuado para seguir la trayectoria de referencia. El resultado de esta simulación se muestra en la figura 5. La figura muestra cinco imágenes, a mano izquierda la respuesta geométrica de la posición del vehículo, y a mano derecha las cuatro respuestas gráficas de las variables de estado. La respuesta geométrica de la posición del vehículo es la posición x y y , graficadas como un par ordenado para cada instante de tiempo que compartan; se obtiene a partir de las variables de estado Z_1 y Z_2 a las cuales se les vuelve a aplicar el

difeomorfismo para obtener la posición según el eje de referencia. El aro exterior es la trayectoria de referencia, la línea sólida interna es la posición del vehículo simulado en cada instante. Se observa que el vehículo nunca se aleja más allá de cinco metros de la trayectoria deseada. Otro detalle interesante es la curva pronunciada que se puede observar en el cuadrante superior izquierdo, donde aparentemente la señal de actuación invierte su dirección. Al lado derecho se observan las respuestas de las variables de estado, las dos de arriba: las velocidades, a la izquierda la velocidad popa-proa y a mano derecha la velocidad babor-estribor, se observa que ambas velocidades se asientan en un tiempo no mayor a 40 segundos. Las dos variables de estado de abajo Z_1 y Z_2 se relacionan directamente con la posición y se espera que se asienten a un valor que depende del tamaño del círculo y la frecuencia de oscilación del vehículo. Se nota que se estabilizan en 40 segundos de igual modo.

También se simuló la respuesta a un caso crítico, se desea saber como reaccionaría el vehículo ante una condición de velocidad inicial. La idea es comprobar cuál sería la reacción del vehículo cuando este deba asumir una nueva consigna repentinamente durante su operación. Para un vehículo aerodeslizador pequeño y liviano que no está diseñado para ser veloz, una velocidad de trabajo puede rondar los 10 m/s, así que se utiliza este valor como punto inicial en las velocidades u y v . La figura 6 muestra la respuesta del sistema para las condiciones iniciales $[10 \ 10 \ 0 \ 0]$. Se observa en la respuesta de posición que el vehículo se aleja de la consigna más de 25 metros, no obstante a mano izquierda se puede verificar que la condición de tiempo de asentamiento se cumple aparentemente al mismo tiempo que en el caso donde se partió del reposo. Aunque puede parecer alarmante, una diferencia con la referencia tan grande, al recordar que este vehículo se ha diseñado para aplicaciones agrícolas, donde los campos pueden extenderse por hectáreas, 25 metros no parece una cantidad muy grande.

8. Conclusiones y trabajo futuro

Se ha probado con una simulación que, para una trayectoria circular y mediante la aplicación de un difeomorfismo, es posible controlar el sistema del aerodeslizador para que navegue una trayectoria circular por medio de un controlador basado en LQR.

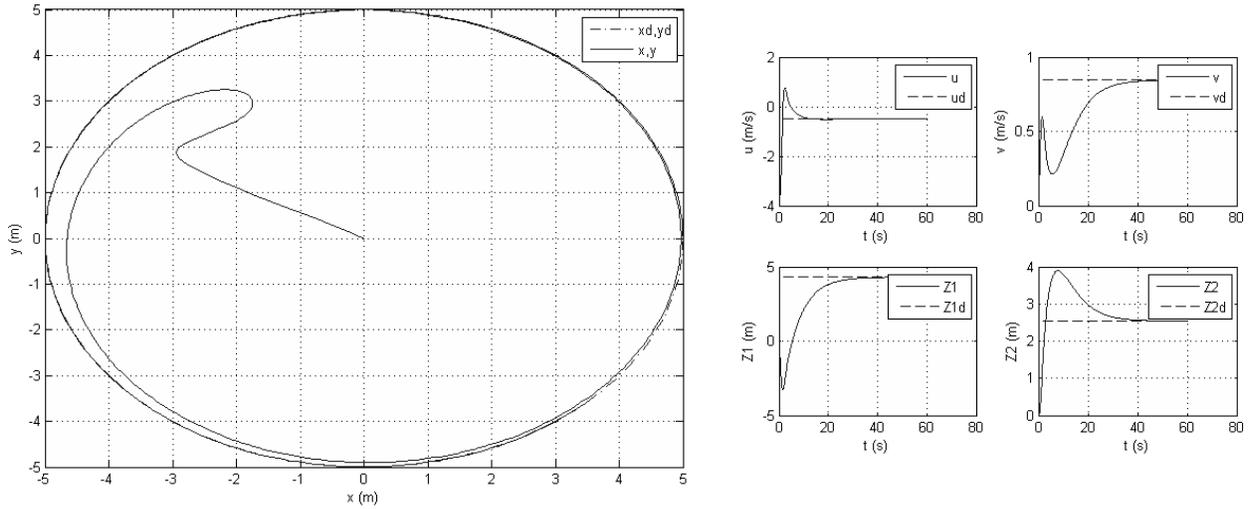


Figura 5. Respuesta del controlador LQR para una condición inicial $[0 \ 0 \ 0 \ 0]$.

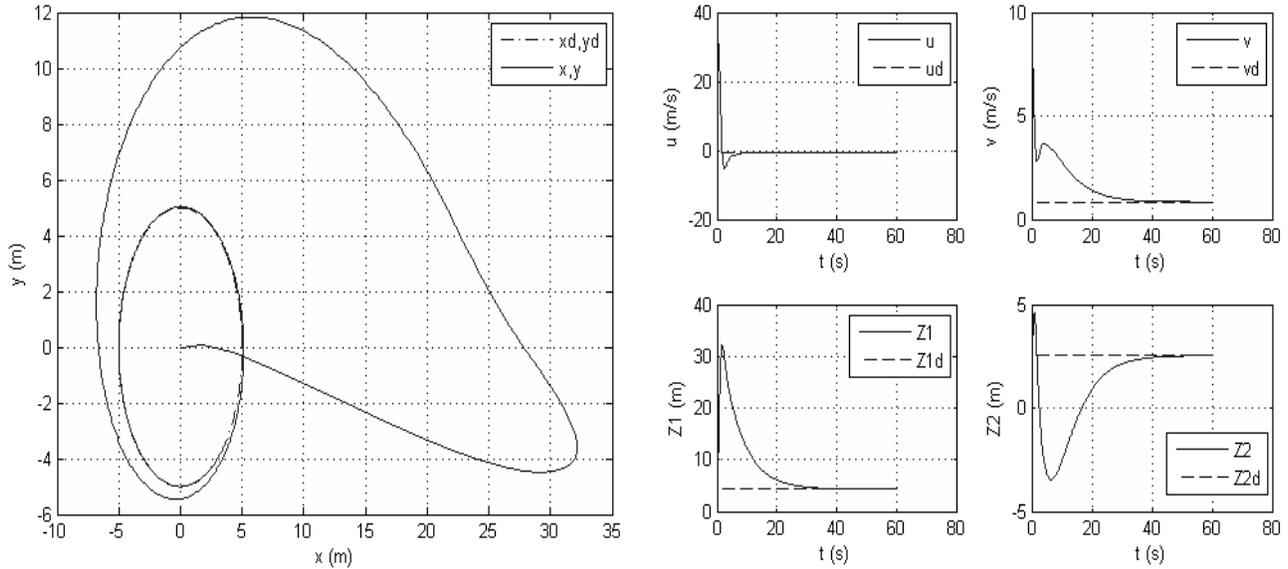


Figura 6. Respuesta del controlador LQR para una condición inicial $[10 \ 0 \ 0 \ 0]$.

Por ende se ha presentado como novedad en el arte un controlador que logra que un aerodeslizador no tripulado y autónomo siga una trayectoria circular usando un único actuador en la dirección de avance.

El controlador tiene espacio para mejorar, los siguientes pasos de este estudio involucran la

implementación del controlador en sistemas físicos y su subsecuente caracterización para su funcionamiento eficaz. Otro punto interesante para el estudio concierne a la señal de actuación, un estudio profundo de cómo evoluciona con diferentes parámetros podría ayudar a mejorar el rendimiento del controlador.

9. Referencias

- [1] NRCS (NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE), «Precision Agriculture: NRCS Support for Emerging Technologies,» United States Department of Agriculture, 2007. [En línea]. Available: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1043474.pdf. [Último acceso: 27 Diciembre 2018].
- [2] A. Lavers, «Guidelines on Good Practice for Aerial Application of Pesticides,» Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/docrep/006/y2766e/y2766e00.htm>. [Último acceso: 7 Julio 2018].
- [3] A. Barton, «Vickers Armstrong hovercraft of the early 1960s,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.bartiesworld.co.uk/hovercraft/vickers.htm>. [Último acceso: 2018 Diciembre 27].
- [4] V. V. Romyantsev, «Non-holonomic systems,» Encyclopedia of Mathematics, 7 Febrero 2011. [En línea]. Available: http://www.encyclopediaofmath.org/index.php?title=Non-holonomic_systems&oldid=12986. [Último acceso: 28 Diciembre 2018].
- [5] R. Teldrake, «6.832 Underactuated Robotics. Chapter 1.,» Primavera 2009. [En línea]. Available: https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-832-underactuated-robotics-spring-2009/readings/MIT6_832s09_read_ch01.pdf. [Último acceso: 28 Diciembre 2018].
- [6] D. García, «Dynamic, Simulation and Control Design of an Unmanned Hovercraft,» *I+D Tecnológico*, vol. 10, n° 2, pp. 40-47, 2016.
- [7] H. Sira-Ramirez y C. A. Ibanez, «The control of the hovercraft system: a flatness based approach,» de *Proceedings of the 2000. IEEE International Conference on Control Applications. Conference Proceedings (Cat. No.00CH37162)*, Anchorage, AK, USA, 2000.
- [8] D. García y W. N. White, «Nonlinear Control of an Unmanned Hovercraft for Agricultural Applications,» de *ASABE CSBE/SGCAB Annual Meeting*, Montreal, Canada, 2014.
- [9] I. Fantoni y R. Lozano, «The Hovercraft Model,» de *Non-Linear Control for Underactuated Mechanical Systems*, London, Springer, 2002, pp. 155-171.
- [10] A. Tewari, «Linear Optimal Control,» de *Modern Control Design with Matlab and Simulink*, Chichester, John Wiley & Sons, 2002, pp. 283-321.
- [11] R. M. Murray, «CDS 110b. Clase, Tema: Lecture 2 - LQR Controller,» California Institute Of Technology, California, enero 11, 2006.



Modelo de gestión de la junta administradora de acueducto rural, para desinfección de agua con tecnología sostenible en Ipetí Emberá, Panamá

Management model of the administrative board of rural aqueduct for water disinfection with sustainable technology in Ipetí Emberá, Panamá

Marta Anayansi Alvarez Zaldívar^{1*}, Nelson Barranco Pilides²

¹ Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

² Laboratorio de Análisis Industriales y Ciencias Ambientales del Centro Experimental de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

*Autor de correspondencia: marta.alvarez@utp.ac.pa

RESUMEN- El modelo de gestión operativa de la Junta Administradora de Acueducto Rural (JAAR) de la comunidad de Ipetí Emberá, en Panamá, con la introducción de la electrólisis de salmuera como tecnología innovadora, fácil y sencilla para desinfectar el agua de consumo humano, requiere de la adición de funciones, cargos operativos y administrativos para un funcionamiento sostenible. El modelo fomenta la difusión de conocimientos locales entre pares de otras comunidades que posean acueductos rurales sin procesos de desinfección del agua de consumo humano y para sistemas nuevos por establecer en áreas rurales.

Palabras clave- Gestión, Junta administradora de acueducto rural, desinfección, proceso electrólisis de salmuera, sostenible, tecnología.

ABSTRACT- The operational management model of the Rural Water Supply Administration Board (JAAR) of the Ipetí Emberá community in Panama, with the introduction of brine electrolysis as an innovative, easy and simple technology for disinfection of water for human consumption, requires of the addition of functions, operative and administrative positions for a sustainable operation. The model encourages the dissemination of local knowledge among peers from other communities that have rural aqueducts without processes for disinfecting water for human consumption and for new systems to be established in rural areas.

Keywords- Management, Administrative board of rural aqueduct, disinfection, brine electrolysis process, sustainable, technology.

1. Introducción

Mediante resoluciones del Ministerio de Salud (MINSA) se regula el **consumo de agua de los acueductos rurales** de comunidades en Panamá, limitando su uso para beber, aseo personal, preparación de alimentos, lavado de ropa y utensilios domésticos [1], [2].

El ente responsable de garantizar el acceso al agua y saneamiento a usuarios de áreas rurales es la Junta administradora de acueducto rural (JAAR). Debe tener personería jurídica, ser sin fines de lucro y de interés público y, son los responsables de administrar el usufructo de los bienes e inversiones del sistema de abastecimiento de agua potable construido por el Estado en una comunidad. Por definición, también deben gestionar aquellos sistemas que involucren el saneamiento de aguas residuales en los ambientes

rurales [1]. Para el año 2014 se aprobó el Decreto Ejecutivo No. 1839 del 5 de diciembre del 2014, el cual unifica el Decreto Ejecutivo 40 y la Resolución Ministerial No.28, en el cual se dicta un nuevo marco regulatorio para las JAAR [3].

En el informe del Ministerio de Economía y Finanzas al 2010, los 45,9% de población indígena ubicadas en comarcas estaban sin acceso al agua potable en óptimas condiciones para el consumo humano. El Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) no administra ni da servicio a los acueductos rurales en las comarcas indígenas de Guna, Ngöbe, Buglé y Emberá, según informe de referencia [4].

El estado panameño no invierte en grandes infraestructuras de acueductos rurales y de plantas potabilizadoras para comunidades pobres o en áreas de

Citación: M. Alvarez y N. Barranco, "Modelo de gestión de la junta administradora de acueducto rural, para desinfección de agua con tecnología sostenible en Ipetí Emberá, Panamá", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 1, pp. (49-58), 2019.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 24 de agosto de 2018. **Recibido con correcciones:** 4 de septiembre de 2018. **Aceptado:** 19 de noviembre de 2018.

DOI <https://doi.org/10.33412/iddt.v15.1.2097>

Copyright: 2019 M. Alvarez y N. Barranco. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

difícil acceso, por razones de lejanía y localización de las viviendas en forma dispersa.

En Panamá, los sistemas comunitarios de acueductos rurales abastecen el agua para beber y otros usos domésticos, para áreas rurales y peri urbana de diversas etnias. Las JAAR sirven al 20% del total de la población [5].

El uso de las pastillas para clorar el agua de acueductos rurales suministradas por el Ministerio de Salud (MINSa) son rechazadas por la población, ya que indicaron dan mal sabor al agua y la población no tiene control en su uso [6]. Estas pastillas de hipoclorito de calcio sirven para clorar el agua de piscinas, son inadecuadas para sanear el agua de consumo humano, ya que su dosificación o forma de presentación no se puede ajustar a los requerimientos. Otro problema es la falta de comercios accesibles que ofrezcan en áreas rurales y de difícil acceso este insumo para los usuarios [7].

El objetivo principal de este trabajo es difundir la aplicación de la tecnología de la electrólisis de salmuera para la producción del hipoclorito de sodio en la desinfección del agua de consumo humano y el mejoramiento del sistema de acueducto rural en Ipetí Emberá, como una tecnología fácil y sencilla para el uso de comunidades rurales. Este modelo genera un proceso nuevo y cambio integral en la gestión de la Junta administradora del acueducto rural (JAAR). Por lo que es oportuno promover para comunidades con sistemas de acueductos rurales existentes que no desinfectan el agua y para nuevos a implementar.

2. Materiales y métodos

Este modelo de gestión para la Junta Administradora de Acueducto Rural (JAAR) en Ipetí Emberá se desarrolló con el fin de dar solución al problema de la desinfección del agua, por lo que se vio la oportunidad de validar el método de la electrólisis de salmuera como una tecnología sencilla y sostenible para operar el sistema de acueducto a bajo costo.

Entre otras actividades realizadas para el proyecto que desarrolló la tecnología de la electrólisis de salmuera, se estableció la línea base del consumo de agua realizando un monitoreo al 30% de 73 hogares de la comunidad, según la cantidad registrada en el censo

de población del año 2010 de la Contraloría General de la República de Panamá. Además, un taller sensorial sobre el sabor, color y olor del agua potabilizada, a estudiantes de la escuela primaria. Adicionalmente, se hicieron entrevistas a líderes locales y a funcionarios de oficinas públicas del Ministerio de Salud a nivel local y regional para complementar la caracterización de la situación socioeconómica de la comunidad. Se desarrollaron charlas de administración y planificación estratégica a miembros de la JAAR con el objetivo de orientarlos hacia una mejor gestión de la administración y de controles a nivel de gerencia, según las nuevas operaciones que serían responsables. También visitas periódicas a líderes de la JAAR durante la ejecución del proyecto con el fin de dar acompañamiento para realizar una evaluación expost de la implementación del método y del modelo de forma integral.

3. Consumo de Agua en Ipetí Emberá y proyección para años 2020-2027

Un estudio relacionado con la cantidad de agua domiciliaria, el nivel de servicio y la salud, indica que si bien la necesidad básica de agua incluye el agua que se usa en la higiene personal, no resulta significativo establecer una cantidad mínima, ya que el volumen de agua que usen las viviendas dependerá de la accesibilidad, la que se determina principalmente por la distancia, el tiempo, la confiabilidad y los costos potenciales. La accesibilidad se puede categorizar en términos del nivel de servicio. La cantidad de agua que se provee y que se usa en las viviendas es un aspecto importante de los servicios de abastecimiento de agua domiciliaria que influye en la higiene y, por lo tanto, en la salud pública [8].

Los beneficios que se derivan para el consumidor cuando se da un buen nivel de servicio son el brindar una mejora significativa para la salud si se dispone el agua en la vivienda, el mejorar el acceso o disponibilidad da más tiempo al consumidor para el cuidado de los hijos, la preparación de alimentos, para actividades productivas y para la educación, lo que es importante para su desarrollo y por ende un mejor nivel socioeconómico [8].

Tabla 1. Estimaciones de viviendas, población y consumo de litros/día/hogar del consumo de agua en Ipetí Emberá. Años 2019-2027.

Detalle de estimaciones		Años									
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	
Viviendas estimadas al año		162	169	175	182	190	197	205	213	222	
Población estimada al año		608	621	633	646	659	672	685	699	713	
% de viviendas según consumo de agua día/vivienda/segmentos	Promedio del consumo de agua	Promedios litros/viviendas/año/comunidad/segmentos									
S1	14,0	19,3	436,6	455,5	471,6	489,6	512,1	530,9	552,5	574,0	598,3
S2	36,0	38,5	2.245,3	2.342,3	2.425,5	2.517,9	2.633,4	2.730,4	2.841,3	2.952,2	3.076,9
S3	27,0	57,8	2.526,0	2.635,1	2.728,7	2.832,6	2.962,6	3.071,7	3.196,5	3.321,2	3.461,5
S4	9,0	77,0	1.122,7	1.171,2	1.212,8	1.259,0	1.316,7	1.365,2	1.420,7	1.476,1	1.538,5
S5	14,0	96,3	2.183,0	2.277,3	2.358,1	2.448,0	2.560,3	2.654,6	2.762,4	2.870,2	2.991,5
Total de litros/vivienda/año/comunidad		8.513,5	8.8881,4	9.196,7	9.547,0	9.985,0	10.352,8	10.773,3	11.193,7	11.666,7	
		Promedios litros/viviendas/día/segmentos									
S1		5,1	5,2	5,3	5,4	5,6	5,6	5,8	5,9	6,0	
S2		10,3	10,5	10,6	10,8	11,1	11,3	11,5	11,7	12,0	
S3		15,4	15,7	16,0	16,2	16,7	16,9	17,3	17,6	18,0	
S4		20,5	21,0	21,3	21,7	22,2	22,6	23,0	23,5	24,0	
S5		25,6	26,2	26,6	27,1	27,8	28,2	28,8	29,3	30,0	
Promedio litros/vivienda-día		15,4	15,7	16,0	16,2	16,7	16,9	17,3	17,6	18,0	

S1-S5 Segmentos de viviendas según los promedios litros/vivienda-día, definidos en consulta para diagnósticos socioeconómicos.

Además, determinaron que el saneamiento o desinfección del agua tiene un nivel del 60% de importancia comparado con el acceso razonable a la disponibilidad del servicio de agua, no obstante, es importante dar atención a los dos aspectos [8].

La población de Ipetí Emberá que consume el agua es el 100% de etnia con raíces indígenas de los Emberá chocó. Están reconocidos en el marco de **territorios bajo la jurisdicción de Tierras Colectivas de Alto Bayano**, según Ley 72 del 23 de diciembre de 2008, de la República de Panamá, por lo que se les considera una población indígena fuera de área comarcal. Como tal están incluidos en la división política territorial del corregimiento de Tortí, distrito de Chepo, de la República de Panamá [9].

Para el estimado de viviendas y población se tomaron de referencia las cifras del Censo de Población y Vivienda del 2010, y otras cantidades utilizadas obtenidas durante la aplicación de encuestas a hogares de la comunidad, según los diagnósticos socioeconómicos elaborados para el año 2011 y 2016 [10]. Para viviendas se obtuvo el estimado del 3 al 4% de incremento en el período, por lo que se tomó el 4% más alto para los cálculos mostrados (tabla 1).

Para el estimado de la población 2019-2027 se calculó el 2% de incrementos y el promedio de 5 personas por vivienda, según diagnósticos

socioeconómicos de la comunidad del 2011 y 2016 [10]. (tabla 1).

El porcentaje de hogares se determinó en varios niveles o segmentos según el promedio de consumo de agua de litros/vivienda-día surgidos en la aplicación de encuestas a hogares, datos que sirvieron para establecer una línea base del consumo de agua para el pronóstico futuro de la comunidad [10].

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el per cápita adecuado de agua para consumo humano (beber, cocinar, higiene personal, limpieza del hogar) era de 50 l/hab-día, al año 2003. A este se le debe adicionar el aporte para la agricultura, la industria y, la conservación de los ecosistemas acuáticos, fluviales y otros que dependen del agua dulce. Por lo cual, si se adicionan estos parámetros el per cápita mínimo podría ser de 100 l/hab-día nivel mundial. También agregan que, desde el comienzo del siglo XX, la población mundial se ha duplicado, mientras que la cantidad empleada del agua se ha sextuplicado por el desarrollo industrial y del mayor uso agrícola [11].

El promedio de per cápita l/hab-día calculado para Ipetí Emberá fue de 15.4 l/vivienda-día (3.08 l/hab-día) a un máximo de 18.0 l/vivienda-día (3.6 l/hab-día) en el período de 10 años (tabla 1).

Comparando esos consumos estimados con el análisis de la OMS [11] podríamos decir que la

comunidad de Ipetí Emberá en el consumo promedio por l/hab-día de agua del acueducto rural está muy por debajo de la cantidad que calcula la OMS para el per cápita doméstico diario adecuado por habitante. La OMS considera que ni con cinco litros por día se garantiza la higiene, a menos que se haga en la fuente de agua [8].

Es posible que el consumo no aumente por desarrollo industrial y agrícola en esta comunidad, ya que no se realizan actividad industrial o agroindustrial y la agricultura que se desarrolla es la tradicional [10].

Los promedios de l/vivienda-día de consumo de agua en Ipetí Emberá, son afectados por el factor de la cultura de consumo de esta etnia, ya que utilizan mucho el agua del río Ipetí para actividades domésticas, más cuando surgen daños en el acueducto y para la época de sequía, según la caracterización realizada mediante los diagnósticos [10].

Según el censo de población del 2010 existían 73 viviendas y para el año 2016 existían 93 unidades.

Las autoridades locales lograron dotar de 150 casas nuevas a la población en esta comunidad, mediante el plan de desarrollo habitacional en el año 2017, bajo el Programa de Techo de Esperanza del Ministerio de Viviendas y Organización Territorial (MIVIOT) [12]. Por lo cual, se registró en ese año un incremento del 38% de viviendas.

Con el nuevo plan habitacional del MIVIOT mayor será las necesidades de consumo de agua potable y de abastecimiento de agua segura para el consumo y la salud de la población.

La cantidad de viviendas se ha duplicado considerando las cifras del censo del año 2010 al estimado que presentamos al 2019. El nivel de la población ha incrementado en el doble en Ipetí Emberá, cumpliéndose la tendencia que estimó la OMS para inicio del Siglo XX.

Tomando en cuenta un monitoreo realizado a hogares sobre el consumo de agua, la población de Ipetí Emberá usa el agua saneada para cocinar alimentos (95%), limpieza general del hogar (91%), beber (86%), para bañarse y fregar, inclusive el 82% [13].

La preferencia y consumo de agua embotellada, no afecta la demanda o el uso normal del sistema de acueducto rural. El agua embotellada se usa más por los visitantes, y en condiciones de urgencia por la población local, debido a la demora en el arreglo de daños imprevistos o por inundaciones que afecten el acueducto; se usa más para beber, en hogares con niños

lactantes y adultos mayores, si cuentan con dinero para la compra [13].

El costo de adquisición de agua embotellada para todos los miembros del hogar es alto, aún si la compran en kioscos de la localidad, y estas familias indígenas son de ingresos bajos. El acceso a la compra de agua embotellada en comercios de la comunidad, dependerá que estos locales las vendan; de lo contrario, comprarían en centros comerciales o supermercados de otras comunidades vecinas.

4. Modelo de gestión de Junta administradora de acueducto rural (JAAR) para la desinfección de agua de consumo humano con tecnología sostenible en Ipetí Emberá

La Electrólisis de salmuera es un proceso electroquímico en el cual se somete una solución de cloruro de sodio a una corriente directa disociando en cloro, hidrógeno y sodio, formándose la solución de hipoclorito de sodio [14].

En el año 2011 en Ipetí Emberá, se utilizó el método de la electrólisis de salmuera por líderes de la comunidad de la JAAR para producir hipoclorito de sodio. Este método permite que cualquier persona con capacidades mínimas y conocimientos adquiridos a través del acompañamiento técnico maneje la tecnología, ya que es sencilla y sostenible para su aplicación. La introducción del mismo da solución a la problemática para la desinfección del agua. Además, independencia en el proceso de la producción del producto final. [15].

El método involucra a la JAAR ya que es el ente administrador local del acueducto rural en la comunidad. Se introduce una tecnología que genera operaciones de proceso y administrativas nuevas que esta organización anteriormente no desarrollaba con miembros de esta junta [16].

En el desarrollo y validación de esta tecnología para la desinfectar el agua del acueducto rural, se confirmó el potencial de la misma para replicar en otras comunidades con caracterización igual, o bien, ajustando a las propias de aquellas comunidades que tengan la misma necesidad o problemática a solucionar [16].

4.1 Factores considerados para introducir la tecnología

El funcionamiento y tecnología para la producción de agua saneada en los acueductos rurales dependerá de

las condiciones o factores que confronten, y que a la JAAR se le brinde las facilidades para atenderlos.

La JAAR recibe subsidio del MINSA mediante pastillas de hipoclorito de calcio para desinfectar el agua, cuando se lo suspenden, dejan de utilizarlas por falta de fondos propios y poca accesibilidad a los comercios ubicados en áreas lejanas a su comunidad [16].

En la construcción de acueductos rurales del país, las características o variables tomadas de base son el tamaño de la población, la cantidad de viviendas, densidad de la población, presencia institucional, entre otras, para elaborar el diseño por parte de la organización que los elabora [5].

Los factores que determinan la capacidad y el manejo del acueducto rural para una comunidad son: el nivel de calidad de la fuente de agua natural, los parámetros para el tratamiento de saneamiento que sean necesarios. La demanda o cantidad de población determinará el tamaño y tipo de proceso para la potabilización, como la capacidad de las infraestructuras a utilizar [5].

En Ipetí Emberá son mínimas las actividades institucionales o privadas con infraestructuras que requieran del uso de sistemas de acueductos con tratamientos más complejos para el saneamiento del agua, ya que la población no desarrolla procesos agroindustriales ni industrializados. El consumo se da a nivel de hogares (Tabla 1), en escuela de nivel primario con menos de 200 estudiantes en una jornada/día, dos iglesias y tres kioscos de venta de productos básicos, por lo cual, recomendamos esta tecnología para su uso en esta comunidad.

Los incrementos de la demanda o condiciones de riesgos para la salud, hace necesario implementar nuevos procesos para desinfectar el agua.

4.2 Proceso de electrólisis de salmuera para producir hipoclorito de sodio y su uso en la desinfección del agua para el acueducto rural

La producción de hipoclorito de sodio mediante la electrólisis de salmuera incluye, la preparación de la solución de salmuera, calibración de equipos e instrumentos, proceso de la electrólisis y producción de energía eléctrica con paneles solares para el proceso; además, el mantenimiento preventivo de los paneles solares y el control de calidad de agua, según las características definidas para esta comunidad (figura 1).



Figura 1. Preparación de la solución de salmuera en Ipetí Emberá.

Para la electrólisis en salmuera se utilizarán dos libras de sal de cocina en 20 litros de agua que producirán el hipoclorito de sodio en un ciclo de cuatro horas (figura 1). La desinfección para este acueducto requerirá de 40 litros diarios para el tratamiento requerido. Este volumen fue sometido a varias pruebas del proceso usando diferentes concentraciones para obtener la que se recomienda utilizar.

Es posible que en la caracterización de otras fuentes de agua se determine diferente dosificación para el acueducto en otra comunidad que pueda utilizar este proceso.

En este modelo, la electrólisis se produce cuando la energía eléctrica generada por paneles solares es transferida mediante el electrodo a la salmuera para obtener el hipoclorito de sodio (figura 2).

Este tipo de electrodo (figura 2) fue seleccionado tomando en cuenta la seguridad para su manejo y resistencia a la alta corrosión y humedad, por lo cual se decidió utilizar la marca Aquacholor. Este tipo de electrodo permite realizar el proceso “in situ” y tiene los electrodos protegidos con PVC [17].



Figura 2. Electrodo para el proceso de electrólisis de salmuera que produce el hipoclorito de sodio en Ipetí Emberá.

La instrumentación adherida a los equipos permite que este sea automático y que el operador tenga independencia para dedicarse a otras actividades, durante el desarrollo del mismo (figura 3).



Figura 3. Preparación de equipos e instrumentos para el proceso de la electrólisis de salmuera.

Uso de paneles solares para el proceso del hipoclorito de sodio mediante electrólisis de salmuera. En la planta se acondicionaron los paneles solares, el panel de control, el reloj interruptor, los cables eléctricos y el electrodo. El tiempo efectivo del ciclo de cada proceso, puede variar dependiendo de las radiaciones diarias que reciban los paneles solares y de la reserva de energía en la batería recargada como dispositivo de almacenamiento, que surte en conexión directa al panel alimentador de energía durante el proceso.

En la instalación de este proceso en la comunidad hacía falta energía eléctrica, lo cual generó que el aprovisionamiento fuera mediante paneles solares en el momento de instalación de la planta.

Para el funcionamiento de la planta el costo de energía generada por los paneles solares está eximido de pago a la JAAR. El gasto del mantenimiento preventivo de los paneles solares que se utilizarán para la operación del proceso fue valorado en \$380 por año, dos veces por año durante 25 años. Se tomó de base el tiempo de garantía del ciclo de vida de este equipo según el proveedor. El electrodo tiene 20 años, batería 5 a 10 años e inversor de corriente de 5 a 10 años de vida, como garantía de estos componentes. Dado algún daño inesperado de los elementos que complementan al panel para la conversión y transferencia de la energía eléctrica, sería necesario invertir en ellos (figura 3).

Asumir costo de energía eléctrica de distribuidoras por la JAAR en comunidades vecinas, ha sido una problemática que ha provocado la suspensión de sistemas de acueductos rurales que utilizan plantas eléctricas para el bombeo del agua. Por lo que se

recomienda que el proceso introducido no deje de usar paneles solares, a fin de ahorrar en costos de energía eléctrica y sobre todo es apropiado su uso para áreas de difícil acceso donde las distribuidoras de electricidad no dan ese servicio.

Proceso de desinfección del agua. Se transportan 40 litros de hipoclorito de sodio diariamente y se vacían al tanque dosificador. El dosificador debe contener solución suficiente según los parámetros establecidos para la desinfección del agua en el tanque de reserva o de almacenamiento; la transferencia o difusión a través del dosificador es por goteo controlado hacia el tanque de reserva (8.000 galones de capacidad). El saneado se efectúa durante esta fase y el agua desinfectada se transfiere a otro tanque de reserva (capacidad de 6.000 galones) conectado a la red del sistema del acueducto rural que la distribuye a las viviendas (figura 4).



Figura 4. Vaciado de solución de hipoclorito de sodio al tanque dosificador para la desinfección del agua abastecida de la fuente natural en tanque de reserva o de almacenamiento.

Control de calidad para la desinfección del agua distribuida por el acueducto. El acueducto rural debe brindar agua segura para el consumo humano a toda la comunidad, lo que conlleva la aplicación de un buen control de calidad. Se capacitaron varios líderes de la comunidad para esas actividades durante la implementación del sistema. En caso de nuevos procesos, la JAAR tendrá que gestionar con el ente fiscalizador (Ministerio de Salud de Panamá, MINSA), la capacitación a personas de la comunidad para no omitir el control de calidad del agua en este modelo.

Existe actualmente en Panamá reglamentos técnicos aplicados a los sistemas de tratamiento de agua, cuya producción sea destinada para el consumo humano, por instalaciones públicas o privadas [18]. Esta reglamentación sirvió de base para establecer los parámetros a utilizar para este acueducto.

El Laboratorio de Análisis Industriales y Ciencias Ambientales (LABAICA-UTP) certificó que se cumplía con los parámetros establecidos por las normas panameñas para el consumo de agua, realizando muestreos de tomas de agua de la fuente, antes, durante y después de tratamientos en la implementación del método.

Se determinó mediante análisis de laboratorio que el agua de la fuente o manantial cumplía con los contenidos minerales, sin embargo, tenía una cantidad mínima de coliformes totales, a pesar de ser de fuente natural, por lo cual requería ser desinfectada, para eliminarle los patógenos.

Por los resultados obtenidos se considera que el agua de la fuente de abastecimiento utilizada es de buena calidad y que solo requiere de la dosificación de la solución que fue definida para el proceso establecido.

Por lo tanto, para cumplir con los reglamentos del control de la calidad, se requiere: 1) Control de calidad del agua para la red del sistema del acueducto. Debe llevarse mediante dos muestreos semanales con el kit de prueba – portátil (figura 5). En la prueba, el color amarillo es indicativo que el agua tiene un residual de cloro que servirá de protección para cualquier crecimiento bacteriano, y por ende, si cumple con las normas de calidad para el consumo humano 2) El sistema usará el parámetro con las concentraciones entre 0,3 (mínimo) – 0,8 mg/L (máximo) para el residual [17].

Se definió como control preventivo realizar pruebas bacteriológicas del agua desinfectada cada dos meses por laboratorios especializados del país. El gasto por prueba de \$220.00 en el LABAICA, fue asumido por el proyecto durante la implementación del modelo. No obstante, para cumplir con este control de calidad hay que incluir en el presupuesto de la JAAR a fin de asegurar la calidad del agua para el consumo de la población [16].



Figura 5. Control de calidad para el agua del acueducto rural.

Con el nivel de concentración del hipoclorito de sodio que se determinó para la desinfección del agua

mediante un monitoreo del consumo se evaluó el sabor del agua tratada y fue aceptada en el 77% de la población [13].

Planta de producción de hipoclorito de sodio para desinfectar el agua en Ipetí Emberá. El Consejo local destinó un área de diez metros cuadrados de infraestructura que se tenía para uso de otras organizaciones, la cual fue habilitada para la planta de producción del hipoclorito de sodio, y se acondicionó para el proceso establecido. Es accesible y sin riesgo de seguridad para los equipos y otros insumos (figura 6).

No obstante, por ser un área compartida con otros grupos comunitarios, se recomienda gestionar la construcción de una infraestructura específicamente para la planta con independencia de otras actividades de carácter público-sociopolítico. La inversión debe ser propiedad de la JAAR como meta a corto o mediano plazo.

Esta planta puede ser instalada arriba del tanque de reserva de agua, sólo que se debe garantizar los riesgos de vandalismo, según el área donde estén ubicados los tanques de reserva. En Ipetí Emberá están localizados en un área alta con poca seguridad, aunque se cercó. Las autoridades locales prefirieron dejar la planta en el poblado, precisamente para asegurar sobre todo los paneles solares y el equipamiento.

Además de los equipos o instrumentación acondicionados para el uso de paneles solares, se instaló en esta planta: tanque para preparación de la solución de salmuera, mostrador para el proceso y envasado, tablillas para almacenar materia prima (sal), implementos de envasado para el transporte hacia el tanque de reserva y kit portátil para muestreos de calidad [16].

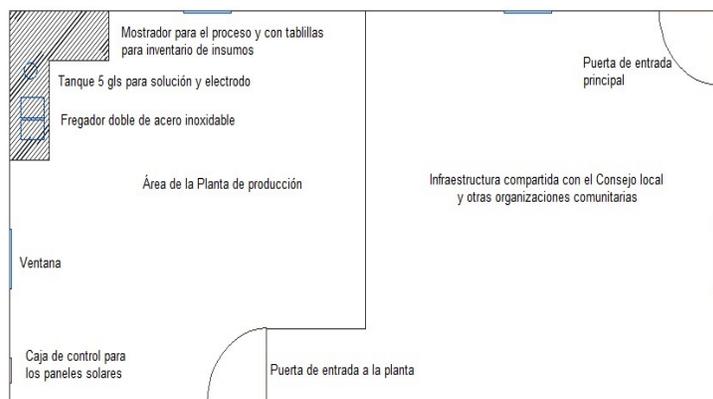


Figura 6. Distribución de la planta de producción del hipoclorito de sodio mediante la electrólisis de salmuera en Ipetí Emberá.

Los costos directos relacionados con el proceso que genera el hipoclorito de sodio son: costo para sal de cocina (2 libras/ciclo 0,30\$), costo de kwh de los paneles solares usados por ciclo de producción (0,612 kwh x 2,50\$) y 20 litros de agua por ciclo (1 litro x 0,0012\$). De estos costos solo se asume efectivamente el de la sal, los otros dos costos son ahorros económicos para el sistema debido a que los kwh no se pagan ni los litros de agua [16].

Se valoraron otros costos directos para mano de obra operativa: asistente de planta, coordinador de la red de acueducto, ayudante dosificador y para el control de calidad. También algunos gastos administrativos para administrador y para los miembros de la JAAR con montos simbólicos [16].

Entre los gastos para el proceso y mantenimiento: un kit portátil para muestreos de calidad por año, mano de obra para mantenimiento preventivo de paneles, mantenimiento general (materiales reparación de daños), mantenimiento de la red de acueducto, mantenimiento para los tanques de reserva (jornales para limpieza interna y externa, como de áreas verdes) [16].

Se valoró por año los costos operativos e indirectos en \$5.365, más gastos operativos y administrativos de 6.100\$, totalizando \$11.465 anual [16].

Los aportes de la tasa de consumo de agua mensual por vivienda son de \$2 más \$300 de instalación por cada vivienda nueva para el año 2018, por lo que se recibiría \$2.712 de ingresos al año 1. Con este ingreso el balance en ganancias sería negativo, ya que se definieron costos y gastos nuevos que sin este proceso no son asumidos por la JAAR. La mano de obra brindada por miembros de JAAR según reglamentación actual debe ser un servicio adhonorem, solo se paga la que se gasta por daños y reparaciones de la red de distribución. Sin embargo, se ha considerado por las definiciones de costos y gastos, que la JAAR debe de asumir en montos simbólicos para asegurar un excelente funcionamiento y servicio a los usuarios, además, como un incentivo para los que ofrezcan los servicios [16].

Para establecer el modelo actual con equipamiento, acondicionamiento de área de la planta y de los tanques de reserva de agua, se hizo una inversión que totalizó \$13.045,31. Esta cifra se afectaría según los costos de los paneles solares, pues han disminuidos en comparación del año que se estableció el modelo en la comunidad. El proyecto tuvo otros costos que aportaron Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación (SENACYT) y la Universidad Tecnológica

de Panamá para los estudios, análisis de laboratorio y otros necesarios para la validación del modelo; algunos dependerán de la caracterización de la fuente de agua o si hay que invertir en infraestructuras nuevas o sólo acondicionar de existentes [16].

Las inversiones de construcción en infraestructura de la planta, tanques de reserva y de la red de distribución no se dieron para este proyecto, solo acondicionamientos, debido a que el sistema de acueducto rural ya existía. Siendo un sistema nuevo a establecer con inversión de obras de infraestructura, los costos deberán ser valorados para un proyecto a desarrollar según la factibilidad o características que se determinen para una comunidad determinada.

Las evaluaciones de sensibilización del punto de equilibrio asumiendo los costos y gastos definidos para el modelo, dio que la tasa de consumo de agua debería aumentar a \$9,54 por vivienda, sin embargo, la tasa mínima que cobra el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) para áreas rurales es de \$5,68, la cual está por debajo de la tasa equilibrio que es factible para el modelo propuesto. Se recomendaría los costos de mano de obra sean asumidos por subsidios gubernamentales, ya que la tasa de consumo \$2 actual no daría para sufragarlos [16].

De lo contrario, la JAAR tendrá que tomar decisión en incrementar la tasa de consumo al menos por el valor de la tasa mínima del IDAAN y varios gastos de mantenimiento tendrán que ser adquiridos por medio de donaciones o de servicios técnicos ofrecidos por alguien de la comunidad. El acueducto rural brinda un servicio básico y social a los beneficiarios que redundan en la salud física y de calidad de vida a la población en general y las condiciones actuales para la desinfección del agua de acueductos rurales en las comunidades aún sigue siendo una problemática social y gubernamental no solucionada.

4.3 Gestión de junta administradora del acueducto rural en Ipetí Emberá

La organización del acueducto rural de Ipetí Emberá funciona como un comité de agua, utiliza la misma estructura de organización que rige para las JAAR en Panamá. Sin embargo, debe cumplir con la reglamentación vigente y obtener personería jurídica que otorga el MINSA.

Las funciones de la JAAR son: administrar, operar y mantener el sistema de acueducto rural, según las reglamentaciones vigentes. Tomando en cuenta las actividades para el modelo nuevo, estas son las

necesidades de personal: administrador, asistente de planta de producción, ayudante dosificador para potabilización, ayudantes del control de calidad, coordinador de la red de acueducto, plomero y técnico de paneles solares (figura 7).

Las funciones técnico-operativas que se adicionan para la potabilización según este modelo, implican un cambio integral organizativo para el funcionamiento de la JAAR.

Para que el modelo nuevo se formalice y adopte en aquellos acueductos rurales donde sea oportuno implementar, debe someterse al MINSA una propuesta para su aprobación dado que es el ente fiscalizador de los acueductos rurales del país.

El nuevo modelo de gestión operativa de la JAAR requiere, además, formalizar acuerdos entre dirigencia o autoridades de la comunidad y la población capacitada en el proceso establecido, a fin de mantener el compromiso de difundir y adiestrar a otros en la comunidad con los conocimientos técnicos recibidos para el proceso, sobre el mantenimiento de la planta de producción de la electrólisis y el control de la gestión de la JAAR. Además, difundir entre pares comunitarios el conocimiento, mediante el aprender-haciendo, en comunidades que posean acueductos rurales sin potabilización del agua o de nuevos proyectos a establecer.

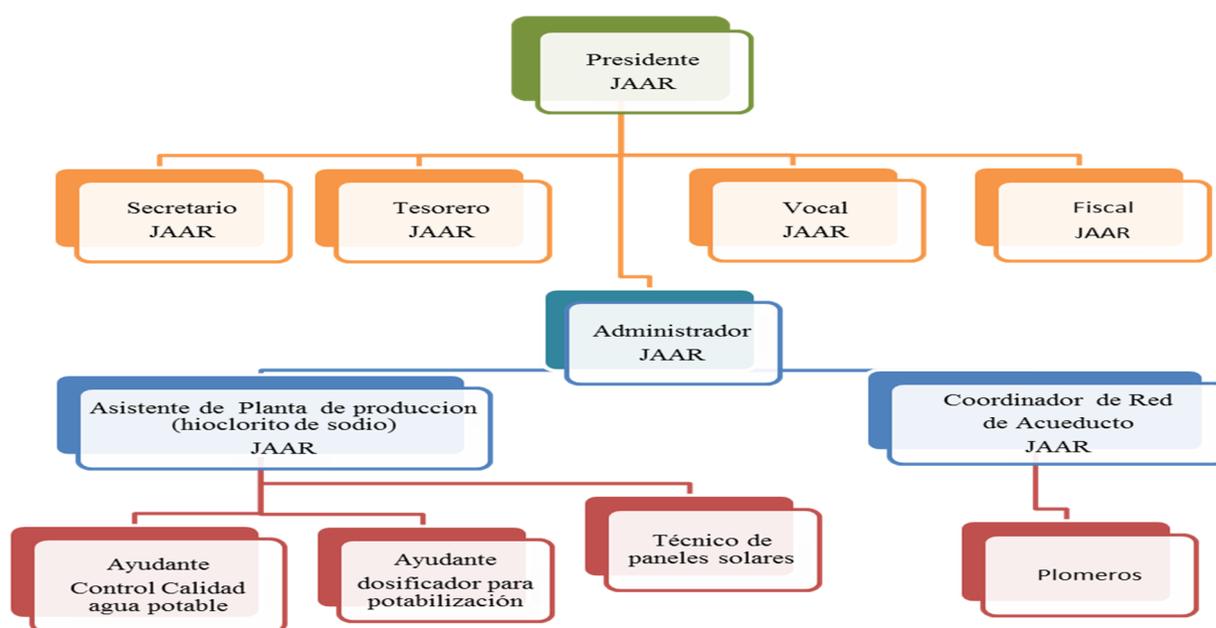


Figura 7. Organigrama de JAAR Ipetí Emberá.

5. Conclusiones

1. La inversión en proyectos de acueductos rurales integrando la metodología de la electrólisis de salmuera, permite contar con agua segura para el consumo humano, a bajo costo operativo, de fácil manejo y al alcance de población con pocos conocimientos técnicos.
2. La energía eléctrica generada por paneles solares permite que el proceso no genere costos a sufragar en forma efectiva por la JAAR, en comparación con el uso de la energía eléctrica

convencional. Por lo cual, tomando el ciclo de vida máximo de los paneles solares, el modelo permitiría tener un ahorro en costos de energía por 25 años, y considerando que el no realizar el mantenimiento preventivo provoque afectación en el equipo y por ende su vida útil.

3. La instrumentación adherida al proceso permite que este sea automático y que el operador tenga independencia para dedicarse a otras actividades, durante el proceso.

4. Es necesario que la JAAR lleve el control de calidad sugerido para el proceso.
5. Se requiere formalización de acuerdos entre dirigencia o autoridades de la comunidad y población capacitada en el proceso establecido, a fin de mantener el compromiso de difundir y adiestrar a otros en la comunidad con los conocimientos recibidos para el proceso que involucra la gestión de la JAAR.
6. La difusión y transmisión de conocimiento del modelo puede darse entre pares comunitarios, mediante el aprender-haciendo, para comunidades que posean acueductos rurales sin el saneado del agua para el consumo humano, o para nuevos proyectos por establecer.

6. Agradecimientos

Se agradece a la comunidad de Ipetí Emberá y sus dirigentes locales, como Regionales, por la oportunidad de difundir y aplicar la tecnología de la electrólisis de salmuera para producción de hipoclorito de sodio, para la potabilización del agua de consumo humano en esta comunidad; lo cual, nos permitió validar la tecnología y demostrar que es sencilla de aplicar, sostenible e innovadora en su proceso, con costos bajos a fin de transferir soluciones prácticas a problemas socioeconómicos en comunidades pobres o marginadas.

A las instituciones que nos permitieron la obtención de datos, el MINSA y facilitarnos los fondos para que el proyecto pudiera ser desarrollado, específicamente, a SENACYT, cumpliendo con el objetivo presentado.

7. Referencias

- [1] Ministerio de Salud (MINSA). Decreto 40 del 18 de abril de 1994.
- [2] Ministerio de Salud (MINSA). Resolución No.28 del 31 de enero de 1994.
- [3] Ministerio de Salud (MINSA). Decreto Ejecutivo No.1839 del 5 de diciembre de 2014. Gaceta oficial digital No.27678-A del 11 de diciembre del 2014. Unifica el Decreto 40 y Resolución, dictamina nuevo marco regulatorio de JAAR [Online] www.asamblea.gob.pa
- [4] L. M. Tejada Soto. Ministerio de Economía y Finanzas. Atlas Social de Panamá. Desigualdades en el acceso y el uso de Agua potable en Panamá. [Online]. En: www.mef.gob.pa/es/informes/Paginas/Atlas-Social.aspx
- [5] Ministerio de Salud (MINSA), Alianza por el Agua (Colaboración). Agencia Española de Cooperación Internacional (AECID – Organismo Financiador). Las Juntas Administradoras de Acueductos Rurales – JAAR. Aportando al Derecho Humano al Agua en Panamá. www.alianzasporelagua.org/documentos/gestión_Comunitaria_Agua/Panama.pdf
- [6] Entrevistas a líderes comunitarios de comunidades vecinas. Años 2011
- [7] N. Barranco Pilides. Investigador – LABAICA – CEI – UTP.
- [8] Guy Howard, Water Engineering and Development Centre, Universidad de Loughborough, RU, y Jamie Bartram, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza WHO/SDE/WSH/03.02 OMS, Ginebra, 2003. La cantidad de agua domiciliaria, el nivel del servicio y la salud. [Online] disponible: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf?ua=1
- [9] Ley 72 del 23 de diciembre de 2008. Procedimiento especial para establecer o adjudicar las propiedades del territorio de pueblos indígenas que están fuera de comarcas, en cumplimiento del artículo 127 de la Constitución Política de la República de Panamá.
- [10] M. A., Alvarez Z., Diagnóstico Socioeconómico de la comunidad de Ipetí Emberá. Años 2011 y 2016.
- [11] Enciclopedia Medioambiental. El consumo de agua en porcentajes. Consumo de agua per cápita. [Online] disponible: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/el-el-consumo-de-agua-en-porcentajes
- [12] Nene Ruíz. Dirigente de Ipetí Emberá- Entrevista. Año 2016.
- [13] M. A. Alvarez Z., Evaluación del consumo en Hogares del Agua potable producida por el método de electrólisis en Ipetí Emberá. Año 2013.
- [14] L. López Campistrous, F. Monier García, B. Labrada Vázquez. Estudio de la obtención electrolytica “in situ” de disoluciones acuosas de hipoclorito de sodio. Universidad de Oriente. Tecnología Química. Vol XXV, No.2, 2005.
- [15] N. Barranco, P. Martínez y M.A. Alvarez Z., Proyecto de “Introducción de la electrólisis de salmuera para el suministro de agua potable a una población marginada”, financiado bajo el Programa Ciencia contra la Pobreza (CPP 2010) de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT). Coordinado por el Laboratorio de Análisis Industriales y Ciencias Ambientales (LABAICA) del Centro Experimental de Ingeniería (CEI) de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).
- [16] M. A. Alvarez Z., Estudio de Factibilidad de la producción de Agua potable utilizando cloro producido mediante la electrólisis de salmuera en Ipetí Emberá. Panamá. Año 2016.
- [17] R. Rojas Vargas, ABES- Associação. de Engenharia Sanitaria e Ambiental, II-73- Celdas electrolíticas para la producción de hipoclorito sodio. XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitaria e Ambiental. e-mail: cepis@cepia.ops-oms.org
- [18] Ministerio de Comercio e Industrias (MICI) Reglamento técnico DGNTI-COPANIT No.23-395-99.

Mapa de susceptibilidad a deslizamientos en el distrito de San Miguelito, Panamá, incorporando herramientas de sistema de información geográfica

Landslide susceptibility map of San Miguelito district, Panama, based on geographic information system

Avril Díaz ^{1*}, Daniel Acosta ¹, Deeyvid Sáez ²

¹ Alumno egresado de la facultad de Ingeniería Civil, Campus Victor Levi Sasso, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá,

² Docente tiempo completo de la facultad de Ingeniería Civil, Campus Victor Levi Sasso, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá,

*Autor de correspondencia: avril_2992@hotmail.com

RESUMEN— Se elaboró un mapa de susceptibilidad a deslizamientos de tierra del distrito de San Miguelito (Panamá), mediante el análisis y validación de un modelo estadístico bivariable, incorporando herramientas del Sistema de Información Geográfica (SIG). Como datos de entrada se utilizaron un mapa inventario de deslizamientos y los mapas de parámetros. Para este propósito, se inició definiendo los conceptos de gestión de riesgo y la relación correspondiente con los parámetros que influyen en la inestabilidad de laderas, los cuales en materia de susceptibilidad se confeccionaron los mapas de elevación, pendiente, curvatura y orientación del terreno; mapas de proximidad a carreteras y ríos, mapa geotécnico de San Miguelito. Utilizando los registros de desastres naturales documentados en Desinventar (2018), se confeccionaron dos mapas de inventario de deslizamientos: un inventario preciso, para correr el modelo; y un inventario aproximado, para el proceso de validación. Con los datos de entrada generados, se desarrolló el método estadístico de relación de frecuencia para derivar el mapa de susceptibilidad a deslizamientos en la zona de estudio, clasificado en siete niveles de probabilidad a que ocurra un deslizamiento. Los resultados de esta investigación concluyen que un 68.2% del área total de San Miguelito presenta una susceptibilidad de moderada a muy alta a los deslizamientos de tierra, siendo el corregimiento de Arnulfo Arias, el más susceptible. De acuerdo con la validación del modelo, el mapa de susceptibilidad predice en un 88% la existencia de una zona de alta susceptibilidad en el área de estudio.

Palabras clave— *Susceptibilidad al deslizamiento, San Miguelito, sistemas de información geográfica, mapas de parámetros, mapa de inventario de deslizamientos, índice de la relación de frecuencia.*

ABSTRACT— A landslide susceptibility map of San Miguelito District (Panama) was derived through the analysis and validation of a bivariate statistical model, which was developed incorporating Geographic Information System tools (GIS). The dataset considered in this study were a landslide inventory map and parameters maps. For this purpose, the study by was started defining risk management concepts and their relationship with the suitable parameters that are involve in slope failures for each risk concept case, which in susceptibility matter maps were made of elevation, slope, curvature, and aspect. Also, proximity to roads and rivers mapping, and a geotechnical map of San Miguelito. In addition, utilizing all disaster registered at the website Desinventar (2018), two landslide inventory maps were generated. One of them for the model and the other one for the validation process. With the generated dataset, was developed the landslide susceptibility index method (LSI) to derive the landslide susceptibility in the study area, classified in seven levels of probability of landslide occurrence. The outcomes conclude that a 68.2% of San Miguelito shows a moderate to very high landslide susceptibility, where Corregimiento Arnulfo Arias is the most susceptible. According to the validating procedure, the landslide susceptibility map can predict in an 88% of probabilities that a high susceptibility zone in the study area does exist.

Keywords— *Landslide susceptibility, San Miguelito, geographic information system, parameters map, landslide inventory map, landslide statistical index.*

1. Introducción

Según el estudio Sitios Importantes para Desastres Naturales realizado por el Banco Mundial [1], Panamá posee un 15% de su territorio expuesto a desastres naturales y el 12% de su población es vulnerable a dos o más amenazas.

Desde finales de los años 1920 hasta la actualidad, el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) ha registrado los desastres naturales ocurridos en Panamá a través del sitio de internet Desinventar.org [2], esta información ha sido utilizada como fuente principal en la presente investigación.

Citación: A. Díaz, D. Acosta y D. Sáez, "Mapa de susceptibilidad a deslizamientos en el distrito de San Miguelito, Panamá, incorporando herramientas de sistema de información geográfica", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 1, pp. (59-70), 2019.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 24 de agosto de 2018. **Recibido con correcciones:** .28 de agosto de 2018. **Aceptado:** 19 de noviembre de 2018.

DOI <https://doi.org/10.33412/iddt.v15.1.2100>

Copyright: 2019 A. Díaz, D. Acosta y D. Sáez. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

En el análisis de estos registros, se ha observado que las inundaciones y deslizamientos de tierra son los que más daño han ocasionado a la población, contabilizándose un total de 546 deslizamientos entre los años 1929 y 2018. La recurrencia de este fenómeno ha ido en incremento, en los últimos diez años, doce de los deslizamientos ocurridos a nivel nacional han causado la muerte de veintinueve personas.

1.1 Deslizamientos de tierra

Técnicamente, los deslizamientos de tierra se definen como el proceso de falla de un talud y el área de influencia a su alrededor. Estos pueden ocurrir de forma repentina, en un corto período de tiempo, o puede ser un proceso prolongado y complejo [3].

De manera general, para que se produzca una falla en un talud o ladera y ocurra un deslizamiento, deben intervenir y modificarse varios factores. Entre estos factores podemos mencionar: la estructura y composición geológica del suelo, los cambios climáticos, cambios en la geomorfología del terreno y las acciones antropogénicas. La combinación de estos factores genera cambios en el nivel freático, cambios en el grado de saturación del suelo, aumento en el peso de la estructura del suelo, meteorización, entre otros [4].

1.2 Descripción del área de estudio

El área de estudio seleccionada para esta investigación es el distrito de San Miguelito, ubicado en la provincia de Panamá. Es el segundo distrito más poblado de la república, solo después del distrito de Panamá, con una población de 315,019 habitantes y una superficie aproximada de 50 km² [5]. Actualmente se compone de nueve corregimientos, todos con nombres de expresidentes del país y personalidades históricas panameñas como Amelia Denis de Icaza, Belisario Porras, José Domingo Espinar, Mateo Iturralde, Victoriano Lorenzo, Belisario Frías, Omar Torrijos, Arnulfo Arias y Rufina Alfaro.

A partir de la base de datos, se obtuvo que el distrito concentra un 28% del total de deslizamientos ocurridos a nivel nacional y el 53% respecto a la provincia de Panamá y Panamá Oeste (figura 1).

1.3 Estudio de deslizamientos de tierra en Panamá

Panamá ha sido un pilar fundamental en el desarrollo de las teorías de análisis de estabilidad de taludes. Esto se debe a que, durante la construcción del Canal de

Panamá, se originaron numerosos deslizamientos de tierra, los cuales impulsaron a ingenieros geotécnicos de todas partes del mundo a realizar investigaciones sobre el comportamiento de los taludes [6].

Adicionalmente, se han desarrollado diversos estudios enfocados a relacionar la estabilidad de taludes con la confección de mapas para identificación de zonas vulnerables a deslizamientos en distintos lugares del país [7, 8]. Siguiendo esta línea de investigación, se ha buscado zonificar el área de estudio en distintos niveles de susceptibilidad de acuerdo con el análisis e interpretación de un mapa elaborado con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Como consecuencia, este mapa posee la versatilidad de actualizarse para futuros estudios, tanto para añadir o descartar información y de este modo obtener nuevos resultados.

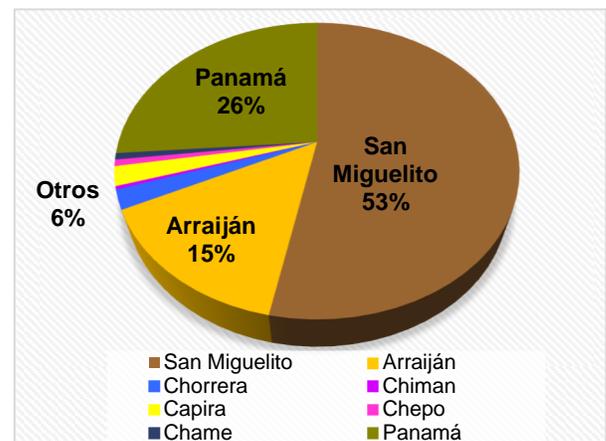


Figura 1. Distribución de deslizamientos ocurridos en los distritos de Panamá y Panamá Oeste, periodo de 1929-2018.

Para lograr este objetivo, se definen los conceptos de gestión de riesgo, con el propósito de desarrollar una comprensión de la metodología seleccionada y sus distintas limitaciones. Posteriormente, se muestran los datos de entrada utilizados en el modelo de susceptibilidad a deslizamientos y finalmente, los resultados de la metodología incorporada con su respectivo análisis.

2. Formulación teórica de susceptibilidad a deslizamientos de tierra

Una de las mejores estrategias para reducir los impactos de los deslizamientos es la prevención, que precisa de la evaluación del riesgo. La caracterización del

riesgo se expresa usualmente de forma cartográfica mediante la zonificación del territorio.

En el campo de los deslizamientos existe una amplia diversidad de conceptos para hacer referencia al tema del riesgo del suelo a desplazarse, quienes se desarrollan secuencialmente para el cálculo del riesgo (figura 2).

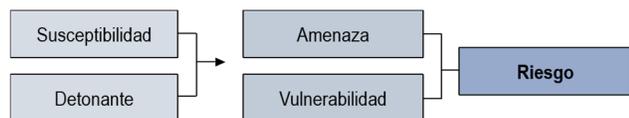


Figura 2. Esquema relacional de los diferentes conceptos para el cálculo del riesgo a deslizamiento.

Estos pueden definirse como:

- **Susceptibilidad:** Se define como qué tan propenso es un terreno al deslizamiento [9], independiente de los daños que cause a los elementos de riesgo, como bienes materiales y personas [10].
- **Detonante:** Es la acción de inicio o disparo del fenómeno del deslizamiento, que normalmente se identifica con fuertes lluvias o con terremotos.
- **Amenaza:** Es la probabilidad de que ocurra un deslizamiento dentro de un período de tiempo especificado y dentro de un área dada [11].
- **Vulnerabilidad:** Es el daño que se puede causar a la población o elemento de riesgo dentro del área afectada por el deslizamiento [12]. Comúnmente se expresa en una escala de 0 (sin pérdidas) a 1 (pérdida total) [13] y suele colocarse en contexto utilizando términos monetarios, como pérdida experimentada por una propiedad determinada o pérdida de vidas [14].
- **Riesgo:** Es la medida de que una amenaza se convierta en evento y cause daño a una comunidad vulnerable y sin capacidad de intervención. En otras palabras, es la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad [10].

En el desarrollo de planes de riesgo para la detección temprana de desastres naturales en una región específica, es fundamental la comprensión de cada uno de los conceptos antes definidos, debido a que de esta forma se identifican las distintas variables que deben tomarse en consideración para realizar los estudios pertinentes con un enfoque adecuado.

Como se aprecia en la figura 2, la evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos de tierra se posiciona como el primer eslabón de la cadena, donde se identifican las distintas zonas propensas a deslizamientos y sus niveles de probabilidad de ocurrencia.

2.1 Elaboración de mapas de susceptibilidad a deslizamientos

Al confeccionar un mapa de susceptibilidad a deslizamientos, se logra zonificar las unidades de terreno que muestran una actividad de deslizamientos similar o de igual potencial de inestabilidad producto de la correlación de algunos de los principales parámetros que contribuyen al deslizamiento de tierras con la distribución pasada de fallas de taludes o inventario de deslizamientos [9, 15, 16].

2.1.1 Selección del método

Actualmente, se destacan tres metodologías utilizadas en la evaluación y confección de mapas de susceptibilidad: los métodos determinísticos, probabilísticos y geomorfológicos [17]. En la tabla 1 se resume de manera general algunas ventajas y desventajas identificadas en cada uno de estos métodos.

Tabla 1. Comparación de los métodos de evaluación de susceptibilidad a deslizamientos

Método	Ventaja	Desventaja
Determinístico	Estudio detallado a gran resolución sobre la falla de un talud.	Requiere inventarios de deslizamientos con pruebas de laboratorio y levantamiento topográfico detallado.
Probabilístico	Implementación de modelos matemáticos replicables y flexibles para anexar o reducir información y obtener mejores resultados.	Se requiere de un inventario de deslizamiento con ubicación geográfica conocida y mapas de parámetros, muchas veces no existen para la zona de estudio en interés.
Geomorfológico	Método moderno que incorpora tecnologías de	Se requieren imágenes digitales de

	detección remota a través de SIG.	alta resolución a costos muy elevados.
--	-----------------------------------	--

Para el desarrollo de este estudio se seleccionó el método probabilístico, debido a que, además de las ventajas antes presentadas, es factible para confeccionar mapas de susceptibilidad en una escala de trabajo mayores a 1:25000, ideal para la extensión territorial de San Miguelito. Pese a las desventajas encontradas, cada uno de los datos de entrada fueron confeccionados en forma de mapas a través de SIG.

3. Datos

El procedimiento SIG para la confección del mapa de susceptibilidad a deslizamientos, requiere de información de entrada representada a través de mapas. Siguiendo el método probabilístico, se destacan dos mapas fundamentales: el mapa de inventario de deslizamiento y los mapas de parámetros.

3.1 Mapa de inventario de deslizamientos

El inventario de deslizamiento es la forma cartográfica más directa de la susceptibilidad a los movimientos de ladera. El producto final proporciona la distribución espacial de los movimientos del terreno representados con polígonos a escala o como puntos.

El registro de deslizamientos de Desinventar consta de 160 casos de deslizamientos de tierra reportados en San Miguelito. Esta información fue utilizada para confeccionar dos tipos de mapas de inventario de deslizamientos: un mapa de inventario de alta precisión y un mapa de inventario aproximado (tabla 2).

Tabla 2. Inventarios y cantidad de deslizamientos. Ref.: Desinventar 2018

Tipo de inventario	Cantidad
Deslizamientos con ubicación precisa	54
Deslizamientos con ubicación aproximada	85
Deslizamientos no ubicados	21
Total de deslizamientos	160

El primer mapa se identificó como inventario preciso (figura 3), ya que los registros contaban con detalles

específicos como el barrio, sector y número de casa afectada donde tuvo lugar el evento. Este mapa se utilizó para correr el modelo matemático que calcula la susceptibilidad a deslizamientos.

Por otra parte, el inventario aproximado (figura 4) se le otorgó una ubicación descriptiva aproximada. Para efectos de este inventario se presume que la localización del deslizamiento se ubica dentro de un radio de influencia de 50 metros, de acuerdo con la descripción reportada.

Los deslizamientos restantes, no se lograron localizar debido a falta de información e inconsistencias en la ubicación descrita en los reportes de Desinventar.

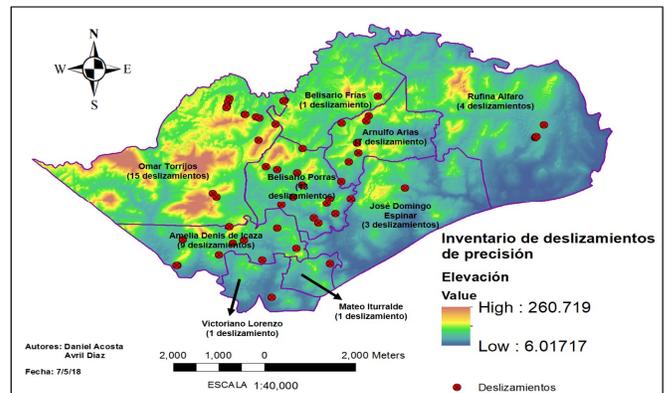


Figura 3. Mapa de inventario de deslizamientos con ubicación precisa.

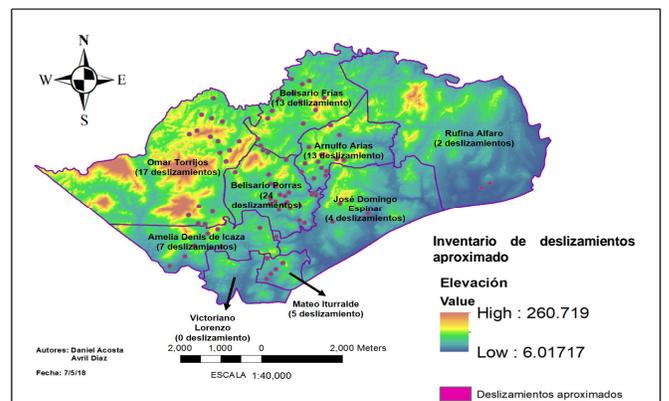


Figura 4. Mapa de inventario de deslizamientos con ubicación aproximada.

3.2 Mapas de parámetros

La degradación de los ecosistemas que regulan las cuencas, la ocupación y utilización desordenada del territorio, aunado a factores hidrometeorológicos, han ocasionado una pérdida de las capacidades regulatorias

de los ecosistemas y un aumento de la intensidad de los desastres ocurridos en San Miguelito.

Los distintos factores que alteran la estabilidad de las laderas, provocando fallas y deslizamientos, son llevados a su forma cartográfica para el análisis. De acuerdo con distintos autores [9, 13, 18, 19, 20, 21, 22], la susceptibilidad del suelo a desplazarse está mayormente relacionado con la topografía del terreno, el tipo de suelo, cuerpos de agua presentes y el uso de suelo (figura 5).

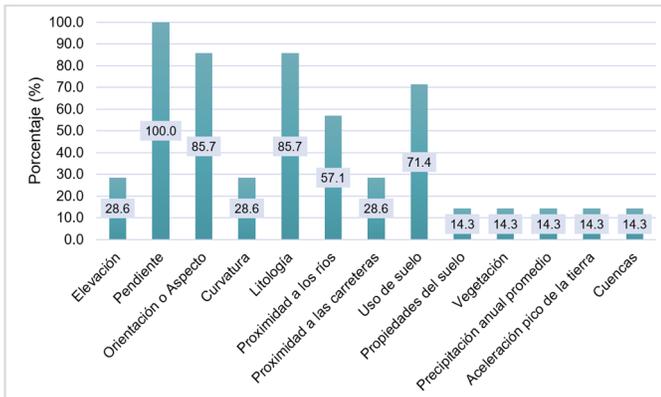


Figura 5. Frecuencia de uso de parámetros en estudios de susceptibilidad a deslizamientos por diversos autores.

Los parámetros seleccionados en este estudio son:

3.2.1 Mapa de elevaciones

A partir de un modelo digital de terreno (MDT) se obtiene la información de elevaciones absolutas (figura 6). Debido a las características topográficas de San Miguelito, se ha incorporado este parámetro al modelo con la finalidad de caracterizarlo por elevaciones.

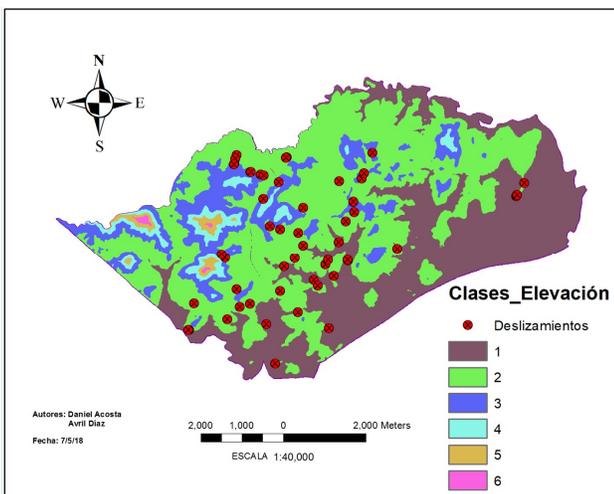


Figura 6. Mapa de elevaciones.

3.2.2 Mapa de pendientes

La pendiente de una ladera es un factor determinante en el análisis de estabilidad de taludes. Pendientes altas favorecen los movimientos de ladera por su contribución a la inestabilidad de los materiales. Este es un parámetro utilizado sistemáticamente en una gran cantidad de métodos de cálculo de estabilidad de taludes, debido a la influencia de las fuerzas gravitacionales en el proceso de falla (figura 7).

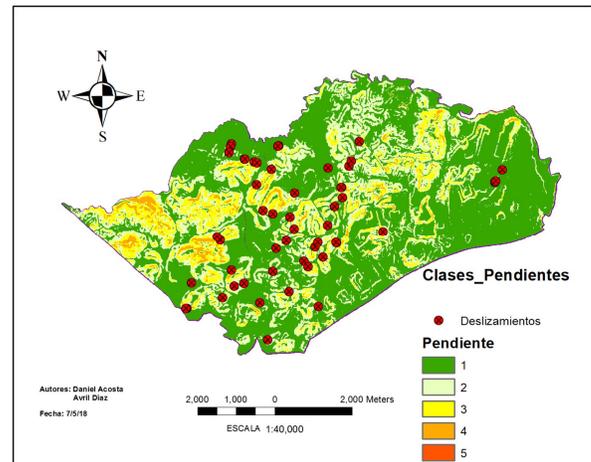


Figura 7. Mapa de pendientes.

3.2.3 Mapa de orientación de pendientes

La orientación es el ángulo que forma la línea de máxima pendiente de un elemento de la superficie del terreno con respecto al norte geográfico, medido en sentido de las agujas del reloj [23]. El mapa generado (figura 8) identifica la dirección de la pendiente descendente en un rango de 0 a 360 grados.

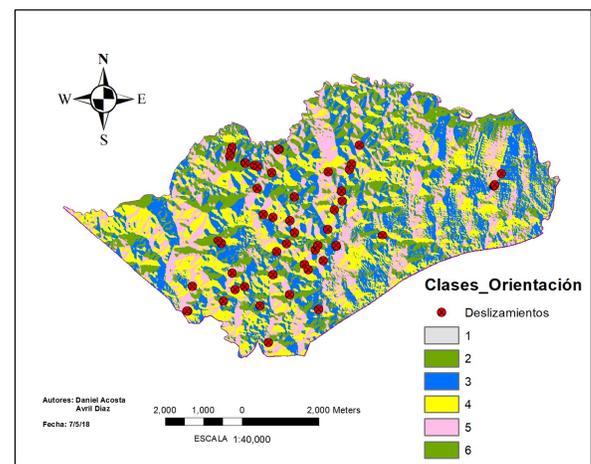


Figura 8. Mapa de orientación de pendientes.

3.2.4 Mapa de curvatura de pendientes

La curvatura representa el cálculo de la segunda derivada de los valores elevación del MDT. Los valores negativos, indican una curvatura del terreno convexa; positivo, indica una curvatura cóncava.

De acuerdo con las evidencias de los deslizamientos ocurridos y con base en estudios previos, se infiere que los terrenos con curvatura cóncava son más propensos al deslizamiento. En la figura 9 se puede apreciar el mapa de curvatura de pendientes de San Miguelito.

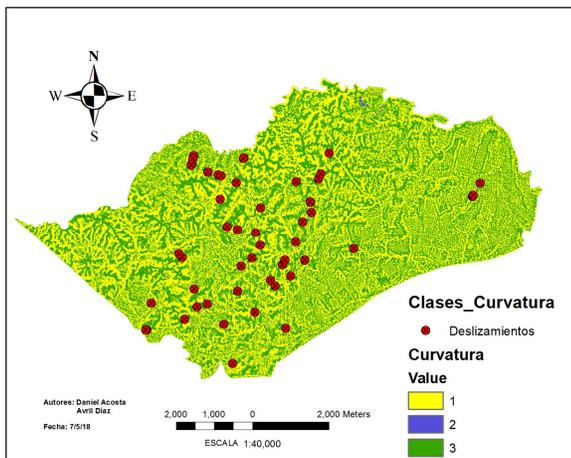


Figura 9. Mapa de curvatura de pendientes.

3.2.5 Mapa geotécnico

Un mapa geotécnico no aparece en la lista de parámetros comunes, sin embargo, se puede considerar en ausencia de mapas de tipo de suelo y de unidades litológicas si se cuenta con información sobre macizos rocosos y de propiedades geotécnicas del suelo.

El mapa geotécnico desarrollado (figura 10) se basó en la confección de una tabla de atributos con los valores de consistencia del suelo en función del valor N, a partir de los sondeos analizados.

Esto se debe a que, desde el punto de vista geotécnico, los deslizamientos ocurridos en San Miguelito son propensos a desarrollar superficies de fallas dentro de los primeros tres metros de profundidad por las características de las cargas que recibe el suelo y los intervalos lluviosos, sin embargo, se decidió realizar un estudio hasta los cinco metros con el propósito de cubrir mayor profundidad. Con el número de golpes promedio, se clasificó el suelo en diferentes categorías.

3.2.6 Mapa de proximidad a ríos

El mapa de proximidad a ríos, drenajes o cualquier tipo de cuerpo de agua es un parámetro comúnmente utilizado por diversos autores [18, 19, 20] debido a que el agua es el agente que contribuye con mayor peso a la modificación de las condiciones de estabilidad de una ladera.

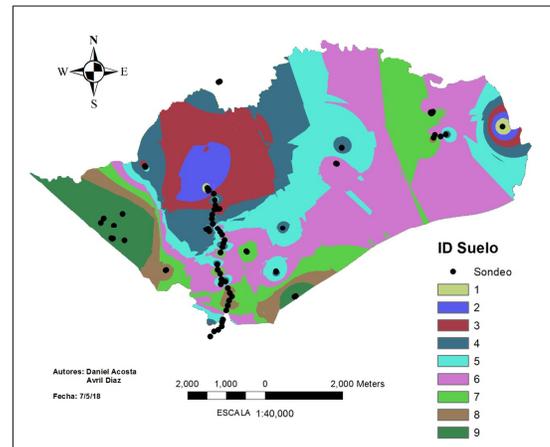


Figura 10. Mapa geotécnico.

El mapa de proximidad a los ríos (figura 11) se elabora basados en el inventario de deslizamientos y un archivo SHP de la base de datos de la Contraloría General de la Republica, que contiene toda la información de los cuerpos de agua presentes en el distrito.

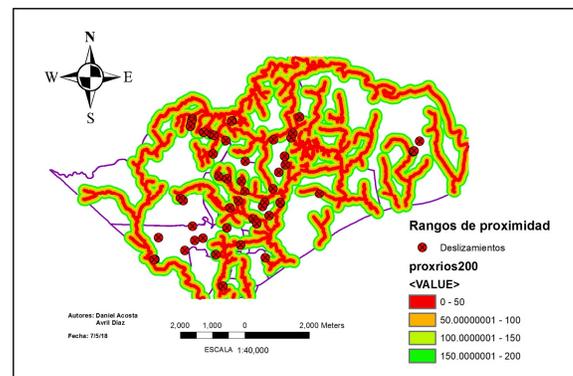


Figura 11. Mapa de proximidad a carreteras.

3.2.7 Mapa de proximidad a carretera

Las acciones antrópicas son claros modificadores de la estabilidad de una ladera, porque inducen sobrecargas ya sea en la cabeza, cuerpo o pata de esta. En San Miguelito muchos casos de deslizamientos han ocurrido

muy cerca de las vías de acceso, por este motivo se ha incluido el criterio de proximidad a carreteras (figura 12) para evaluar estadísticamente su relación espacial con los deslizamientos.

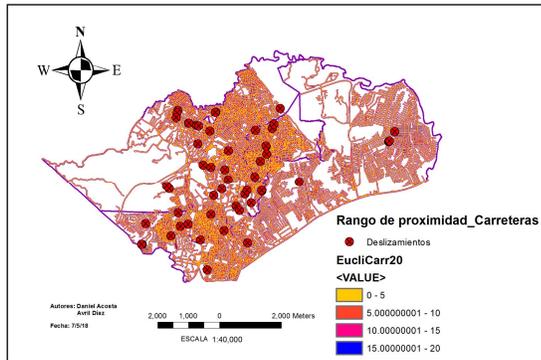


Figura 12. Mapa de proximidad a carreteras.

4. Modelo estadístico LSI

Con el fin de lograr los objetivos establecidos, y acorde con los mapas confeccionados, los resultados presentados en esta investigación para el desarrollo del mapa de susceptibilidad a deslizamiento en el distrito de San Miguelito obedecen a la metodología estadística bivariante.

La metodología bivariante a seguir es conocida como el Índice de Susceptibilidad a Deslizamiento (Landslide Susceptibility Index, LSI por sus siglas en inglés) y ha sido ampliamente utilizado por distintos autores en los trabajos [13, 18, 24] entre otros.

4.1 Formulación matemática del LSI

Este método calcula la relación de frecuencia entre la distribución de deslizamientos de tierra y los parámetros de deslizamientos. En otras palabras, cada mapa de parámetro se analiza con respecto al mapa de inventario de deslizamientos y se obtiene una razón de influencia de cada parámetro.

El LSI se calcula para cada categoría de los factores condicionantes: elevación, pendiente, aspecto, geotecnia, curvatura, proximidad a ríos y proximidad a carreteras. Por lo tanto, suponiendo que j es una categoría dentro del parámetro i , entonces el LSI para esta categoría ($LSI_{i,j}$) se define como se aprecia en la ecuación 1.

$$LSI_{i,j} = \left(\frac{N_{i,j} / N_T}{A_{i,j} / A_T} \right) \quad (1)$$

Donde:

LSI_i es la susceptibilidad de cada parámetro.

$N_{i,j}$ es el número de deslizamientos en la clase j de cada parámetro i .

$A_{i,j}$ es el área ocupada por esa clase.

N_T es el número total de deslizamientos.

A_T es el área total investigada.

La susceptibilidad total de cada píxel se puede calcular como la sumatoria de la susceptibilidad de cada parámetro entre la cantidad de parámetros que fueron tomados en cuenta en el estudio, tal como se expresa a través de la ecuación 2.

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n LSI_i \quad (2)$$

Donde: LSI_i es la susceptibilidad de cada parámetro i y n es el total de parámetros.

4.2 Cálculo del LSI

El cálculo del LSI_i fue realizado utilizando los softwares ArcMap y Microsoft Excel, para el cual se utilizaron las capas ráster de los mapas de parámetros y los deslizamientos representados por puntos (shapefile).

El inventario de deslizamiento se toma para ejecutar la función Extraer Valores Múltiples a Puntos, en ArcMap, la cual extrae valores de celda en ubicaciones especificadas en una clase de entidad de punto desde uno o más rásteres y registra los valores en la tabla de atributos de la clase de entidad de punto.

La tabla de atributos con las características de todos los puntos de deslizamiento es importada a Microsoft Excel para su procesamiento. Posteriormente, se procede a clasificar según cada uno de los parámetros utilizados de acuerdo con sus respectivas clases, las cuales corresponden a la numeración en cada uno de los mapas de parámetros elaborados (apéndice 1).

Los valores de LSI obtenidos del análisis de cada parámetro, fueron ingresados al software ArcMap para generar el mapa de susceptibilidad. Se ejecutó la función de Superposición Ponderada y se clasificó el mapa utilizando el método de interpolación de la distancia inversa pesada (Inverse Distance Weighted, IDW, por sus siglas en inglés) en siete categorías de susceptibilidad.

4.3 Categorías de susceptibilidad

Se clasificó el mapa de susceptibilidad a deslizamiento de San Miguelito de acuerdo con las clases utilizadas por Santacana [9]. Estas comprenden siete categorías enumeradas en valores enteros, para el cual el valor de 1 indica el menor grado de susceptibilidad y 7 representa la mayor susceptibilidad (tabla 4).

Tabla 4. Niveles de susceptibilidad a deslizamientos

Niveles	Descripción de la susceptibilidad
1	Extremadamente baja
2	Muy baja
3	Baja
4	Moderada
5	Alta
6	Muy Alta
7	Extremadamente alta

5. Resultados y discusiones

Se identificaron las clases de cada parámetro con la finalidad de conocer cuáles fueron los más influyentes en este caso de estudio. En la tabla 5 se muestran los valores LSI que resultaron máximos para cada uno de los parámetros estudiados.

Tabla 5. Valores LSI máximos según parámetro y clase

Mapa de Parámetro	Clase	Unidad	LSI
Geotécnico	15-20	N	2.648
Proximidad a carreteras	10-15	Metros	2.637
Proximidad a ríos	100-150	Metros	1.563
Orientación	315-360	Grados	1.378
Pendiente	30-50	%	1.373
Elevación	48.7-90.9	Metros	1.236
Curvatura	Convexa	Tipo	1.140

El parámetro geotécnico resultó matemáticamente el más influyente, donde la categoría de suelos cuya resistencia a la penetración estándar es de 15 a 20 golpes (N) resultó tener mayor valor de índice de susceptibilidad al deslizamiento. El tipo de suelo que se identifica con esta categoría es un suelo muy compacto, según descripciones del REP (2014). Para este estudio, un 8.33% de los suelos de San Miguelito se ubican dentro de

esta clasificación geotécnica. Cabe destacar que los suelos con estas características (N entre 15 y 20 golpes) no son suelos malos, sin embargo, son suelos que requieren más de un ensayo SPT para establecer sus propiedades geotécnicas, ya que se caracterizan por ser hidrofóbicos, aspecto que no es identificable al realizar un ensayo SPT.

Los resultados de proximidad a carreteras reflejan que la relación de frecuencia es alta para la clase de 10-15 metros, indicando que la ocurrencia de deslizamientos para el área de estudio se ve influenciada por este parámetro.

La frecuencia en la ocurrencia de deslizamientos es mayor para aquellos puntos que se ubican a una distancia de 100 a 150 metros de un cuerpo de agua. A pesar de que no exista cercanía considerable para deducir que existe socavación por caudal y aumentos del nivel del agua, se infiere que los drenajes y la escorrentía aportan a la influencia de este parámetro sobre la ocurrencia de los deslizamientos en San Miguelito.

Los parámetros geométricos del terreno resultaron con menor grado de influencia en la susceptibilidad, en el que se destaca que los deslizamientos de tierra han ocurrido incluso en pendientes no muy pronunciadas (30% a 50%).

5.1 Susceptibilidad por categorías

Se obtuvo una susceptibilidad moderada en un 46% de la región de San Miguelito (figura 13), cuya predominancia se encuentra en los corregimientos de Amelia Denis de Icaza y Rufina Alfaro.

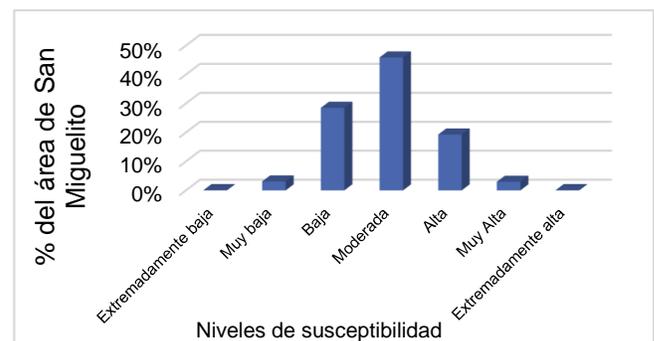


Figura 13. Gráfico de los niveles de susceptibilidad al deslizamiento y su distribución territorial en el distrito de San Miguelito.

Para efectos de vulnerabilidad a deslizamiento, se puede categorizar como zonas susceptibles a aquellas

regiones cuyas categorías se encuentran en el rango de moderada a extremadamente alta, lo cual resultaría en aproximadamente 68% de todo el territorio de San Miguelito. Esto es una evidencia que año tras año se observa en los medios de comunicación con los constantes deslizamientos que son reportados en esta región.

5.2 Validación

El proceso de validación se realizó utilizando el inventario de deslizamiento aproximado. Para esto, se calculó la cantidad de píxeles de los polígonos del inventario que caen dentro de cada clase de susceptibilidad. Se realizó esta metodología sencilla debido al grado de precisión en cuanto a la ubicación de los polígonos que conforman este inventario.

Tomando como válido el hecho de que estos deslizamientos con ubicación aproximada se localizan efectivamente dentro de un radio de 50 metros de acuerdo con la descripción dada por Desinventar, resulta que el mapa de susceptibilidad generado a partir del inventario de alta precisión predice en un 88% la existencia de una zona de alta susceptibilidad en el área de estudio.

5.3 Zonificación por corregimientos

A partir del inventario de deslizamientos se observó que los corregimientos de Omar Torrijos, Belisario Porras, Amelia Denis de Icaza y Arnulfo Arias concentran la mayor cantidad de deslizamientos reportados. Recalcando el hecho de que un inventario de deslizamiento es también una forma preliminar de analizar la susceptibilidad al deslizamiento por zonas, los resultados del modelo desarrollado en esta investigación confirman que los corregimientos antes mencionados, junto con el corregimiento de Belisario Frías, son los más susceptibles a deslizamiento de todo el distrito. Por otro lado, se identifican a los corregimientos menos susceptibles del distrito, que corresponden a los corregimientos de Mateo Iturralde, Victoriano Lorenzo y Rufina Alfaro.

6. Conclusiones

Este proyecto desarrolló y validó un mapa de susceptibilidad al deslizamiento en el distrito de San Miguelito (apéndice 2) siguiendo una metodología estadística bivariable e implementando el uso de los Sistemas de Información Geográfica. El mapa resultante permitió comprobar que San Miguelito es susceptible a

deslizamientos de tierra, lo cual también queda reflejado por los datos de Desinventar, que lo han posicionado como el distrito con mayor cantidad de deslizamientos del país.

Del análisis de este estudio se concluye:

1. Los métodos estadísticos son considerados los más apropiados para la zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento a escalas regionales porque son objetivos, reproducibles y fácilmente actualizables. No obstante, se requiere de la disposición de mucha información para su óptimo desarrollo.

2. El modelo LSI utilizado en esta investigación es un método simple; el proceso de entrada, cálculo y resultados se puede entender fácilmente y permiten asociarlo al entorno SIG, permitiendo el trabajo con gran cantidad de datos de forma efectiva para la creación de mapas de susceptibilidad a deslizamiento.

3. Para futuras investigaciones, se sugiere confeccionar también un mapa basado en métodos geomorfológicos, con la finalidad de establecer comparaciones entre ambos resultados.

4. Utilizar otros parámetros geotécnicos además del ensayo SPT, tales como el ángulo de fricción interna y la cohesión, los cuales influyen directamente en la resistencia al corte de la masa de suelo.

5. Se recomienda utilizar el mapa de susceptibilidad a deslizamiento desarrollado en esta investigación para tomar las medidas necesarias de prevención de eventos de derrumbe y así contribuir en la formulación y consolidación de acciones urbanísticas, de modo que a mediano y largo plazo se obtenga un uso apropiado de los recursos naturales y se proteja la vida de la población en general.

7. Agradecimiento

Agradecemos al Ing. Luis Alfaro e Ing. Bella Almillategui, de la empresa Ingenieros Geotécnicos S.A.; al Metro de Panamá y al Departamento de Geotecnia del Centro Experimental de Tocumen, por brindarnos información geotécnica valiosa. Agradecemos también al Dr. Martín Candanedo, por los datos proporcionados; a la Ing. Diana Laguna y al Dr. Bobak Karimi, por su apoyo sobre el entendimiento de SIG.

8. Referencias

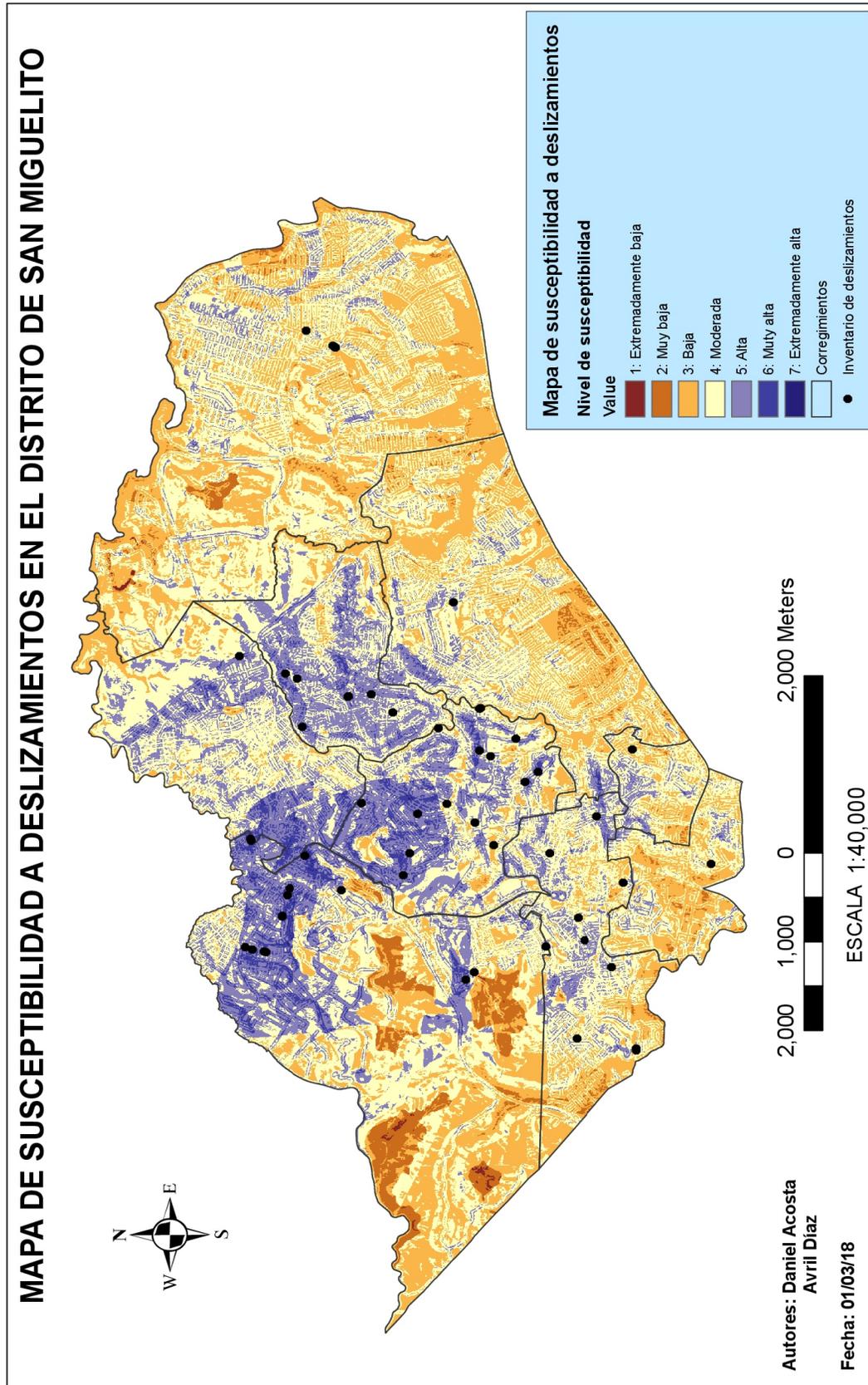
[1] The World Bank. "Disaster Risk Management in Latin America and the Caribbean Region: GFDRR Country Notes." Sustainable Development Unit, pp. 20, 2014.

- [2] DesInventar. "Sistema de inventario de efecto de desastres." Disponible: <https://www.desinventar.org/es/database>. Consultado el 21 de agosto de 2018.
- [3] B. Bacic y M. Uljarevic. "Slope Stability Analysis". Journal of Faculty of Civil Engineering, Subotica, Serbia, pp. 379-384, 2014.
- [4] D. J. Varnes. "Slope Movement Types and Processes." Analysis and Control, National Research Council, Washington DC, Transportation Research Board, Special Report 176, National Academy Press, Washington DC, pp. 11-33, 1978.
- [5] Contraloría General de la Republica. "Censo 2010". Disponible: <http://www.censos2010.gob.pa/Resultados/Cuadros.aspx>. Consultado el 21 de agosto de 2018.
- [6] C. Venkataramaiah. "Geotechnical Engineering." New Age International Publishers, third edition, New Delhi, pp. 318, 2006.
- [7] Y. Cruz y V. Medina. "Evaluación de áreas vulnerables y de fallas en algunos taludes en el distrito de San Miguelito." Trabajo de tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Panamá, 1994.
- [8] D. Barria y M. Motta. "Evaluación del riesgo por deslizamiento de tierras del distrito de San Miguelito." Trabajo de tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Panamá, 1993.
- [9] N. Santacana, B. Baeza, A. De Paz, J. Marturiá. "A GIS-Based Multivariate Statistical Analysis for Shallow Landslide Susceptibility Mapping in La Pobla de Lillet Area (Eastern Pyrenees, Spain)." Kluwer Academic Publishers, Vol. 30, pp. 281, 2003.
- [10] C.F. Mahler, E. Varanda y L. C. De Oliveira. "Analytical Model of Landslide Risk Using GIS." Open Journal of Geology, pp. 7, 2012.
- [11] D. J. Varnes. "Landslide hazard zonation: a review of principle and practices." Paris: UNESCO, 1984.
- [12] SIMDE/GTZ. "Guía para la gestión local de deslizamientos." San Salvador, 2007.
- [13] C. Chalkias, M. Ferentinou y C. Polykretis. "GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping on the Peloponnese Peninsula, Greece." Geosciences, edición 4, pp. 15, 2014.
- [14] T. Glade y M. Crozier. "A Review of Scale Dependency in Landslide Hazard and Risk Analysis." Landslide Hazard and Risk, Wiley, pp. 102, 2005.
- [15] E. Brabb y B. Harrod. Landslides: Extent and Economic Significance. Proceedings of the 28th international geologic congress symposium on landslides. Washington D.C., 1989.
- [16] J. Suarez. "Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales." Ingeniería de Suelos Ltda: Publicaciones UIS, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Bucaramanga, Colombia, pp. 358, 1998.
- [17] N. Santacana. "Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat." Barcelona, España: Universidad Politénica de Catalunya, 2001.
- [18] S. Lee. "Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data." International Journal of Remote Sensing; Vol. 26, pp. 1477-1491, 2005.
- [19] A. Akgun, C. Kincal y P. Biswajeet. "Application of remote sensing data and GIS for landslide risk assessment as an environmental threat to Izmir city (west Turkey)." Environmental Monitoring and Assessment, vol. 184, pp. 5453-5470, 2012.
- [20] P. Magliulo, A. Di Lisio y F. Russo. "Comparison of GIS-based methodologies for the landslide susceptibility assessment." Geoinformatica, vol. 13, pp. 253-265, 2008.
- [21] A. Nisa y W. Mohd. "GIS Based Multi-Criteria Decision Making for Landslide Hazard Zonation." Social and Behavioral Science, Vol. 35, pp. 595-602, 2012.
- [22] H. Sato y T. Sekiguchi. "Landslide Susceptibility Mapping of the Kuchisakamoto Area, Central Japan using DTM from Airborne LiDAR." Bulletin of the Geographical Survey Institute, pp. 23-35, 2005.
- [23] J. Jiménez. "Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante un SIG en la cuenca vertiente al embalse de Rules, Granada." Tesis doctoral, Universidad de Granada, Departamento de Ingeniería Civil, Granada, 2005.
- [24] Y. W. Wenping Li, Q. Wang, Q. L. Liu, D. Yang, M. Xing, Y. Pei y S. Yan. "Landslide susceptibility assessment using frequency ratio, statistical index and certainty factor models for the Gangu County, China." Arabian Journal of Geosciences, vol. 9, pp. 84, 2016.

Apéndice 1. Tabla de relación de frecuencia en la ocurrencia de deslizamientos (LSI) por cada parámetro.

Parámetro	ID clase	Rango de la clase	Deslizamiento	Deslizamiento (%)	Píxeles totales de la clase	Píxeles totales de la clase (%)	Frecuencia (LSI)
Elevación (m)	1	6.0 - 48.7	14	0.259	704981	0.353	0.734
	2	48.7 - 90.9	32	0.593	957005	0.480	1.236
	3	90.9 - 133.4	8	0.148	248823	0.125	1.188
	4	133.4 - 175.8	0	0.000	61750	0.031	0.000
	5	175.8 - 218.3	0	0.000	19435	0.010	0.000
	6	218.3 - 260.7	0	0.000	3448	0.002	0.000
Pendiente (%)	1	0 - 15	28	0.519	1181815	0.592	0.875
	2	15 - 30	16	0.296	526766	0.264	1.122
	3	30 - 50	9	0.167	242276	0.121	1.373
	4	50 - 100	1	0.019	44443	0.022	0.831
	5	> 100	0	0.000	142	0.000	0.000
Orientación	1	Plano	0	0.000	973	0.000	0.000
	2	Norte	7	0.130	223856	0.112	1.156
	3	Este	12	0.222	555871	0.279	0.798
	4	Sur	13	0.241	547558	0.274	0.877
	5	Oeste	14	0.259	452722	0.227	1.143
	6	Norte	8	0.148	214462	0.107	1.378
Curvatura	1	Convexa	32	0.593	1036976	0.520	1.140
	2	Plano	0	0.000	1078	0.001	0.000
	3	Cóncavo	22	0.407	957388	0.480	0.849
Geotécnico (N)	1	5 - 10	0	0.000	6757	0.003	0.000
	2	10 - 15	1	0.019	66954	0.034	0.552
	3	15 - 20	16	0.296	223306	0.112	2.648
	4	20 - 25	3	0.056	242965	0.122	0.456
	5	25 - 30	17	0.315	356784	0.179	1.761
	6	30 - 35	13	0.241	646435	0.324	0.743
	7	35 - 40	2	0.037	238788	0.120	0.310
	8	40 - 45	2	0.037	76449	0.038	0.967
	9	45 - 50	0	0.000	137104	0.069	0.000
Proximidad a ríos (m)	1	0 - 50	10	0.185	461232	0.231	0.801
	2	50 - 100	13	0.241	385871	0.193	1.245
	3	100 - 150	14	0.259	331026	0.166	1.563
	4	150 - 200	5	0.093	285100	0.143	0.648
	5	> 200	12	0.222	532313	0.267	0.833
Proximidad a carreteras (m)	1	0 - 5	12	0.222	411157	0.206	1.078
	2	5 - 10	13	0.241	226493	0.114	2.121
	3	10 - 15	16	0.296	224225	0.112	2.637
	4	15 - 20	8	0.148	157030	0.079	1.883
	5	>20	5	0.093	976637	0.489	0.189

Apéndice 2. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos en el distrito de San Miguelito.



Caracterización de imaginación motora utilizando análisis de descomposición de bandas de energía

Characterization of motor imagination using decomposition analysis of energy bands

I. Moreno^{1*}, C. Boya², J. Serracín¹, S. Serracín¹, E. Batista¹, J. Antelis³, L. Hernández³, R. Moreno¹, L. Gómez¹, J. Quintero¹

¹ Grupo ROBOPROC, Centro Regional de Chiriquí, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

² Universidad Interamericana de Panamá, Panamá

³ Extensión de Guadalajara, Instituto Tecnológico de Monterrey, México

*Autor de correspondencia: iveth.moreno@utp.ac.pa

RESUMEN— Este artículo trata sobre el análisis de las señales eléctricas generadas por el cerebro, cuando una persona imagina el movimiento de sus extremidades superiores. Las señales que se estudian son adquiridas con un equipo de interfaz cerebro-computador y son analizadas utilizando la transformada Wavelet Discreta para la técnica de descomposición de banda de energía. El uso de esta técnica es novedoso en el análisis de las señales eléctricas generadas por el cerebro y los resultados que se obtuvieron indican que el uso de la técnica es factible para la caracterización de señales eléctricas provenientes del cerebro.

Palabras clave— Bandas de energía, cerebro, EEG, imaginación motora, interfaz cerebro-computadora, wavelet.

ABSTRACT— This article provides an overview of the analysis of electrical signals generated by the brain, when a person imagines the movement of their upper extremities. The signals studied are acquired with a brain-computer interface equipment and analyzed using Discrete Wavelet transform as the energy band decomposition technique. The use of this technique is new in the analysis of electrical signals generated by the brain and the results obtained indicate that the use of the technique is feasible for the characterization of electrical signals coming from the brain.

Keywords— Energy band, brain, EEG, motor imagination, brain-computer interface, wavelet.

1. Introducción

En este documento se aborda el uso del análisis de bandas de energía mediante transformada discreta de Wavelet, como posible técnica para la caracterización de señales de electroencefalografía (EEG) provenientes del cerebro como resultado de la imaginación motora. Las señales son obtenidas por medio de una interfaz cerebro-computadora, también conocida como BCI (brain computer-interface). Para realizar este estudio, se utilizaron datos obtenidos con un equipo g.Nautilus BCI de ocho canales.

Se define una interfaz cerebro-computadora, como un sistema que mediante los avances en técnicas de neurociencia, procesamiento de señales, *machine learning* y tecnología de la información [1], logra medir la actividad del sistema nervioso central y traduce la lectura de estas señales (EEG, ECoG, etc.) en “salidas artificiales” (brazos robóticos o sillas de ruedas), que les

permiten a las personas reemplazar, restaurar, aumentar, suplantar o mejorar las “salidas naturales” que controla el sistema nervioso central del cuerpo humano (extremidades superiores e inferiores) [2].

El artículo seguirá la siguiente estructura: primera sección introducción, segunda sección antecedentes, tercera sección materiales y métodos, cuarta sección análisis de resultados, quinta sección conclusiones y discusión y por último en la sexta sección las referencias bibliográficas.

2. Antecedentes

La tecnología BCI no siempre fue una realidad tangible, incluso para la mayoría de científicos en los años sesenta, no era más que “ciencia ficción” que se veía en películas o la televisión. Como muchas otras tecnologías que antes el ser humano solo podía soñar en crear y utilizar, los sistemas de interfaz cerebro-

Citación: I. Moreno, C. Boya, J. Serracín, S. Serracín, E. Batista, J. Antelis, L. Hernández, R. Moreno, L. Gómez y J. Quintero, “Caracterización de imaginación motora utilizando análisis de descomposición de bandas de energía”, *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 1, pp. (71-79), 2019.

Tipo de artículo: Original **Recibido:** 24 de agosto de 2018. **Recibido con correcciones:** 3 de septiembre de 2018. **Aceptado:** 29 de enero de 2019.

DOI <https://doi.org/10.33412/iddt.v15.1.2101>

Copyright: 2019 I. Moreno, C. Boya, J. Serracín, S. Serracín, E. Batista, J. Antelis, L. Hernández, R. Moreno, L. Gómez y J. Quintero. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

computadora hoy en día son una realidad gracias a los avances en las diversas disciplinas afines con este campo de investigación.

Fue en los años veinte cuando el precursor Hans Berger [3] realizó los primeros EEG. De este modo, científicos de todo el mundo comenzaron a preguntarse por los diferentes posibles usos para esta nueva tecnología, como por ejemplo comunicación u otras acciones sin la necesidad de mover músculos, solo por medio de ondas cerebrales [2].

No es hasta 1964 cuando el médico Grey Walte, describe y logra hacer funcionar con aparente éxito el primer sistema BCI, pero sin publicaciones oficiales al respecto [4]. Actualmente hay un sin número de personas desarrollando esta área de estudio,

manteniendo como principal aplicación o propósito mejorar la calidad de vida de personas con discapacidad motora [5] [6] [7], al igual que debido a los avances de la tecnología y la reducción de costos para esta clase de equipos se ha dado lugar a otras aplicaciones como por ejemplo: prevenir y reducir el deterioro cognitivo en personas de edad avanzada [8], rehabilitación de personas con discapacidad de movimiento por medio de simulaciones [9], videojuegos [10], control de sillas de ruedas en entornos virtuales [2], entre otros.

Las diferentes etapas elementales de un sistema BCI son: adquisición y procesamiento de señales, generación de comandos y control de salidas; y finalmente retroalimentación al usuario en tiempo real. Como se puede observar en la figura 1.

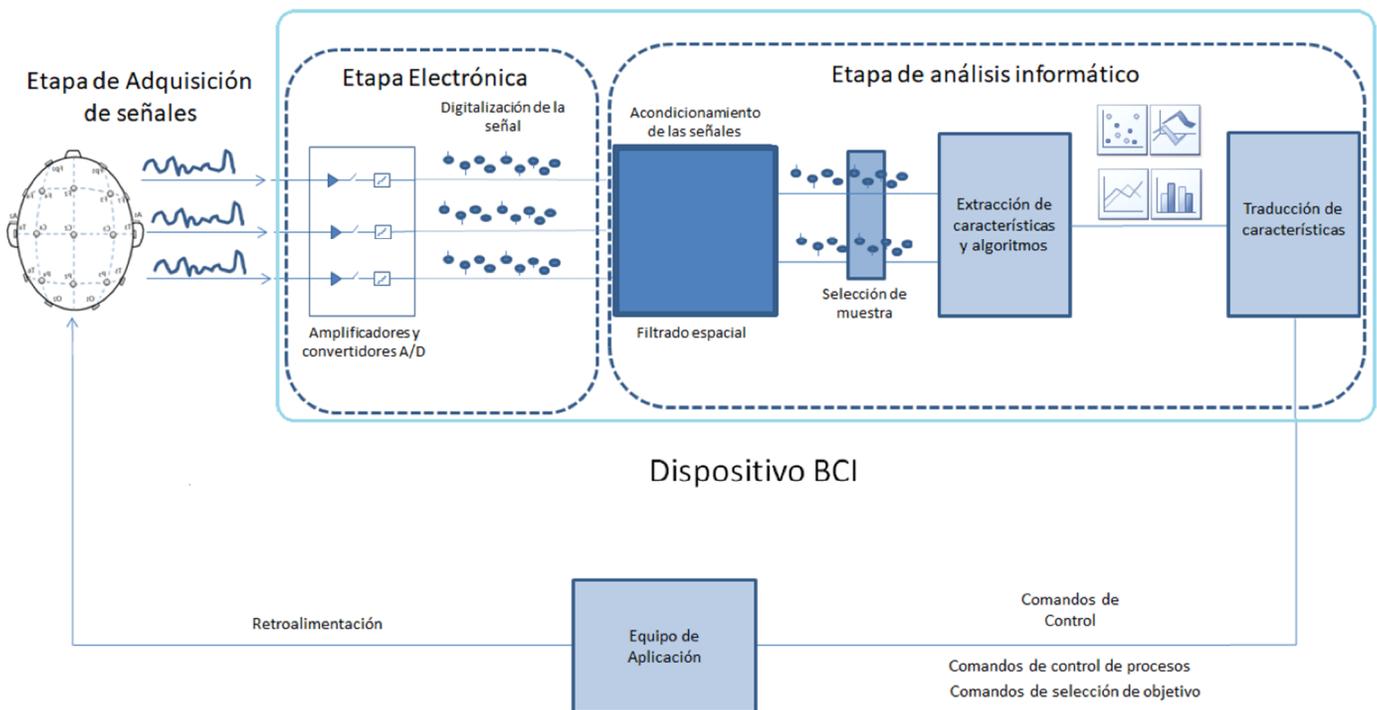


Figura 1. Diagrama de etapas en un sistema BCI.

2.1 Adquisición y procesamiento de señales

En esta etapa se obtienen las señales eléctricas generadas por el cerebro, ya sea de forma invasiva por medio de cirugía o no invasiva por medio de electroencefalografía (EEG) [4]. Este último es el método más utilizado y económico del mercado.

La colocación de estos sensores a lo largo del cuero cabelludo es según el Sistema Internacional 10-20, se pueden utilizar desde 8 hasta 64 sensores [2].

Por otro lado, el procesamiento de las señales incluye hasta tres subetapas: preprocesamiento, extracción y detección y clasificación de características [4].

El preprocesamiento consiste en mejorar la calidad de la señal para facilitar su posterior análisis, aquí por ejemplo, se encuentran diferentes sistemas de filtrado; ya sea en el mismo sensor o en equipos exclusivos de filtrado de señal. Las señales se pueden contaminar con

diferentes agentes externos, como el campo magnético generado por la electricidad de alimentación del equipo (120 V 60 Hz), entre otros. Con esto se busca obtener un mejor SNR (*signal-to-noise ratio*), para así alterar en lo mínimo posible los datos inherentes en la señal original [2].

En la extracción de características se utilizan algoritmos especiales para “calcular o extraer” estos parámetros, basándose en diferentes frecuencias según la actividad mental que se esté ejecutando, cantidad de actividad en determinados sectores del cerebro, niveles de energía en sensores específicos, etc.

Y por último en la detección y clasificación de características, por medio de programas especializados se agrupan los diversos parámetros de interés según características particulares, cabe destacar que si se lleva un control de tiempo sobre las tareas mentales a realizar por el usuario se facilita esta subetapa del proceso; luego se traducen o transforman estas características en comandos específicos de control.

2.2 Generación de comandos y control de salidas

Existen dos tipos de procesos para generar comandos de control en BCI, comandos que seleccionan un objetivo y comandos que controlan un proceso [2]. Cuando se trabaja con sistemas BCI sencillos, donde las variables de salida y entrada son pocas, se recomienda utilizar comandos de selección debido a su poca complejidad en comparación de los comandos de control de procesos.

Cuando se habla de comandos de selección de objetivos, se entiende que el usuario debe pensar en la acción final que desea realizar (por ejemplo, levantar una prótesis de brazo); y es un programa dentro del brazo el que toma las decisiones para realizar el movimiento. Por el contrario, cuando se habla de comandos de control de procesos, el usuario es el que debe tomar todas las decisiones para conseguir el objetivo final (por ejemplo, el usuario tendría que decir que tan rápido va a mover el brazo, que tanto desea doblar el codo, etc.); y el brazo robótico solo llevaría a cabo las acciones de mover los motores en las direcciones señaladas por la persona.

2.3 Retroalimentación

Es muy importante que se realice una retroalimentación en tiempo real de los resultados

obtenidos con los comandos de control sobre los actuadores según sea la aplicación BCI. Es necesaria, ya que de este modo el usuario y quien realiza las pruebas, pueden comprobar si se pudo llegar con éxito a su objetivo o si hay que realizar cambios en algún punto del proceso.

En resumen, BCI se basa en la posibilidad de medir la actividad eléctrica que existe en el cerebro, su procesamiento y salida para la interacción del cerebro con el exterior.

Por otro lado, el concepto de electroencefalografía (EEG) hace referencia a una técnica de adquisición de la señal eléctrica cerebral de forma no invasiva; en la que se registra la región emisora, la polaridad y los cambios espacio-temporales de dichas señales, por medio de electrodos superficiales y basales que transforman las corrientes iónicas del tejido cerebral en corrientes eléctricas en la superficie craneal.

Hay varios sistemas para el posicionamiento de los electrodos, como lo son: Illinois, Montreal, Aird, Lennox, Marchall, etc. [11]. Pero en 1958 fue propuesto por la Federación Internacional de Sociedades de Electroencefalografía y Neurofisiología Clínica el uso estandarizado del Sistema Internacional diez-veinte, mencionado anteriormente (ver figuras 2 y 3).

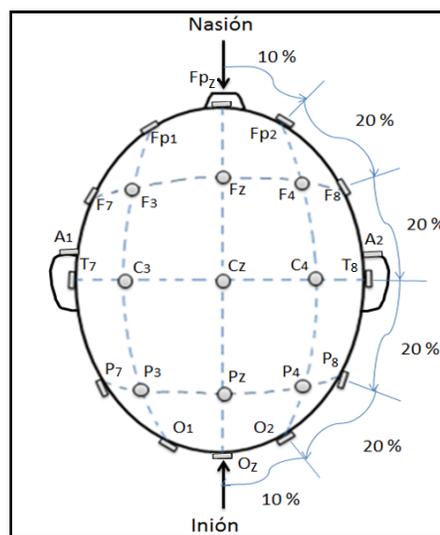


Figura 2. Diagrama del Sistema Internacional 10-20, vista superior.

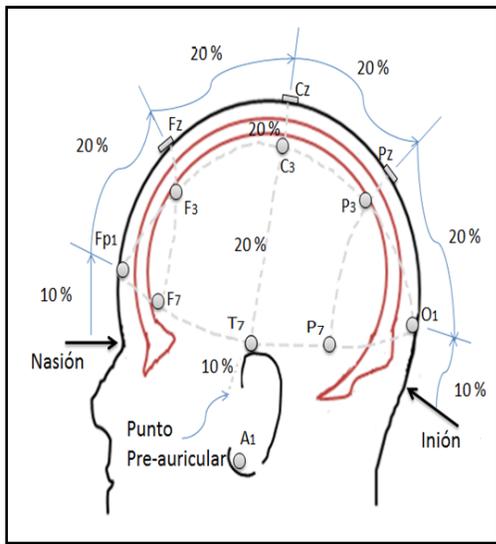


Figura 3. Diagrama del Sistema Internacional 10-20, vista lateral izquierda.

Al mismo tiempo, las señales obtenidas se pueden estudiar, utilizando diferentes técnicas como son: filtros, en conjunto con transformadas como Fourier y/o redes neuronales. La finalidad es que mediante la aplicación de una u otra técnica matemática puedan representarse parámetros únicos en la señal, que puedan dar indicio o diferenciar actividades cerebrales de distinta naturaleza.

El cerebro por su naturaleza genera señales con frecuencias variables a lo largo del tiempo, por lo que la aplicación de un método matemático como la transformada de Wavelet, la cual opera con frecuencias variables de eventos en el tiempo [12] puede ser efectivo.

La distribución de energía promedio, es un método gráfico - matemático, mediante el cual se observa el comportamiento energético de las señales obtenidas mediante electroencefalograma (EEG), de acuerdo a las frecuencias que presenta dichas señales. Este método en general, no es utilizado de forma directa, sino, como una etapa de preprocesado, para ser enviado por ejemplo a una red neuronal. Ejemplo de esto, en el estudio realizado en [13], por medio de reconocimiento de voz humana se pretende clasificar entre género masculino o femenino. Por otro lado, en [14], el propósito es la identificación de señales anormales en el cerebro, para determinar signos de epilepsia utilizando electroencefalograma (EEG). Además, en [15], se muestra la distribución de energía con la frecuencia de

cada tipo de descarga y la desviación estándar, utilizando distribución promedio de energía. En el caso de este estudio, se propone utilizar el método directamente para discriminar de un pensamiento sobre otro, obtenido por medio del electroencefalograma (EEG).

El cerebro por su naturaleza genera señales con un espectro que va desde menos de 1 Hertz hasta los 100 Hertz. Dependiendo de la actividad detectada, ya sea en tiempo y espacio, algunas frecuencias presentan más energías que otras. Cuando esta actividad está presente debido a una intención muy enfocada por parte del usuario, las señales EEG generadas tienen una huella distintiva de energía en frecuencia. Aunque actualmente se utiliza la técnica de transformada de Fourier para realizar análisis y extracción de características en frecuencia, esta técnica genera un espacio de características del tamaño de la señal en el tiempo. En este documento, se utiliza una técnica basada en la transformada Wavelet para extraer características de la señal proveniente de la imaginación motora [13][14][15]. La transformada Wavelet, muestra la relación que hay entre la onda objeto de análisis y un conjunto de ondas especiales con características peculiares de amplitud y frecuencias; el resultado final sería la suma de todos los valores obtenidos al variar las distintas características de dichas ondas. Se observa el cómo varía o responde una función madre al estar en convolución con las ondas wavelet; y en base a la resultante obtener coeficientes [16]. Esta transformada es utilizada para obtener una “huella” de energía más compacta y representativa de las señales EEG generadas por la intención del usuario [12]. El objetivo es generar huellas de energía que corresponden a cuatro acciones básicas, imaginación de levantamiento de brazo izquierdo, imaginación de levantamiento de brazo derecho, parpadeo y descanso. Las huellas se crean a partir de múltiples muestras efectuadas de las acciones que se mencionan y se comparan entre sí a fin de establecer conglomerados de niveles de energía. Los conglomerados corresponden a la huella de energía y se obtienen valores muy característicos para cada acción.

3. Materiales y métodos

La fase experimental de este estudio consistió en adquirir datos de electroencefalografía, producto de estimulación visual a personas sanas a que realizaran

tareas de imaginación motora del movimiento de las extremidades superiores. Cada persona imaginó una rutina de pensamientos durante dos minutos y 24 segundos, de la siguiente forma: descanso, movimiento de la mano derecha o izquierda de forma aleatoria; y “parpadeo”. Es importante aclarar que el pensamiento parpadeo va asociado, también a una acción física de mover las pestañas repetidamente. Esta acción permite tener un marco de referencia, entre pensamientos y una acción, que puede ser observada más claramente en las gráficas y para comodidad del usuario, ya que durante los otros pensamientos no puede pestañear para no contaminar la señal. Cada pensamiento de descanso o movimiento de mano derecha/izquierda o de parpadeo tiene una duración de cinco segundos y el conjunto: descanso, movimiento derecha o izquierda y parpadeo; 15 segundos, en el video se repetía dicha secuencia 9 veces. El objetivo de estas tareas es la obtención de señales EEG desde varios pensamientos, buscando extraer las características de las señales con la técnica de descomposición Wavelet.

Para adquirir los datos, se procedió a colocar el gorro BCI sobre la persona sana (ver la figura 4). El gorro utilizado posee una cinta para ajuste de tamaño en la barbilla; mediante este ajuste de la cinta, se fija la posición del equipo, de forma que no se distorsionen los datos por deslizamientos, que suele ser una de las principales causas físicas de alteración de los datos. Una vez con el sistema correctamente fijado la persona entonces mira en una pantalla las palabras Descanso, Movimiento Derecha o Izquierda, Parpadeo, a medida que aparecen, indicando a la persona con dichas palabras la instrucción en que debe pensar, dentro de un ambiente controlado.

El gorro BCI contiene ocho electrodos colocados de acuerdo al Sistema 10/20. Las señales eléctricas obtenidas a través de los electrodos son enviadas a una etapa amplificadora y de filtrado, para luego enviar la señal a la computadora, donde se analizarán las señales obtenidas.

El objetivo de este estudio es evaluar la efectividad del método para la identificación de eventos, con intención de diferenciar entre la imaginación de movimiento del brazo izquierdo o la imaginación de movimiento del brazo derecho.



Figura 4. Sistema BCI no invasivo de 8 canales.

4. Resultados

En la figura 5 se muestran las señales en el estado bruto de los datos, para dos de los participantes; donde la figura superior es un participante y la figura inferior es otro participante. Se observa que la forma de ambas señales mantiene casi la misma apariencia para ambos participantes, con diferencias en el canal 1 y el canal 8. En este caso, el sistema requiere de más pruebas para determinar el porqué de esta diferencia.

Por otro lado, en la figura 6, se observa el estado de calma en un participante, ya sea con los ojos abiertos o cerrados. Para ambos casos, la señal presente en cada sensor, mantiene un tipo de onda similar.

En la figura 7 se muestran las señales EEG del participante A, para los 8 canales, y en donde los números 1, 2, 3 y 4 superiores son las intenciones de imaginación motora que se le ha solicitado al participante A, donde 1 es el estado “Calma”, 2 el estado “mover a la derecha”, 3 el estado “mover a la izquierda” y el 4, “parpadeo”. Este último se utiliza para tener una referencia más clara entre cada prueba. Cada prueba se inicia con el estado de “Calma” y después con el estado de movimiento, ya sea para la izquierda o la derecha. Cada uno de estos estados tiene una duración de cinco segundos, siendo cada prueba de 15 segundos en total. Se realizan nueve pruebas por cada sesión. En la figura 5, por claridad, se ha dividido con líneas de referencia azules cada estado de cinco segundos. De los cuatro estados, se observa que el estado “parpadeo” es una variación relativamente rápida, lo cual es

proporcional al movimiento físico de cerrar los ojos rápida y repetidamente. Por otro lado, observando cada estado, es difícil visualmente diferenciar entre los estados calma y movimiento; y más aún, entre los movimientos derecha e izquierda. Con el fin de lograr esta discriminación, se aplica la técnica de descomposición Wavelet, la cual permite obtener niveles de energía por banda de frecuencia. Como se conoce la señal que corresponde a cada uno de los estados, estos son procesados por la descomposición Wavelet, obteniendo la energía de una serie de bandas de frecuencias como se muestra en la tabla 1.

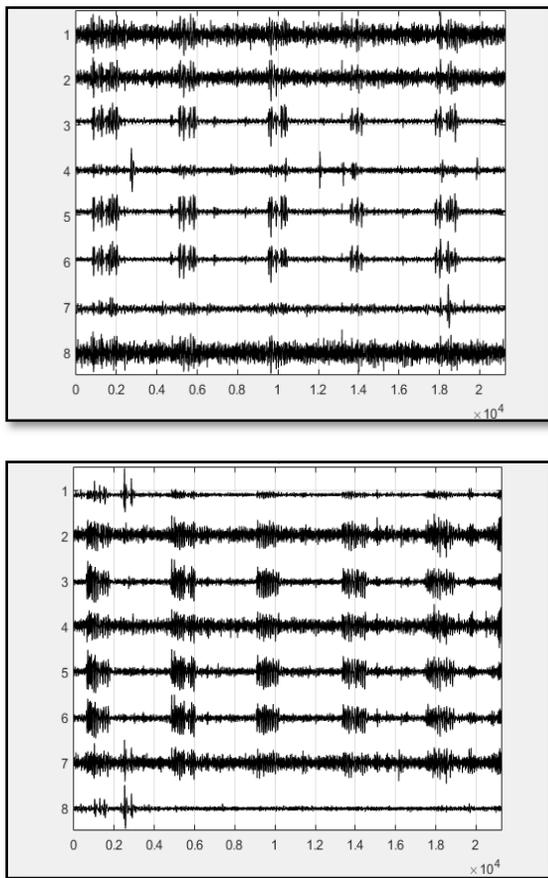
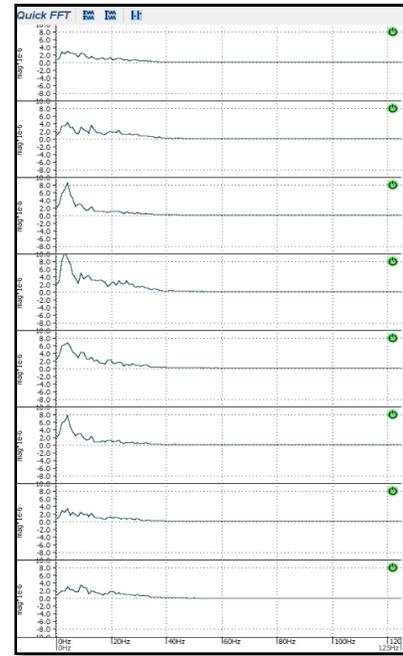
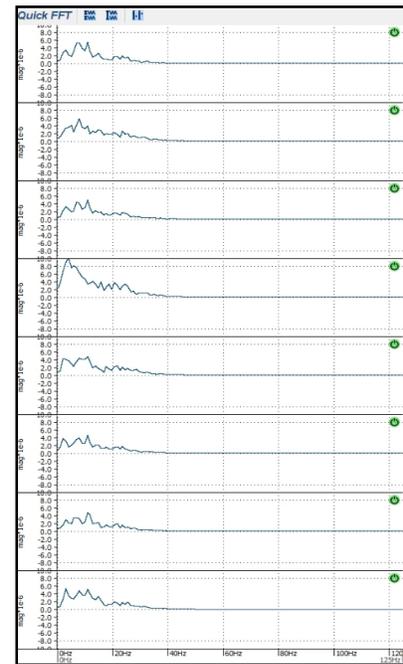


Figura 5. Señales en estado bruto de los datos, de dos participantes diferentes.



a) Participante en calma con ojos abiertos.



b) Participante en calma con los ojos cerrados.

Figura 6. Señal en calma de un mismo participante.

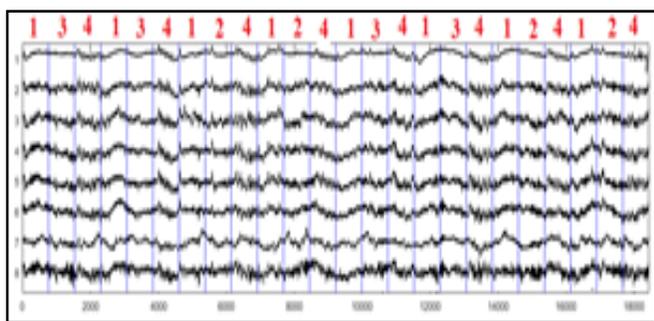


Figura 7. Grupo de señales adquiridas de la imaginación de movimiento de una persona.

Tabla 1. Rangos de las bandas de energía

Nivel	Banda de frecuencia (Hz)
6	2-4
5	4-8
4	8-16
3	16-32
2	32-64
1	64-128

Se debe destacar el estado de parpadeo. Este se asignó a manera de control, de tal forma que se pudiese aislar dicha acción solo a estos momentos, y que de esa forma no interviniese con el resto de las señales. Es decir, solo se permitía parpadear en estos instantes. La figura 8 muestra la huella de energía del pensamiento-acción del evento de parpadeo. Cabe destacar que esta señal es solo a modo de referencia.

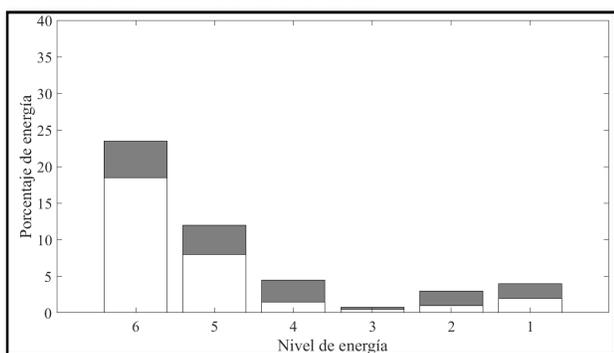


Figura 8. Huella de energía correspondiente al parpadeo. La desviación estándar se muestra en color gris.

El análisis de la señal correspondiente al estado de “descanso” se muestra en la figura 9. La huella de energía se extrajo de las ocho señales EEG del estado de

descanso del canal 2 (electrodo FC₁). Este estado originalmente consiste en 768 muestras en el tiempo, pero mediante la aplicación de la técnica, se reduce a una huella de seis muestras, sin pérdida de representatividad.

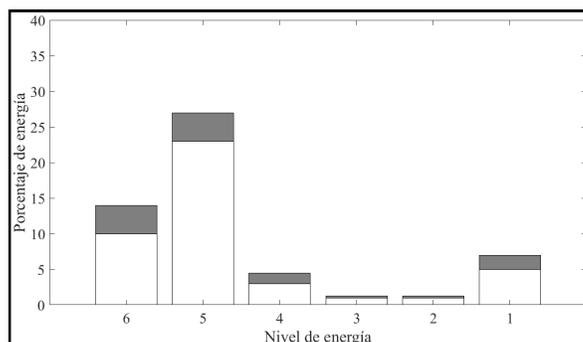


Figura 9. Huella de energía para el pensamiento Descanso. La desviación estándar se muestra en gris para cada nivel.

En la figura 10, se representan las huellas de energía para el pensamiento “derecha” (figura 8a) e “izquierda” (figura 8b).

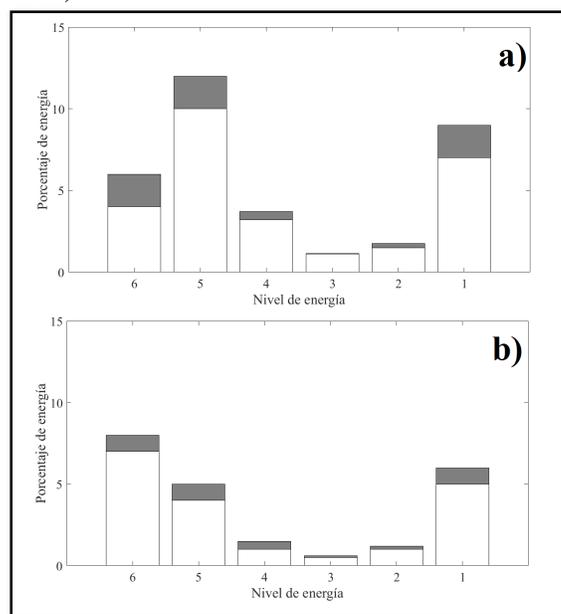


Figura 10. a) Huella de energía para “derecha”. b) Huella de energía para “izquierda”. Desviaciones estándar en gris.

Para las gráficas de la figura 10 a) y 10 b) se utilizaron solo cuatro señales EEG, tanto para la derecha como para la izquierda. Estas también provenían del canal 2. Es importante agregar, que este mismo análisis

se realizó para los otros siete canales, presentando diferencias apreciables entre estados de pensamiento. Al observar las huellas de energía para cada pensamiento, se concluye que se puede realizar una clasificación de cada uno de estos estados mediante la técnica propuesta.

5. Conclusión y discusión

Los resultados de la señal en su estado bruto demuestran que la señal eléctrica proveniente de los estados del pensamiento del individuo puede ser tratada con técnicas matemáticas que permiten la caracterización de señales. Para las gráficas de este tipo es necesario realizar más estudios tanto en la utilización de los sensores, con respecto al sistema 10/20, en cuanto a su ubicación; como adquirir datos de otros participantes y comparar los resultados.

Además, los resultados de este estudio indican que la aplicación del método de descomposición de bandas de energía para el análisis de las señales eléctricas obtenidas con un equipo BCI, son posibles; ya que se puede distinguir la banda de energía entre un evento y el otro. Sin embargo, hay que realizar más pruebas para diferenciar claramente entre la imaginación del movimiento de la mano derecha y la imaginación del movimiento de la mano izquierda.

Entre los trabajos futuros referentes al estudio, se pretende hacer una comparación de métodos para el análisis de las señales obtenidas con el equipo BCI, con miras a elegir el mejor método de análisis o una combinación de métodos; así como también controlar dispositivos en el entorno de un hogar, tales como abrir y cerrar puertas.

6. Agradecimiento

Agradecimiento a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación (SENACYT) por financiar el proyecto BCI N° 86-2016-4IDDS15-0994, "Desarrollo de un sistema domótico basado en una interfaz cerebro-máquina para dar soporte a personas con movilidad reducida"; dentro de la Convocatoria Pública de Fomento a I+D para el desarrollo sostenible (IDDS) 2015.

7. Referencias

- [1] R. P. N. RAO, Brain-Computer Interfacing: An Introduction, Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] J. R. Wolpaw and E. W. Wolpaw, Brain-Computer Interfaces, New York: Oxford.
- [3] J.-F. G. A. L. Claude Roberta, "Electroencephalogram processing using neural networks," *Clinical Neurophysiology*, vol. 113, p. 694–701, 2002.
- [4] B. A. a. G. P. Bernhard Graimann, "Brain-Computer Interfaces: A Gentle Introduction," *Brain-Computer Interfaces*, pp. 1-27, 2010.
- [5] F. V. Álvarez, A. F. Rodríguez, S. V. Moya and R. R. Angevin, "Control de una silla de ruedas mediante BCI," in *7° Simposio CEA de Bioingeniería 2015, Interfaces Cerebro-computador (BCI) y Tecnologías Asistenciales*, Málaga, 2015.
- [6] J. D. A. Molina and J. A. S. Tipán, Diseño e implementación de un prototipo Brain Computer Interface (BCI), para la manipulación de una pinza robótica utilizando comunicación bluetooth, Quito, 2014.
- [7] J. I. Serrano, M. D. D. Castillo, R. Raya, C. Bayón and E. Rocon, "BCI basado en la facilitación asociativa de la actividad cortical para el inicio de la marcha en Parálisis Cerebral," in *7° Simposio CEA de Bioingeniería 2015, Interfaces Cerebro-computador (BCI) y Tecnologías Asistenciales*, Málaga, 2015.
- [8] R. Hornero, R. Corralejo and D. Álvarez, "Brain-Computer Interface (bCI) aplicado al entrenamiento cognitivo y control domótico para prevenir los efectos del envejecimiento," *LYCHNOS*, no. 8, pp. 29-34, 2012.
- [9] N. U. A. Martínez, "Desarrollo de una interfaz máquina-cerebro con aplicaciones en robótica médica," Instituto Politécnico Nacional, México, D. F., 2011.
- [10] A. Lécuyer, F. Lotte, R. B. Reilly, R. Leeb, M. Hirose and M. Slater, "Brain-computer interfaces, virtual reality, and videogames.," *Computer*, vol. 41, pp. 66-72, 2008.
- [11] R. Navarro, "Instrumentación Biomédica Electroencefalografía. Departamento de Electrónica.," Universidad de Alcalá, Alcalá, España, 1998.
- [12] "MatLab," [Online]. Available: <https://la.mathworks.com/discovery/wavelet-transforms.html>. [Accessed 25 febrero 2018].
- [13] E. F. Khalaf, K. Daqrouq and M. Sherif, "Wavelet Packet and Percent of Energy Distribution with Neural Networks Based Gender Identification System," *Journal of Applied Sciences*, pp. 2940-2946, 2011.
- [14] I. Omerhodzic, S. Avdakovic, A. Nuhanovic and K. Dizdarevic, "Energy Distribution of EEG Signals: EEG Signal Wavelet-Neural Network Classifier".
- [15] C. Boya, M. Ruiz-Llata, J. Posada and J. A. Garcia-Souto, "Identification of Multiple Partial Discharge Sources using Acoustic Emission Technique and Blind Source Separation," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 22, pp. 1663-1673.
- [16] MathWorks, "Análisis Wavelet de 1-D MultiSignal," [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/wavelet/examples/multisignal-1-d-wavelet-analysis.html>. [Accessed 25 Julio 2018].
- [17] J. M. Morales, S. Romero, L. L. D. Stasi and C. Diaz-Piedra, "Plataforma para la monitorización de bioseñales en conductores," in *7° Simposio CEA de Bioingeniería 2015, Interfaces Cerebro-computador (BCI) y Tecnologías Asistenciales*, Málaga, 2015.

- [18] A. Nijholt, R. J. Jacob, M. Andujar, B. F. Yuksel and G. Leslie, "Brain-Computer Interface for Artistic Expression," 2018.
- [19] I. Kosunen, A. Ruonala, M. Salminen, S. Järvelä, N. Ravaja and G. Jacucci, "Neuroadaptive Meditation in the Real World," *BCIforReal '17 Proceedings of the 2017 ACM Workshop on An Application-oriented Approach to BCI out of the laboratory*, pp. 29-33, Marzo 2017.
- [20] A. Al-Cahalabi, M. Turner and S. Delamont, *The Brain*, New York: Oneworld Publications, 2006.
- [21] S. J., "Técnicas de toma de datos y análisis de Electroencefalografía.," Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2014.

Análisis biomecánico del pie protésico Bioc-dm2

Biomechanical Analysis of a prosthetic foot Bioc-dm2

Jhon Hernandez Martin^{1*}, Oscar Heli Bejarano¹, Edwin Yamith Martínez¹, Luis A. Parra Piñeros¹, Jairo Alberto Romero¹, Fran Eduard Perez¹, Phillipe Meziat Castro¹

¹Centro de Diseño y Metrología, Servicio Nacional de Aprendizaje, Colombia

*Autor de correspondencia: jhonmartin56@gmail.com

ABSTRACT– Walking is one of the aspects directly compromising human wellbeing, as it has a physical and emotional impact in daily life. For this study, we delve into the challenge of improving some walking conditions in a patient suffering lower limb loss, specifically at transtibial or transfemoral levels. Given that our purpose was the analysis, design and manufacture of a lower-limb prosthetic component, which fills the needs for functionality, it became necessary to build a foot with all the quality standards associated to each and all movements required to form the complex fundamental pattern of walking. Besides, this foot should also easily endure weight, daily use and physical characteristics of the patient object of this study. When performing physical validation and during human walk, a proper response is observed in terms of mechanics, materials and dynamics of the component, thus making evident proper construction and assembly. On the other hand, it is feasible that design and verification of the component provided a competitive element, as compared to existing elements currently in the market. The previous situation generated the need for verification from the National Institute for Medications and Food (INVIMA), as well as the revision of the use replying device, for component verification, in accordance with ISO 10328.

Keywords– *Biomechanical, gait analysis, foot, prosthesis, transfemoral.*

RESUMEN– La marcha humana es uno de los aspectos que comprometen directamente el nivel de bienestar del ser humano, además de impactar de manera emocional y física, también en el cotidiano vivir. Para este estudio nos encontramos inmersos en el reto de poder mejorar algunas condiciones de la marcha en un paciente que haya sufrido pérdida de miembros inferiores, específicamente a nivel transtibial o transfemoral. Dado que nuestro propósito fue el análisis, diseño y manufactura de un componente protésico de miembro inferior que supla las necesidades propias y de funcionalidad, es necesario construir un pie con todos los estándares de calidad que constituya todos y cada uno de los movimientos requeridos para formar el complejo patrón fundamental de la marcha; además que pueda soportar el peso fácilmente y el uso cotidiano además de las características físicas de nuestro paciente objeto de estudio. Al realizar la validación física y en la marcha humana, se observa una respuesta adecuada en términos mecánicos, de material de construcción y el dinamismo del componente, evidenciando la adecuada construcción y ensamble del componente. Por otro lado, podemos evidenciar que el diseño y la verificación del componente nos muestra un elemento competitivo, comparado con los elementos existentes en el mercado; Haciendo necesario la verificación ante Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos INVIMA, y la puesta en marcha del dispositivo replicador de uso, para la verificación del componente frente a la norma ISO 10328.

Palabras clave– *Biomecánico, análisis de marcha, pie, prótesis, transfemoral.*

1. Introduction

Human walk, configured as biped motion is one of the aspects emerging as a result of joining together a number of little physiological processes which, enable human body movement. For this particular case, the aforementioned function has been lost due to the amputation of a lower limb.

Along this research, it has been noted that prior to the implementation of any prosthetic component, it is necessary to assess the patient thoroughly both quantitatively and qualitatively. This will generate more

accurate diagnosis for the implementation of each component. Proper decision- making for the patient will increase the level of motor agility, stability and comfort, which are the characteristics for a proper walking pattern [1].

The most relevant factors which may, somehow affect walking function can be described as follows:

- Pathologic: injuries, trauma, amputation, and some type of neurological anomaly. For this case study we deal with lower limb amputation.

Citación: J. Martín, O. Bejarano, E. Martínez, L. Parra, J. Romero, F. Perez y P. Castro, “Análisis biomecánico del pie protésico Bioc-dm2”, *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 1, pp. (80-86), 2019.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 17 de septiembre de 2018. **Recibido con correcciones:** 16 de octubre de 2018. **Aceptado:** 29 de enero de 2019.

DOI <https://doi.org/10.33412/iddt.v15.1.2102>

Copyright: 2019 J. Martín, O. Bejarano, E. Martínez, L. Parra, J. Romero, F. Perez y P. Castro. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

- Physical intrinsic to the person: it is the most relevant factor when designing and implementing a prosthetic component, which corresponds to activity level, age and weight. For this case study it is a 1,75 m; 85-kilogram male, with a moderate level of activity, corresponding to level 3 [2].

Due to the research complexity posed by human walk, it is necessary that a group of professional staff performs an assessment of the patient. For this study, the group was formed by eight experts on orthosis and prosthetics areas, as well as physical therapists, who provide an ideal assessment of patient and his physical alterations [3].

Since there are several areas of work, as well as professionals in these areas, involved in this research, it becomes necessary for the whole work team to establish terms and concepts. For this reason, the first step consisted on the implementation of initial technical parameters which will be used for the manufacturing and assembly of the prosthesis and further adaptation to the patient.

Along this article we will show the development in manufacture of the foot, its analysis and validation, presenting a final product with high levels of acceptance from the patient. We will also observe the levels of proximity to normal patterns of walk for each of the measurements performed in component analysis.

2. General analysis of prosthetics

An interdisciplinary group of engineers, orthotists, prosthetists, physical therapists and some users was conformed for the design, manufacture and validation of the product. Using physical and biomechanical measurements, and with the help of patients, this team designed several solutions to select the prototype that best biomechanically and physically reproduces the behavior of walking, regarding balance and mass center, during biped walk under reasonable conditions [4, 5].

The prototype begins with the simulation and verification of walk under normal conditions of an average person with similar physical and behavioral conditions the those of the patient case of study. Hence the specific design parameters for prototype construction.



Figure 1. Support stage.



Figure 2. Gait analysis in balance stage.

After the walk analysis [6], and considering the physical parameters of the patient, reference parameters were extracted to implement the prosthetic component. Design parameters are shown below:

Table 1. Design parameters

PARAMETER	MEASUREMENT
Age	30-35 years
Foot size (wearing cosmesis)	34
Weight	85Kg (Max value)
Height	1,75 m
Activity level	3
Length of the stump	Medium third
Muscular strength	4
Length of the articulation	15 cm
Suggested weight for the whole component	1 kg (Max value)
Dorsiflexion	Normal up to 20°
Plantarflexion	Normal up to 50°

These prototype parameters were fully described in prior articles, as mentioned in [7, 8], so the analysis stage will be overlooked and we will proceed directly to the implementation stage [8].

Prior to the analysis of the prosthetic component, it was necessary to include a previous market research. In the field of applied research, several prototypes are available for prosthetic foot components, a number of which are currently under technical and commercial validation. Some of the cases for international reference are available in German universities and companies, who stand out for their technological advances.

Next, we describe some prosthetic components:

Fillauer's component presents a design incorporating a third carbon-compound spring and emphasizes on its higher quality due to their innovation on material science. The design is comfortable and smooth in each stage of the step cycle.



Figure 3. Fillauer's external foot prosthesis with impact buffer/ Dynamic reaction [9].

Another reference is the one built by Mercurius Company, a technological (spin-off) branch of the University of Munich (fig. 3). Their NextStep proposal implements CAD digital adaptation technology, through their Mercuris (beta) platform, along with 3D printing, supplied by a certified German dealer. Another relevant aspect in this model is the speed of costume-made assembly and validation, which aims at having a completely finished product within 48 hours.



Figure 4. 3D printed foot prosthesis [10].

3. Full articulation assembling

Assembly was carried out following the required protocols for each material and bearing as an objective that the prototype was not designed to be an exhibition model, but a functional one, as proven in the biomechanical analysis in the "findings" section.

Prototype building and construction was clearly described in previous articles, therefore, this topic will not be addressed in order to show the final result, which was used for the biomechanical verification of the component [11]. It is worth noting that there was a validation process along the design stage, by using the analysis through finite elements was carried out in the SolidWorks software, in which static and dynamic studies were carried out with similar parameters to our patient object of study, On the other hand, acrylic resin was chosen as coating, due to the crew's experience with its use and its compliance with the required characteristics of resistance; adding, using the analysis through finite elements was carried out in the SolidWorks software, in which static and dynamic studies were carried out with similar parameters to our patient object of study [12].

The layout of the raw material and the geometric orientation of the layers of carbon fiber for each of the pieces is given as follows:

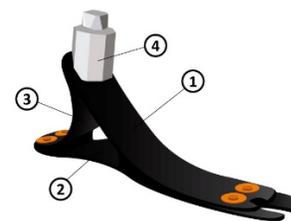


Figure 5. Foot design (1 instep; 2 sole; 3 keel; 4 adapter).

The layout of the material and its geometric orientation are described in the following table. 100 grams of acrylic resin were used for pieces manufacturing.

Table 2. Construction and geometric layout of the component; FC90: Carbon Fiber at 90°; FC45: Carbon fiber at 45°

Piece/procedure	1	2	3	4	5	6
Instep	FC45	FC45	FC90	FC90	FC45	FC90
Sole	FC45	FC45	FC90	FC90	FC45	FC90

Anterior spring	FC45	FC45	FC90	FC90	FC45	FC90
Adapter	Duralumin					

After the molding and manufacture, the final result is a functional component that meets the needs for the patient object of this study.



Figure 6. BIOC-DM2.

Next, we present the results of the bio-mechanic analysis performed on the component.

4. Analysis and results by using biomechanics analysis

The information presented was acquired experimentally at the gait laboratory of the Center for Design and Metrology (Centro de Diseño y Metrología), affiliated to the School of Orthopedic Technology. The laboratory was calibrated using Auto-Calc, which validates the information supplied by both; gauge and cameras.

Two studies were performed to describe the component performance. First corresponds to physical analysis consisting on platform measurement of forces, which will determine forces, gain, angle, and spatiotemporal parameters, for each of the morphological parts of the body influencing biped walk for the patient.

Results after the analysis are shown in table 3. It is worth noting that the prototype is accurately aligned, since it properly generates load vectors associated to each body part and the movements in each stage of gait.

Clarifying, only the most relevant results are presented, since the whole analysis is too deep and thoroughly covers each of the articulations in the body; for this reason, we only include the articulations relevant for the use of the prosthesis object of this study

Table 3. Construction and geometrical layout of the component

Parameters to be measured	Right leg	Left leg
Balance time (s)	0,45 ± ,02	0,45 ± ,02
Support time (s)	0,93 ± ,01	0,89 ± ,03
Support stage (%)	67,16 ± ,45	66,2 ± ,6
Balance stage (%)	32,84 ± 1,45	33,68 ± ,61
Step duration (s)	1,38 ± ,01	1,35± ,05
Knee Flex-extension (degrees)	4,3 ± ,2	12,9± ,4
Ankle Dors-plantiflexion (degrees)	-4,6 ± ,1	-4,2 ± ,2
Foot progression (degrees)	-6,1 ± ,2	-12 ± ,1

4.1 Discussion

Analyzing the results obtained, it is feasible that values do not correspond to exact numbers, but a range, since the walking function varies depending on several physical and behavioral factors, proper to each patient.

From the results, we see that the figures in both the amputated leg and the whole leg are quite near. Likewise, range variations are also within the functional parameters for the patient.

The parameters obtained are based on the results generated in the software, they are not presented in a percentage way but in a quantitative way so as not to damage and alter the study.

The difference in the flexion - extension angle is generated due to the dynamism of the construction materials of the prototype.

The results shown graphically and numerically, are reflected in the figures [8, 9, 10] in the same way as that shown in the table [3].

The second performance analysis, corresponds to kinematic validation, which is based on the acquisition of data using retro reflecting sensors, strategically located in the patient's articulations. Sensor layout is shown in the image.

After performing the required captures of patient walk, we see an appropriate response from the prosthetic component regarding manufacture and functionality.



Figure 7. Retro reflecting markers attached to patient object of study.

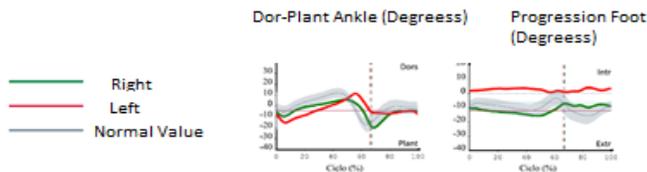


Figure 8. Cinematic analysis for ankle and foot.



Figure 9. Kinematic analysis for ankle and foot.

The ankle and foot will be specifically assessed for this analysis; all other articulations have movements rather approximate to proper walk, so the analysis will be based exclusively on the aforementioned ones.

The first image of figure 9 shows a high value in the force vector received by the prosthesis. This value corresponds to an energy return in the compound material and the dynamics of the component itself [13], as the material used for manufacturing poses energy return properties; however, this level is not too high because there are not any muscles to generate the ideal force.

The first image of figure 11 corresponds to muscular potential of the hip, which is in turn correlated to the muscular potential of the whole lower limb. This figure shows total muscular activation of the leg, generating proper extension and contraction.

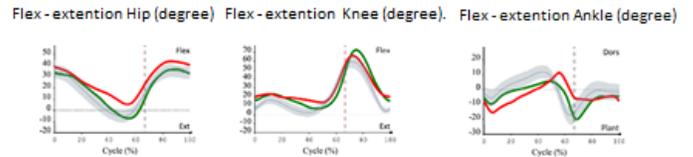


Figure 10. Kinematic analysis for hip and ankle.

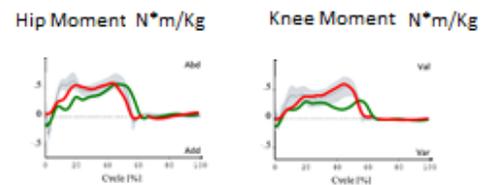


Figure 11. Kinematic analysis for hip and knee momentum.

Out of a general analysis, it is possible to conclude that prosthetic limb performance is rather same to that of a sound limb, and in some of the charts there even is a lineal graph, rather than a curve. This occurs because the manufacturing material makes the component stiff without any methods for direct dispel, as the individual muscles conforming the foot would provide.

Finally, the balance phase of the prosthesis behaves ideally. However, the inability for movement on the negative axis of the instep, due to the lack of extensor muscles on the foot, maintains the whole load on the leg, rather than the foot. For this reason, it is necessary to implement higher rigidity values in the anterior spring to dispel this effect and distribute the load.

Another relevant factor is the proper alignment of the component in the patient, since this setting enables efficient load distribution and the consequent reflection in the walking function.

5. Legal Framework

The legal frame is given by the possibility of validating the product by INVIMA (National Institute for Medications and Food) standards, the revision of the product with ISO 10328 and the possibility to build a device which validates all 30.000 use cycles of the component.

The implementation of new technologies for manufacturing, adapting and installing prosthesis and

orthosis in patients is somehow limited by Colombian regulations from manufacturing to the final user of these components. The General System of Social Security and Health, with Bill 5592, 2015 regulates technical assistance requiring the implementation of prosthesis or orthosis for users affiliated to Health Promoting Entities (EPS). This bill grants the users to receive prosthesis or orthosis complying with low process, and therefore lower quality and resistance, without determining the possible variables for adaptability of the user and appropriate functioning of the element; for this reason, this bill restricts innovation and implementation of new technologies by directing the market to the manufacture of prosthesis and orthosis compliant with the technical characteristics required by the EPS.

In view of the previous, new regulations are required to allow the implementation of new technologies, oriented to innovation and new forms of adaptability for people who require prosthesis or orthosis, working hand in hand with users. This joint work should enable inclusion and the elimination of the word “disability”, thus determining that this item in healthcare is not another line in the business of Colombian health emporiums. It would also facilitate compliance with all technical and legal regulations to receive the INVIMA approval on our component.

6. Conclusions

- The final element complies with all initial functionality protocols, it fully solves both physical and movement parameters for the patient case of this study.
- The follow up on this analysis is providing the element with the 30.000 use cycles required to validate the prototype commercially and industrially, in accordance with ISO 10328, and thus implement the component massively.
- Regardless of the static and dynamic analysis of the component, it becomes necessary to implement test specimens for each of the materials used (ASTM E8). This test is justified in that the component must ensure a lifespan of around three years, so it must be subject to tension and compression stress analysis, which will provide a level of certainty and quality closer to that of the actual use.
- After the construction and assembly of the component, exhaustive training is required from the patient, as dynamic behavior makes it difficult to

recognize and this may lead to a difference with components frequently used.

7. Funding

Scientific research article, derived from the research project entitled: “Design and construction of a system for collecting and adapting myoelectric signals for electro-mechanic ankle control in transfemoral prosthesis (“Diseño y Construcción de sistema de recolección adaptación de señales Mioelectricas para control de tobillo Electromecánico en prótesis Transfemoral”), financed do by National Learning Service - SENA-Center for design and metrology SENNOVA (“Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA- Centro de Diseño y Metrología - SENNOVA”). Starting year: 2018.

8. References

- [1] A. I. A. Mendoza, T. J. B. Santamaria, V. G. Urrego, J. P. R. Restrepo, and M. C. Z. García, "Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura.(Gait: description, methods, assessment tools and normality parameters reported in the literature)," *CES Movimiento y Salud*, vol. 1, no. 1, pp. 29-43, 2013.
- [2] L. E. C. Bravo, J. A. T. Ortiz, and L. F. V. Tamayo, "Análisis Biomecánico de Marcha Humana a Través de Técnicas de Modelaje," *Entre Ciencia e Ingeniería*, no. 12, pp. 29-35, 2014.
- [3] C. E. Shell, A. D. Segal, G. K. Klute, and R. R. Neptune, "The effects of prosthetic foot stiffness on transtibial amputee walking mechanics and balance control during turning," *Clinical Biomechanics*, vol. 49, pp. 56-63, 2017.
- [4] S. Debta and K. Kumar, "Biomedical Design of Powered Ankle-Foot Prosthesis—A Review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 2, pp. 3273-3282, 2018.
- [5] C. L. McDonald, P. A. Kramer, S. J. Morgan, E. G. Halsne, S. M. Cheever, and B. J. Hafner, "Energy expenditure in people with transtibial amputation walking with crossover and energy storing prosthetic feet: A randomized within-subject study," *Gait & posture*, vol. 62, pp. 349-354, 2018.
- [6] A. D. Segal, M. S. Orendurff, J. M. Czerniecki, J. Schoen, and G. K. Klute, "Comparison of transtibial amputee and non-amputee biomechanics during a common turning task," *Gait & posture*, vol. 33, no. 1, pp. 41-47, 2011.
- [7] J. Hernández, L. A. Parra, and G. Mendieta, "Analysis and design of transtibial prosthesis," in *Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON), 2017 CHILEAN Conference on*, 2017, pp. 1-5: IEEE.
- [8] J. A. H. Martin, L. A. P. Piñeros, C. A. P. Pinzón, O. H. B. Peña, J. A. R. Gutiérrez, and P. E. G. Benavides, "Diseño y manufactura de pie Protésico," in *Memorias de Congresos UTP*, 2017, pp. 127-131.
- [9] A. F. Mak, M. Zhang, and D. A. Boone, "State-of-the-art research in lower-limb prosthetic biomechanics-socket interface: a review," *Journal of rehabilitation research and development*, vol. 38, no. 2, pp. 161-174, 2001.
- [10] C. Lunsford, G. Grindle, B. Salatin, and B. E. Dicianno, "Innovations with 3-dimensional printing in physical medicine

- and rehabilitation: a review of the literature," *PM&R*, vol. 8, no. 12, pp. 1201-1212, 2016.
- [11] J. A. Kent, N. Stergiou, and S. R. Wurdeman, "Dynamic balance changes within three weeks of fitting a new prosthetic foot component," *Gait & posture*, vol. 58, pp. 23-29, 2017.
- [12] D. Rusaw and N. Ramstrand, "Sagittal plane position of the functional joint centre of prosthetic foot/ankle mechanisms," *Clinical Biomechanics*, vol. 25, no. 7, pp. 713-720, 2010.
- [13] J. D. Ventura, G. K. Klute, and R. R. Neptune, "The effect of prosthetic ankle energy storage and return properties on muscle activity in below-knee amputee walking," *Gait & posture*, vol. 33, no. 2, pp. 220-226, 2011.



Proceso de diseño del *software* para un modelo de la calidad en Cuba

Process of software design for a model of quality in Cuba

Leanet Tamayo Oro ^{1*}, Yoandy Lazo Alvarado ², José Felipe Ramírez Pérez ¹

^{1,2} Departamento de Consultoría y Evaluación a Procesos, Centro Nacional de Calidad de Software (CALISOFT), Cuba

¹ Centro de desarrollo CECIN, Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), Cuba

*Autor de correspondencia: leanet.tamayo@calisoft.cu

RESUMEN— El crecimiento de la industria del *software* precisa que las empresas opten por elevar la calidad de los productos que ofertan, entregándolos en menor tiempo y reduciendo sus costos. Aplicar buenas prácticas en el diseño garantiza calidad en el producto final y mejorar indicadores de rendimiento del proceso. En este contexto se han definido normas y modelos de referencia, que presentan una estrategia de trabajo progresiva para la maduración del proceso de desarrollo de *software*. Cuba cuenta con un modelo aplicable al contexto del país y que toma como base las buenas prácticas de los modelos y normas de referencia, titulado Modelo de la Calidad para el Desarrollo de Aplicaciones Informáticas (MCDAI). La presente investigación, propone un conjunto de requisitos, a incorporarse al MCDAI, que sintetiza las buenas prácticas de gestión de reutilización en el proceso de Diseño del producto de *software*. La propuesta incluye una descripción gráfica y textual del proceso, que facilita el cumplimiento de los requisitos, así como los roles involucrados. También se define un sistema de indicadores que permite medir la utilidad y el nivel de implementación del proceso. Este proceso fue sometido a grupos focales y a encuesta de satisfacción de usuarios potenciales para comprobar la utilidad y aplicabilidad de la propuesta y a proyectos pilotos para comprobar que la misma se encuentre apta para extenderse a la industria cubana de *software*.

Palabras clave—Diseño, reutilización, modelo de la calidad, desarrollo de la solución.

ABSTRACT— The growth of the software industry requires that companies choose to raise the quality of the products they offer, delivering them in less time and reducing their costs. Applying good practices in design guarantees quality in the final product and improves performance indicators of the process. In this context, reference standards and models have been defined, which present a progressive work strategy for the maturation of the software development process. Cuba has a model applicable to the context of the country and based on the good practices of reference models and standards, entitled Quality Model for the Development of Computer Applications (MCDAI). The present research proposes a set of requirements to be incorporated into the MCDAI, which synthesizes the good practices of reuse management in the software product design process. The proposal includes a graphic and textual description of the process, which facilitates compliance with the requirements, as well as the roles involved. A system of indicators is also defined to measure the utility and the level of implementation of the process. This process was submitted to focus groups and a satisfaction survey of potential users to verify the usefulness and applicability of the proposal and pilot projects to verify that it is suitable to be extended to the Cuban software industry.

Keywords— Design, reuse, quality model, solution development.

1. Introducción

La competitividad en el mercado de la industria del *software* exige a las empresas elaborar productos que satisfagan las necesidades de las partes interesadas, en menos tiempo de desarrollo, con bajos costos y elevados estándares de calidad [1-3]. Para alcanzar estos propósitos se adoptan modelos y normas internacionales, los cuales ofrecen una estrategia de trabajo progresiva que contribuye, a largo plazo, a mejorar los indicadores de rendimiento de los procesos de desarrollo de *software* [4-11]. Cuba cuenta con un Modelo de la Calidad para el Desarrollo de Aplicaciones Informáticas (MCDAI) el

cual tiene como propósito que sea fácil de entender y aplicar, y que sirva de base para alcanzar evaluaciones futuras en otros modelos de referencia internacional [12].

El proceso de diseño del producto juega un papel fundamental en la calidad final del mismo. Esta afirmación la corrobora Pressman al expresar: “Tanto la calidad como la facilidad de recibir mantenimiento son resultado de un buen diseño” [13].

Los modelos y normas internacionales proponen un conjunto de buenas prácticas para el diseño del *software* entre la que se encuentra la reutilización de activos principales de *software* [4].

Citación: L. Tamayo, Y. Lazo y J. Ramírez, “Proceso de diseño del software para un modelo de la calidad en Cuba”, *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 1, pp. (87-98), 2019.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 4 de octubre de 2018. **Recibido con correcciones:** 26 de noviembre de 2018. **Aceptado:** 26 de noviembre de 2018.

DOI <https://doi.org/10.33412/idt.v15.1.2103>

Copyright: 2019 L. Tamayo, Y. Lazo y J. Ramírez. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Los autores de la presente investigación concuerdan con [14-16] al afirmar que incorporar buenas prácticas para la reutilización de *software* en el proceso de diseño es una posible solución para dar respuesta a un mercado que exige productos cada vez más fiables, baratos y entregados a tiempo.

La reutilización de *software* es el proceso de crear sistemas de *software* a partir de un *software* existente. El enfoque de la reutilización ha variado desde una perspectiva individual (donde se reutiliza código fuente cuando es necesario), hacia una oportunista donde se cuenta con un repositorio de componentes que son reutilizados una vez surja una necesidad, hasta una reutilización gestionada donde el proceso de creación de componentes reutilizables se realiza de manera institucionaliza, sistematiza, planifica y mejora [15, 17].

Este enfoque es el utilizado por las líneas de productos de *software*, la cual se define como un grupo de sistemas de *software* que comparten un conjunto común y gestionado de características para satisfacer las necesidades específicas de un segmento de mercado o misión particular y se desarrollan a partir de un conjunto común de activos principales de forma prescrita [18].

Organizaciones reconocidas como: Hewlett-Packard, Cummins, Inc., General Motors, CelsiusTech, Rockwell-Collins, Motorola, Philips, Nokia, Boeing, Raytheon y Salion, Inc., han adoptado el enfoque de líneas de productos y refieren obtener mejoras competitivas en atributos de la calidad (modificabilidad, testabilidad, usabilidad y adaptabilidad de los productos y servicios que brindan), reducción de tiempo de desarrollo, que permitió la disminución de los gastos y el aumento del índice de satisfacción de los clientes, entre otras [4, 19].

El enfoque de reutilización en Cuba por lo general no está dirigido al desarrollo de líneas de producto de *software*. En un diagnóstico realizado en el 2014 a una muestra de catorce (14) organizaciones desarrolladoras de *software*, se identificó que el 66,98% de las mismas dirigen su producción a un segmento de mercado, sin embargo, las buenas prácticas de gestión de la reutilización, identificadas en [7, 18, 20, 21], no se implementan en el 49% y se implementan parcialmente en el 33%. Los resultados del diagnóstico también permitieron identificar que el 52,24% de los proyectos se entregaron fuera de tiempo, el 16,42% no cumplieron la totalidad de los requisitos pactados con el cliente, el 50% no analizan alternativas de solución a partir de

componentes reutilizables y el 65% no registra las principales decisiones arquitectónicas [22].

Las empresas que conforman la naciente Industria de Servicios y Aplicaciones Informáticas en Cuba, están clasificadas mayoritariamente por pequeñas y medianas empresas de *software* (PYME) en un 57%, el 22% se consideran grandes empresas y el 21% micro empresas, de acuerdo con el criterio que plantean varios autores donde las empresas según la cantidad de empleados se clasifican en: micro empresas de 1 a 9 trabajadores, pequeñas empresas de 10 a 49 trabajadores, medianas empresas de 50 a 199 trabajadores y gran empresa, superior a 200 trabajadores [23, 24].

En noviembre de 2017 se aplicó otro estudio a una muestra en ocho organizaciones desarrolladoras de *software* en Cuba, con la finalidad de profundizar en el comportamiento del proceso de diseño del *software* y las actividades de gestión de reutilización que incorporan, aplicando las técnicas entrevista, observación y encuesta. Los resultados permitieron identificar que: el 92% no define una arquitectura de dominio que tenga en cuenta los elementos comunes y variantes para la familia de aplicaciones, el 97% no evalúa la arquitectura, el 69% no aplica un programa que gestione el desarrollo de activos reutilizables, el 65% no evalúa las oportunidades de reutilización a partir de activos de dominio desarrollados, ni identifican los esfuerzos de adaptación, creación o adquisición de nuevos activos y el 90% no cuenta con un repositorio de activos reutilizables.

A partir de las dificultades antes expuestas se plantea la necesidad de elaborar un proceso de Diseño del Producto de *Software* para el MCDAI, que incorpore buenas prácticas de la gestión de reutilización para ayudar a mejorar los indicadores de rendimiento del proceso de la Industria de Aplicaciones y Servicios Informáticos en Cuba.

2. Materiales y métodos

Los autores de la presente investigación realizaron una revisión bibliográfica con el propósito de identificar las buenas prácticas a tener en cuenta en el diseño del *software* y la reutilización en los siguientes modelos y normas [9], [10], [7], [11], [6] y [20] y en los artículos [13-16, 19]. En la tabla 1 se muestra un resumen de las buenas prácticas identificadas, constituyendo la base para la propuesta de la presente investigación.

En el caso de los modelos CMMI-DEV, MoProSoft y COMPETISOFT presentan las bases para desarrollar con

reutilización (definición y descripción de interfaces, análisis de alternativas de solución, análisis de si hacer/reutilizar/adquirir), pero no tienen el enfoque gestionado de la reutilización.

Tabla 1. Buenas prácticas del diseño del *software* (fuente: elaboración propia)

Buenas prácticas	CMMI-DEV	MPS.Br	MoProSoft	COMPETISOFT	ISO/IEC /IEEE	
					12207	15288
Diseñar y documentar el producto o componente de producto	x	x	x	x	x	x
Diseñar interfaces internas y externas	x	x	x	x	x	x
Seleccionar soluciones alternativas	x	x		x	x	x
Realizar análisis sobre si hacer-reutilizar o comprar	x	x		x	x	x
Definir la arquitectura de dominio teniendo en cuenta los elementos comunes y variantes		x			x	x
Gestionar un programa de gestión de reutilización		x			x	x
Gestionar la biblioteca de activos reutilizable		x			x	x

Las normas ISO/IEC/IEEE 12207 y 15288, proponen un proceso de gestión del conocimiento que impulsa la gestión de reutilización de activos de *software*. El MPS.Br propone un área de gestión de reutilización y una de desarrollo para la reutilización donde se separan las actividades de gestión, infraestructura y alineación estratégica con los objetivos de negocio, con las actividades ingenieriles necesarias para el desarrollo de activos reutilizables. Teniendo en cuenta lo antes descrito se decidió realizar una propuesta propia que indique “qué” hacer para diseñar el producto incorporando paulatinamente prácticas para la gestión de la reutilización y ejemplificando “cómo” ponerla en práctica mediante un proceso que contiene actividades y roles asociados, así como un conjunto de indicadores que ayuden a medir y mejorar el proceso propuesto.

Para la elaboración de la propuesta se convocaron 12 especialistas de más de ocho años de experiencia en los roles de jefe de proyecto, arquitecto y desarrollador. posteriormente se realizó un análisis, basado en el método grupo focal, con el propósito de definir los requisitos que serían incluidos en la propuesta como parte del modelo MCDAI, teniendo en cuenta las buenas prácticas identificadas (ver tabla 1) y las incidencias de estas sobre los problemas detectados. Los requisitos identificados fueron agrupados por los niveles de madurez que plantea el MCDAI: Básico, Intermedio y Avanzado [12], lo cual permite que la propuesta pueda ser adoptada de forma escalonada, incorporando pequeñas mejoras en las organizaciones.

3. Resultados

Como resultado de la investigación se decidió incorporar buenas prácticas del diseño del *software* y de gestión de reutilización al Proceso Base Desarrollo de la Solución (DS) del MCDAI, ya que el mismo tiene como propósito: seleccionar y evaluar soluciones a partir de alternativas existentes. Diseñar, implementar y ensamblar los componentes que forman parte de la solución para dar cumplimiento a los requisitos. Identificar oportunidades de reutilización sistemática de activos de *software* y desarrollar activos a partir de ingeniería de dominios.

Para cumplir con este propósito se definieron los siguientes requisitos separados por niveles de madurez.

Requisitos para el nivel básico

D 1 Identificar soluciones (Identifica y registra las decisiones arquitectónicas, las cuales comprenden: soluciones tecnológicas, patrones y estilos arquitectónicos, entre otras necesarias para realizar el producto).

D 2 Diseñar el producto o el componente de producto. (Realiza el diseño estructural de acuerdo a las decisiones tomadas para satisfacer los requisitos de las partes interesadas pertinentes).

Requisitos para el nivel intermedio

D 1.1 Evaluar las posibles soluciones aplicables. (Realiza el análisis de alternativas de solución y registra los criterios y la decisión tomada, analiza además si es mejor desarrollar un componente de producto, reutilizar o adquirirlo en el mercado).

D 2.1 Definir y describir interfaces. (Identifica y registra las interfaces entre los componentes del sistema y los externos al mismo).

Requisitos para el nivel avanzado

D 1.2 Evaluar las posibles soluciones aplicables a partir de activos reutilizables. (Encargado de analizar el esfuerzo de adopción, modificación o creación de activos de dominio a partir de la biblioteca de activos reutilizables).

D 8 Desarrollar en función de la reutilización de activos de *software*. (Encargado de definir una arquitectura de dominio que a partir del modelo de variabilidad escogido que indique los elementos comunes y variantes para la familia de aplicaciones).

Como parte de la solución, se propone los procesos (Diseño del producto e identificación de soluciones aplicables) que facilita a las entidades la implementación de los requisitos; no es de obligatorio cumplimiento sino una guía que se puede adecuar a las condiciones de cada entidad. Debido a la amplitud de la solución propuesta, se muestra a continuación una breve descripción de los procesos.

Las actividades de reutilización se van incorporando paulatinamente en el proceso, en el nivel básico, se fomenta el registro de las tecnologías y la identificación de componentes que se pueden reutilizar en futuros desarrollos (para que de manera individual los desarrolladores puedan reutilizar los elementos de la arquitectura que consideren necesario), en el nivel intermedio se incorpora la identificación y descripción de las interfaces, fomentando un principio básico del desarrollo basado en componentes como son la modularización, abstracción y ocultación de información, que además constituye la base para la gestión de reutilización, en el nivel avanzado se propone que se aplique ingeniería de dominio e ingeniería de aplicaciones para el desarrollo de los componentes del producto, donde en un flujo de actividades, se definen los elementos comunes y variantes para la familia de aplicaciones en la arquitectura de dominio, así como la estructura de datos e interfaces estándares, en el otro flujo se realiza ingeniería de aplicaciones donde se contextualiza la arquitectura de dominio para un cliente específico, teniendo en cuenta las variabilidades exigidas como parte de sus requisitos.

3.1 Proceso de Diseño del Producto

A continuación, se presenta la descripción gráfica y textual del Proceso Diseño del Producto ver figura 1:

Actividad 1: Obtener la estructura de los elementos del sistema.

El Comité técnico / Arquitecto teniendo en cuenta las necesidades, el alcance y los objetivos del proyecto definidos en la “Oferta” y/o “Proyecto técnico”:

- Identifica los principales componentes del producto y realiza su representación estructural a un alto nivel de abstracción, determinando las relaciones existentes entre los elementos que lo componen.
- Se obtiene como resultado de la ejecución de esta actividad la “Oferta” y/o “Proyecto técnico” / Propuesta técnica inicial (actualizada).

Actividad 2: Identificar la arquitectura base.

El arquitecto teniendo en cuenta la propuesta técnica inicial definida en la “Oferta” y/o “Proyecto técnico” y la “Especificación de requisitos”:

- Define los atributos de la calidad y requisitos funcionales que impactan en la arquitectura.
- Realiza la priorización de las unidades funcionales.
- Determinan los componentes que funcionan como plataforma del sistema que será desarrollado y que sirve como base para futuras implementaciones.
- Se obtiene como resultado de la ejecución de esta actividad la “Arquitectura del sistema”.

Actividad 3: Refinar la estructura de los elementos del sistema.

El arquitecto teniendo en cuenta la propuesta técnica inicial definida en la “Oferta” y/o “Proyecto técnico”, la “Especificación de requisitos”, el “Modelo conceptual” y las partes interesadas definidas en el “Plan de desarrollo”:

- Refina la descomposición del sistema en módulos o componentes, en dependencia del tamaño y complejidad del mismo y teniendo en cuenta las soluciones aplicables como son las tecnologías, estilos arquitectónicos, patrones entre otros.
- Determina los datos persistentes que se necesitan manejar en el sistema e identifica el modelo de datos.
- Define la estructura de los nodos físicos como apoyo al despliegue del sistema.

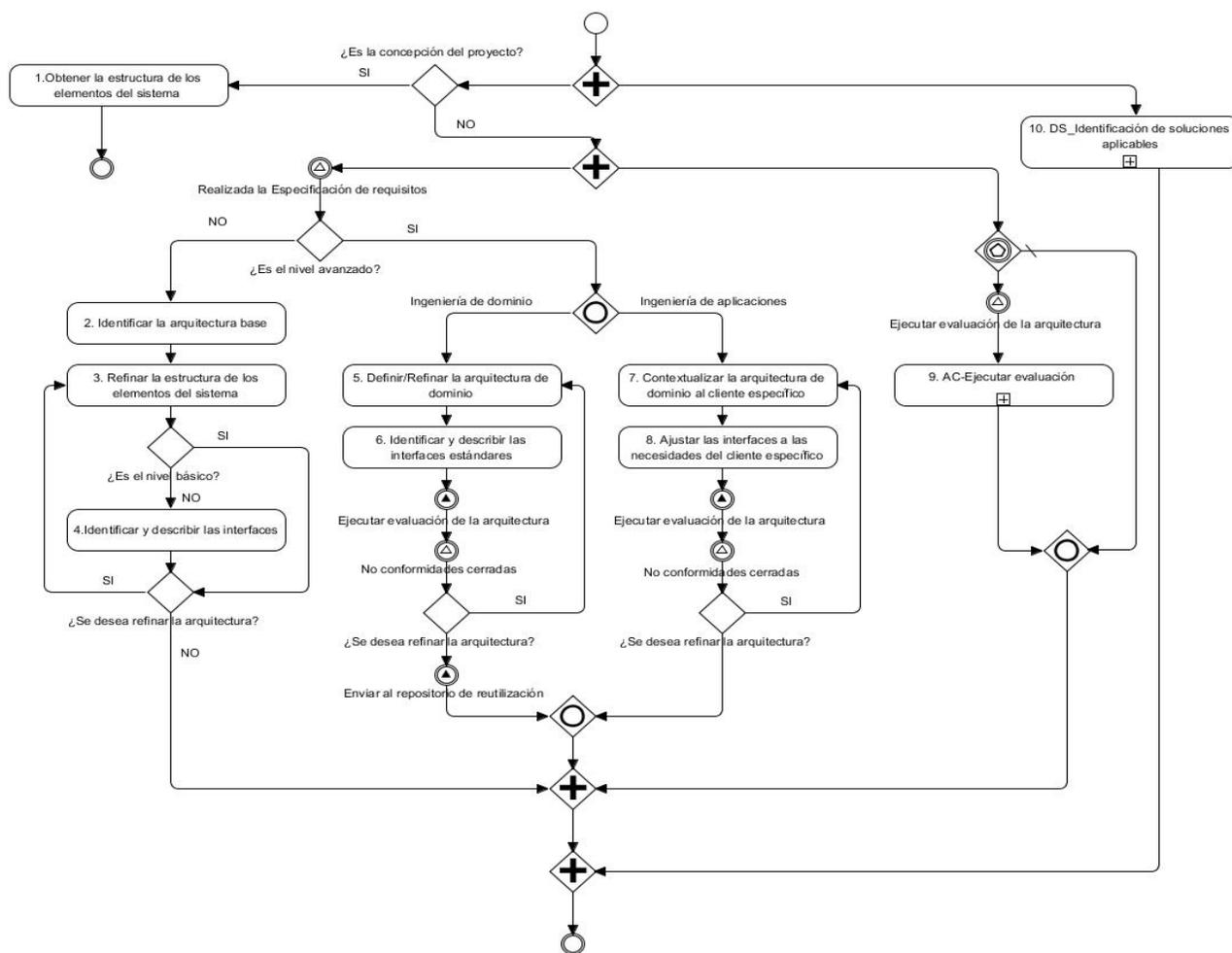


Figura 1. Descripción gráfica del proceso diseño del producto. Fuente: elaboración propia.

- Se obtiene como resultado de la ejecución de esta actividad la “Arquitectura del sistema” / Estructura de los elementos del sistema.

Actividad 4: Identificar y describir las interfaces.

A partir de la “Especificación de requisitos” y la “Arquitectura del sistema”:

- El arquitecto define y describe las interfaces entre los componentes del sistema (internas), y las interfaces con componentes externos al mismo para controlar los elementos de entrada/ salida y garantizar la integración con elementos externos y con el resto de los componentes del sistema.
- El Diseñador identifica y describe las interfaces con los usuarios del sistema de manera tal que se cumplan los requisitos de usabilidad aplicables.
- Se obtiene como resultado de la ejecución de esta actividad la “Arquitectura del sistema” / Descripción de interfaces (actualizada).

Actividad 5: Definir/Refinar la arquitectura de dominio.

En el nivel avanzado, el Comité técnico / Arquitecto teniendo en cuenta la propuesta técnica inicial definida en la “Oferta” y/o “Proyecto técnico”, la “Especificación de requisitos”, las partes interesadas definidas en el “Plan de desarrollo” y el estilo arquitectónico estándar y la plataforma tecnológica definidas en la “Arquitectura de dominio”:

- Determina las vistas arquitectónicas que se van a desarrollar, de acuerdo a los puntos de vista necesarios para satisfacer a las partes interesadas en posibles entornos específicos. Ejemplos: vista lógica, vista de datos, vista de infraestructura, vista de procesos, entre otras.
- Define/Refina la estructura estándar del sistema e identifica los componentes que van a ser comunes y variantes, opcionales u obligatorios para toda la

familia de aplicaciones. Ejemplo de vista a utilizar: vista de lógica (la misma puede incluir el diagrama de paquetes con la descomposición del sistema, la descripción de cada elemento y sus relaciones, entre otros elementos).

- Determina los datos persistentes que se necesitan manejar en el sistema y se apoya en el “Modelo conceptual”, para definir el modelo de datos estándar. Ejemplo de vista a utilizar: vista de datos (la misma puede incluir el diagrama entidad-relación y el modelo de datos).
- Se obtiene como resultado de la ejecución de esta actividad la “Arquitectura del dominio” / Vista arquitectónicas (creadas).

Actividad 6: Identificar y describir las interfaces estándares.

A partir de la “Especificación de requisitos” y la “Arquitectura del dominio”:

- El arquitecto define y describe las interfaces estándares entre los componentes de la familia de aplicaciones (internas), y las interfaces con componentes externos, para controlar los elementos de entrada-salida y garantizar la integración con el resto de los componentes, donde se especifica los elementos comunes y variantes, opcionales u obligatorios.
- El Diseñador identifica y describe las interfaces para posibles usuarios de la familia de aplicaciones como un marco de trabajo común, de manera que se cumplan los requisitos de usabilidad aplicables.
- Se obtiene como resultado de la ejecución de esta actividad la “Arquitectura de dominio” / Vista de integración (creada) / Vista de Presentación (creada).

Actividad 7: Contextualizar la arquitectura de dominio al cliente específico.

El arquitecto teniendo en cuenta la propuesta técnica inicial definida en la “Oferta” y/o “Proyecto técnico”, la “Especificación de requisitos”, el “Modelo de dominio”, el “Modelo conceptual” y las partes interesadas definidas en el “Plan de desarrollo”:

- En función de las vistas arquitectónicas definidas en la “Arquitectura de dominio”, determina las vistas que se van a modificar o desarrollar, de acuerdo a los puntos de vista necesarios para satisfacer a las partes interesadas en un entorno específico.
- En función de los elementos variantes identificados en el “Análisis de los componentes de la solución que se van a hacer/reutilizar/adquirir” del “Documento de

toma de decisiones”, y siguiendo el estilo arquitectónico estándar; se modifican los elementos necesarios en los componentes variantes y/o se incorporan nuevos competentes, para satisfacer las necesidades del cliente específico.

- Identifica nuevos datos persistentes en relación al “Modelo de datos” identificados en la “Arquitectura de dominio”.
- Define la estructura de los nodos físicos como apoyo al despliegue del sistema.
- Se obtiene como resultado de la ejecución de esta actividad la “Arquitectura del sistema” / Vistas arquitectónicas.

Actividad 8: Ajustar las interfaces a las necesidades del cliente específico.

A partir de la “Especificación de requisitos”, “Arquitectura del dominio” y la “Arquitectura del sistema”:

- El arquitecto identifica y describe las interfaces internas y externas que se modificarán o agregarán, para controlar los elementos de entrada-salida y garantizar la integración con el resto de los componentes.
- El diseñador identifica y describe las modificaciones a las interfaces para los usuarios del sistema, de manera que se cumplan los requisitos de usabilidad aplicables.
- Se obtiene como resultado de la ejecución de esta actividad la “Arquitectura de dominio” / Vista de integración (creada) / Vista de Presentación (creada).

Actividad 9: AC-Ejecutar evaluación.

- El equipo de evaluación, teniendo en cuenta los atributos de la calidad aplicables y los requisitos arquitectónicamente significativos, verifica que el diseño se encuentre técnicamente correcto guiado por el subproceso AC-Ejecutar Evaluación.

Actividad 10: DS Identificación de Soluciones Aplicables.

- El Comité técnico / Arquitecto identifica las soluciones aplicables al producto como lo plantea el sub-proceso DS-Identificación de Soluciones Aplicables.

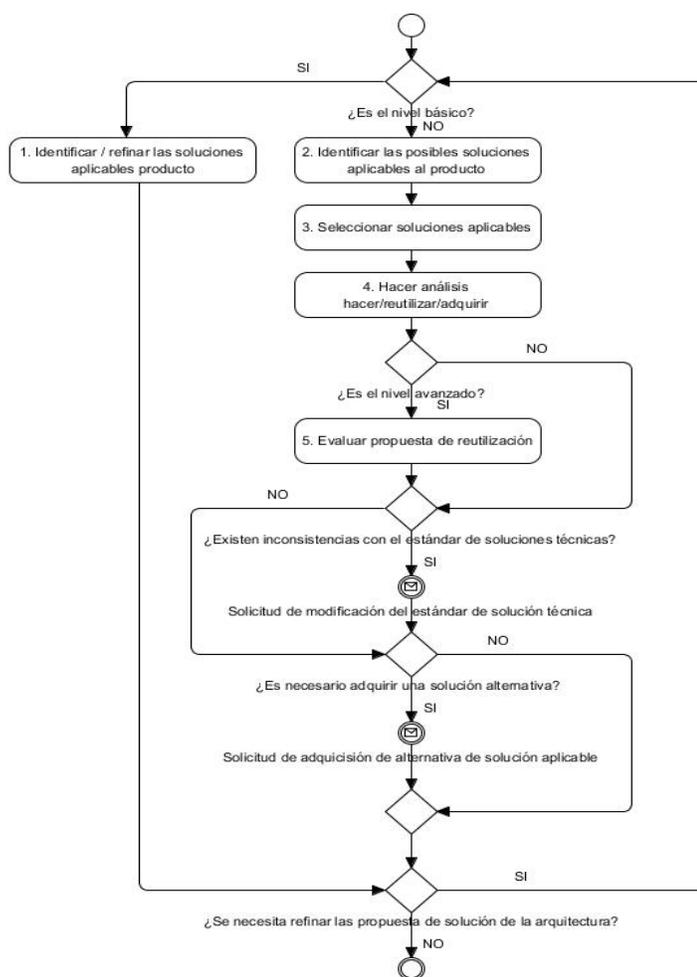


Figura 2. Descripción gráfica del subproceso DS_Identificación de Soluciones Aplicables.

3.2 Subproceso identificación de soluciones aplicables

A continuación, se presenta la descripción gráfica y textual del subproceso DS_Identificación de Soluciones Aplicables ver figura 2.

Actividad 1: Identificar / refinar las soluciones aplicables al producto.

El Comité técnico / Arquitecto teniendo en cuenta las necesidades, el alcance y los objetivos del proyecto identificados, así como, estudios de mercado realizados y el “Estándar de solución técnica”:

- Identifica las soluciones aplicables de la propuesta técnica inicial a un alto nivel de abstracción. Entre las soluciones aplicables se encuentran: Gestor de bases de datos, COTS, lenguaje de programación, Marco de trabajo para el desarrollo, entre otros.
- Identifica y refina la propuesta de soluciones aplicables al producto como parte de la arquitectura

del *software*/sistema (Gestor de bases de datos, COTS, lenguaje de programación, Marco de trabajo para el desarrollo y la interfaz de usuario, patrones, estilos, escenarios, algoritmos, entre otros).

- Se obtiene como resultado de la ejecución de esta actividad la “Oferta” y/o “Proyecto técnico” / Propuesta técnica inicial, la “Arquitectura del sistema” / Soluciones aplicables (actualizada).

Actividad 2: Identificar las posibles soluciones aplicables al producto.

A partir del nivel Intermedio el Comité técnico / Arquitecto teniendo en cuenta las necesidades, el alcance y los objetivos del proyecto así como, estudios de mercado realizados, y el “Estándar de solución técnica”:

- Realiza un estudio sobre productos similares y tendencias tecnológicas para identificar alternativas de solución aplicables. Ejemplos: alternativas por tipos de tecnologías de desarrollo (Gestor de bases de

datos, COTS, lenguaje de programación, Marco de trabajo para el desarrollo y la interfaz de usuario, API, entre otros), alternativas estructurales, entre otros.

- Para la concepción inicial del proyecto, se identifican alternativas de soluciones aplicables de la propuesta técnica inicial a un alto nivel de abstracción.
- Como parte de la elaboración y refinamiento de la arquitectura, se identifican nuevas alternativas de soluciones que refinan la arquitectura.
- Se obtiene como resultado de la ejecución de esta actividad el “Documento de toma de decisiones” / Alternativas aplicables.

Actividad 3: Seleccionar soluciones aplicables.

- El Comité técnico / Arquitecto teniendo en cuenta el “Documento de toma de decisiones” / Alternativas aplicables: Realiza el análisis si hacer, reutilizar o adquirir los componentes de la solución identificados, teniendo en cuenta los criterios de factibilidad definidos, aplicando técnicas para la toma de decisiones.
- En el nivel Avanzado, cuando se aplica ingeniería de aplicaciones, para realizar el análisis también se tiene en cuenta el “Modelo de dominio” almacenado en la “Biblioteca de activos reutilizables”.
- Identifica criterios para la selección de la solución aplicable al producto. Algunos ejemplos de criterios pueden ser: cumplimiento requisitos arquitectónicamente significativos de los atributos de la calidad, cobertura de patrones por parte de los lenguajes y tecnologías identificados, costos de desarrollo, aprovisionamiento y mantenimiento, limitaciones tecnológicas, riesgos, capacidades de los usuarios finales, entre otros.
- Evalúa las alternativas de solución teniendo en cuenta los criterios seleccionados y métodos para la toma de decisiones (Ejemplos: Tormenta de ideas, espina de pescado, diagrama de campo de fuerza, entre otros) con el objetivo de seleccionar las soluciones aplicables al producto.
- Para la concepción inicial del proyecto, se evalúan alternativas de soluciones aplicables para seleccionar la propuesta técnica inicial a un alto nivel de abstracción.
- Como parte de la elaboración y refinamiento de la arquitectura, se identifican nuevas alternativas de soluciones a partir de la evaluación de las nuevas propuestas de solución aplicables con el objetivo de refinar la arquitectura.

- A partir del nivel Avanzado se define el estilo arquitectónico estándar y la plataforma tecnológica a utilizar para desarrollar los activos de dominios para la familia.
- Se obtiene como resultado de la ejecución de esta actividad el “Documento de toma de decisiones” / Evaluación (actualizado) y la “Arquitectura del sistema” (actualizado) o “Estudio de factibilidad” (actualizado).

Actividad 4: Hacer análisis hacer /reutilizar /adquirir.

El Comité técnico / Arquitecto teniendo en cuenta los componentes del producto identificados en la “Oferta” / “Proyecto técnico” o el documento de “Arquitectura del sistema”:

- Determina los criterios de factibilidad para realizar el análisis de si hacer, reutilizar o adquirir los componentes del producto identificados (Ejemplos de criterios: tiempo, recursos, esfuerzo, costos, entre otros).
- A partir del análisis realizado, identifica los componentes que serán desarrollados.
- Se obtiene como resultado de la ejecución de esta actividad el “Documento de toma de decisiones” / Análisis de los componentes de la solución que se van a hacer/reutilizar/adquirir (actualizado) y la
- “Arquitectura del sistema” (actualizado) o “Oferta” / “Proyecto técnico” (actualizado).

Actividad 5: Evaluar propuesta de reutilización.

En el nivel Avanzado el Comité técnico / Arquitecto a partir de los activos de dominio existentes en la “Biblioteca de activos reutilizables” (Modelo de dominio o Arquitectura de dominio), el “Documento de toma de decisiones” / análisis hacer/reutilizar/adquirir (actualizado) y el dominio de aplicación al que estará dirigido el desarrollo del nuevo producto:

- Evalúan los activos reutilizables que formarán parte del proyecto, para determinar el esfuerzo de adopción, modificación de los activos de dominios existentes o la necesidad de crear un nuevo activo de dominio.
- Determina los activos de dominios que se adoptarán como parte de la solución, los que serán modificados y si es necesario, los que serán desarrollado como nuevos activos de dominio.
- En el caso de los componentes que requieren modificación, se identifican los elementos a variar a partir de la Arquitectura de dominio y las peculiaridades del proyecto específico.

- Se obtiene como resultado de la ejecución de esta actividad el “Documento de toma de decisiones” (actualizado), la “Arquitectura del sistema” (actualizado) y la “Arquitectura de dominio” (actualizado).

3.3 Sistema de indicadores

Para poder brindar al personal de un proyecto y a la dirección de una organización una visión objetiva del proceso de Diseño del producto, se hace necesario contar con un sistema de indicadores de procesos para que a partir del análisis de resultados históricos permita conocer el avance alcanzado, así como identificar las dificultades que surjan para la mejora del proceso desarrollado. A continuación se muestra un sistema de indicadores que tributan al rendimiento de los procesos.

Indicador 1: Eficacia del proceso

El objetivo del indicador es analizar la eficacia del proceso Diseño del producto donde las medidas base son las siguientes:

AE: Cantidad de actividades del proceso ejecutadas.

AP: Cantidad de actividades del proceso planificadas.

CAP: Cantidad de artefactos del procesos planificados.

ARE: Cantidad de artefactos del proceso realizados.

CIE: Cantidad de inconsistencias encontradas con el diseño.

CIC: Cantidad de inconsistencias corregidas con el diseño.

CRP: Cantidad de requisitos arquitectónicamente significativos planificados.

CRD: Cantidad de requisitos arquitectónicamente significativos cubiertos en el diseño.

Medidas Derivadas:

ICA: Índice del cumplimiento de las actividades del proceso.

IRA: Índice de la realización de artefactos.

IDR: Índice en el desarrollo de los requisitos.

ICR: Índice de cumplimiento de requisitos.

EP: Eficacia del proceso.

$$ICA = \frac{AE}{AP} \quad ICA \neq 0 \quad (1)$$

$$IRA = \frac{ARE}{CAP} \quad IRA \neq 0 \quad (2)$$

$$IDR = \frac{CIC}{CIE} \quad \text{Si } CIE=0; IDR=1 \quad (3)$$

$$ICR = \frac{CRD}{CRP} \quad ICR \neq 0 \quad (4)$$

$$EP = \frac{ICA + IRA + IDR + ICR}{8} * 100 \quad (5)$$

Escala de interpretación:

Rango	Eficacia
0 – 24 %	No posee
25 % – 49 %	Bajo
50 % – 74 %	Alto
75 % - 100 %	Muy alto

Cada medida derivada anteriormente descrita puede tomarse como un indicador por separado y ser analizada una vez sea aplicada la propuesta para comprobar la mejoría que el proceso permitió introducir.

Indicador 2: Tiempo dedicado al diseño del producto

El objetivo del indicador es compara el tiempo dedicado a la actividad de diseño para comprobar su disminución mediante la aplicación los procesos definidos.

$$X = T$$

Donde T es el tiempo dedicado a la actividad de diseño.

Se realiza un análisis entre proyectos que han aplicado el proceso definido para comprobar la mejoría basada en datos históricos.

Indicador 3: Tasa de defectos.

El objetivo del indicador es comprobar la disminución de la tasa de defectos asociados a los requisitos arquitectónicamente significativos teniendo en cuenta datos históricos.

$$X = \frac{ND}{LC} \quad (6)$$

Donde:

ND: Cantidad de defectos encontrados.

LC: Líneas de código.

Se realiza un análisis teniendo en cuenta la reducción de los defectos una vez aplicada la propuesta.

De acuerdo con la norma ISO/IEC 25023:2017 [25] que propone medidas para la calidad del producto, se identificaron algunas medidas en las que la propuesta puede influir directamente y que se pueden tomar como referencia para mejorar el producto y, por consiguiente, el proceso de diseño del mismo.

Vale resaltar que la correcta ejecución del proceso de diseño va a implicar que todos los productos que se

generen a partir de esta arquitectura de dominio cumplan con los atributos de la calidad definidos.

Indicador 4: Indicadores del producto. Acoplamiento de componentes.

El objetivo del indicador analizar la fortaleza que poseen los componentes independientes y cuántos componentes son libres de los impactos de cambios a otros componentes en un sistema o programa de computadora.

$$X = \frac{A}{B} \quad (7)$$

Donde:

A = Número de componentes que se implementan sin impacto en otros.

B = Número de componentes especificados que deben ser independientes.

Indicador 5: Indicadores del producto. Reutilización de activos.

El objetivo del indicador es determinar cuántos activos de un sistema se pueden reutilizar (los activos podrían ser productos de trabajo tales como documentos de requisitos, módulos de código fuente, módulos de prueba y hardware específico, etc.).

$$X = \frac{A}{B} \quad (8)$$

Donde:

A = Número de activos diseñados e implementados para ser reutilizables.

B = Número de activos en un sistema.

Indicador 6: Indicadores del producto. Eficiencia de la modificación.

El objetivo del indicador es determinar qué tan eficientes son las modificaciones hechas en comparación con el tiempo esperado

$$X = \sum_{i=0}^n \left(\frac{A_i}{B_i} \right) / n \quad (9)$$

A_i = Tiempo de trabajo total dedicado a realizar un tipo específico de modificación i.

B_i = Tiempo esperado para realizar el tipo específico de modificación i (puede basarse en datos históricos o en tiempo medio de la industria).

n = Número de modificaciones medidas.

X mayor que 1 representa modificaciones ineficientes y X menos de 1 representa modificaciones muy eficientes.

4. Validación

Con la intención de validar los requisitos y el proceso de Diseño del producto, se realizaron grupos focales, la cual constituye una técnica valiosa y muy utilizada en la última década para obtener información. Para su conformación se tuvo en cuenta los criterios emitidos por Aigner [26], al decir que el tamaño del grupo debe oscilar entre cuatro (4) y doce (12) participantes; asegurando que todos puedan emitir sus criterios y que haya riqueza de ideas.

Para cumplir con lo antes expuesto se convocó a varios especialistas de la Industria de Aplicaciones y Servicios Informáticos, dedicados a realizar tareas relacionadas con el diseño del producto, para analizar los resultados de esta investigación en siete (7) encuentros. A continuación las empresas y la cantidad de especialistas que participaron fueron: CALISOFT con tres (3) especialistas, XETID (2), UCI (1), Cedipad (1), Joven Club (1), OSRI (1), ETECSA (1), SICS/MITRANS (2) y en total sumaron 12 profesionales.

Los acuerdos tomados en las sesiones de trabajo derivaron en mejoras a los procesos que fueron valiosas para que se lograra un proceso refinado y alineado con las características de la industria.

En el último encuentro al exponer el resultado final del proceso de Diseño del Producto, fue aprobado por todo el equipo participante. En dicho encuentro predominó el criterio: "El proceso es una propuesta que se ajusta a las necesidades de la industria de aplicaciones y servicios informáticos". Se obtuvo opiniones positivas respecto a la contribución de los requisitos y el proceso propuesto para el diseño del producto de *software*, así como la integralidad de la propuesta y la posibilidad que brinda para ser adaptado a múltiples entornos de desarrollo. Los elementos de apoyo que lo componen, como son: la descripción gráfica y textual de los procesos y el sistema de indicadores, facilitarán la implantación de los requisitos en cada entidad sin necesidad de invertir mucho tiempo y recursos.

Se aplicó la técnica IADOV para evaluar el nivel de satisfacción de los usuarios con la calidad del producto diseñado mediante el proceso definido. La técnica fue aplicada a 20 usuarios del sistema con un promedio de 10

años de experiencia en el negocio. Los productos que se encuestaron formaron parte de las organizaciones: DATYS, AICROS, Joven Club, donde se tuvo en cuenta los siguientes elementos:

- Satisfacción con el producto realizado.
- Utilidad del proceso de diseño para influir en la calidad del producto final.
- Aplicabilidad del proceso ante la necesidad de mejorar el diseño del producto del *software* en Cuba.

En los resultados que se muestran en la figura 3 se puede apreciar que el 75% de los usuarios muestran una clara satisfacción con la propuesta presentada. Además, no se contó con usuarios insatisfechos, por los que se obtuvo un Índice de Satisfacción Grupal de 0.85, en base a 1, lo que indica la satisfacción de los usuarios con el producto, teniendo en cuenta la calidad percibida.



Figura 3. Valoración de usuarios sobre el proceso. Fuente: elaboración propia.

También se realizaron pilotos como parte de la validación en entornos reales, donde el diseño fue guiado por el proceso descrito en el modelo. Para realizar dicha validación se tuvo en cuenta pequeñas y grandes organizaciones desarrolladoras de *software*, con el fin de determinar si el proceso es compatible con estos dos entornos.

El proceso de Diseño, se aplicó en cuatro (4). La composición de dichas empresas también es variada características, como por ejemplo hay empresas que tienen implantadas normas de la calidad y otras que solo usan los modelos, normas, estándares y/o guías de calidad como referencia.

Se recopiló información de los indicadores de rendimiento del proceso, antes y después de aplicar la propuesta para realizar un caso de estudio a partir de esta información en cinco proyectos (ver tabla 2). A continuación se especifican los indicadores que fueron evaluados en el caso de estudio:

T = tiempo dedicado al diseño.

TD = tasa de defectos.

CR = cumplimiento de requisitos arquitectónicamente significativos.

Pi = Proyectos del 1 al 5 que aplicaron la propuesta.

Tabla 2. Caso de estudio. Rendimiento del proceso. Fuente: elaboración propia

Antes (Sin aplicar la propuesta)	Indicadores			Después (Aplicada la propuesta)	Indicadores		
	T	TD	CR		T	TD	CR
P1	500 h	0.3	0.66	P1	350 h	0.2	0.98
P2	400 h	0.4	0.94	P2	250 h	0.3	0.98
P3	200 h	0.6	0.55	P3	130 h	0.4	0.95
P4	210 h	0.4	0.48	P4	120 h	0.1	0.75
P5	300 h	0.5	0.68	P5	250 h	0.2	0.99

En la tabla 2 se pudo apreciar una mejoría en los indicadores de rendimiento, una vez aplicada la propuesta, mediante la reducción de tiempo y la tasa de defectos, así como un aumento del índice de cumplimiento de requisitos arquitectónicamente significativos.

5. Conclusiones

- El análisis crítico realizado a los modelos y normas estudiados permitió identificar buenas prácticas de gestión reutilización para definir los requisitos del proceso de Diseño del Producto y separarlas por niveles de madurez para su adopción de manera escalonada.
- La descripción gráfica y textual del proceso Diseño del producto constituye una guía para adoptar los requisitos identificados y facilitar su adopción.
- La validación de la propuesta, contribuyó a constatar que existe conformidad con los procesos propuesto por parte de usuarios potenciales, y que la ejecución del proceso puede contribuir a aumentar el rendimiento del mismo.
- Se recomienda desarrollar para el modelo MCDAI procesos de Ingeniería de Requisitos y de Construcción del Producto que incorpore las buenas prácticas de gestión de reutilización, al igual que

procesos que gestionen la biblioteca de activos reutilizables y el programa de gestión de reutilización necesarios para complementar la propuesta y contribuir a aumentar el rendimiento del proceso de desarrollo de *software* en Cuba.

6. Agradecimiento

Se agradece a las organizaciones desarrolladoras de *software* en Cuba donde se llevaron a cabo los diagnósticos y los pilotos de los procesos propuestos, al igual que las que aportaron personal competente participar en los equipos técnicos de trabajo, así como al Ministerio de Comunicaciones por el apoyo brindado en el seguimiento al programa de mejora de procesos de la industria y a la academia (Universidad de las Ciencias Informáticas) por suministrar personal académico calificado.

7. Referencias

- [1] Bastarrica, C., *Productividad en la Industria TIC. Bits, Ciencia y Sociedad*. 2011.
- [2] Medina, E., A.J. Solís, I.P.T. de Andalucía, *La necesidad de un sistema de la calidad para prevenir y controlar los problemas. Parque tecnológico de Andalucía*. 2006.
- [3] Regaliza, P., et al., *Proyectos software des-de una perspectiva cibernética*, in *IX Congreso de Ingeniería de Organización: Gijón, 8-9 Septiembre de 2005*. . 2005.
- [4] Salazar Labrada, L., *Desarrollo del proceso Solución Técnica para los proyectos de desarrollo de la Universidad de las Ciencias Informáticas*. 2017, UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS.
- [5] Aguilar, L.F., *Gobernanza. El nuevo proceso de gobernar*. Publicado por Fundación Friedrich Naumann para la Libertad, México, 2010.
- [6] SOFTEX, *MPS.BR - Mejora de Procesos del Software Brasileño. Guía General*. 2009.
- [7] SEI, S.E.I., *CMMI para Desarrollo, Versión 1.3*. 2010.
- [8] CYTED, C.y.T.p.e.D., *COMPETISOFT-Mejora de Procesos para Fomentar la Competitividad de la Pequeña y Mediana Industria del Software de Iberoamérica. Versión 0.2*. 2006.
- [9] ISO, I., IEEE, *12207 Systems and software engineering-software life cycle processes*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2017.
- [10] ISO, I., IEEE, *15288. Systems and software engineering-System life cycle processes*. 2015.
- [11] Oktaba, H., *Modelo de Procesos para la Industria de Software-MoproSoft-Versión 1.3, Agosto de 2005*. 2005, NMX-059/01-NYCE-2005.
- [12] Pérez, D.M., *Guía general para un modelo cubano de desarrollo de aplicaciones informáticas*, in *Universidad de las Ciencias Informáticas(UCI)*. 2014.
- [13] Pressman, R.S., *Ingeniería de Software. Un enfoque práctico*. séptima edición ed. 2010.
- [14] Jacobson, I., M. Griss, and P. Jonsson, *Software reuse: architecture, process and organization for business success*. 1997: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- [15] Manso, M.M. and F.J.P. García *Medición en la Reutilización Orientada a Objetos*. 2013.
- [16] McClure, C., *Software reuse techniques*. 1997: Prentice-Hall.
- [17] Martínez, J., T. Ziadi, and T.F. Bissyandé, *Bottom-Up Adoption of Software Product Lines - A Generic and Extensible Approach*. 2015.
- [18] Northrop, L., et al., *A framework for software product line practice, version 5.0*. SEI.-2007- <http://www.sei.cmu.edu/productlines/index.html>, 2012.
- [19] Bergey, J.K., et al., *Fourth DoD Product Line Practice Workshop Report*. 2001.
- [20] SOFTEX, *MPS.BR - Mejora de Proceso del Software Brasileño. Guía de Implementación – Parte 5: Fundamentos para Implementación del Nivel C del MR-MPS*. 2011.
- [21] SOFTEX, *MPS.BR - Mejora de Proceso del Software Brasileño. Guía de Implementación - Parte 3: Fundamentos para Implementación del Nivel E del MR-MPS*. 2009.
- [22] CALISOFT, C.N.d.C.d.S., *CS-03-D (14-001) Libro de diagnóstico*. 2014.
- [23] Castañeda, R.H., *CUBA: La necesidad de las pymes en los ajustes socioeco-nómicos en curso*. 2011.
- [24] ÚbeDa, H.B.A.a.M.a., *Gestión de Pymes Colombia-Chile. Comparación entre dos regiones. Cuadernos del SIUNE Publicación del Sistema de Investigación Institución Universitaria de Envigado, SIUNE*. 2011.
- [25] ISO, O.I.d.E., *ISO/IEC 25023: Systems and software engineering -- Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- Measurement of system and software product quality*. 2017.
- [26] Aignerren, M., *La técnica de recolección de información mediante los grupos focales*, Artículo publicado en *CEO*. Revista electrónica, 2006(7).



Instructivo para autores

Guide for authors

Nombre del autor principal ^{1*}, Nombre de cada coautor ^{1...n}

¹ Unidad a la que está adscrito, entidad a la que está afiliado, País

^{1...n} Unidad a la que está adscrito, entidad a la que está afiliado, País

*Autor de correspondencia: ejemplo@ejemplo.com

RESUMEN– Todo trabajo debe presentar un resumen con un aproximado no más de doscientas cincuenta (250) palabras. Esta sección va después de la información de los autores y con su respectiva traducción al inglés. Utilice las palabras “RESUMEN” (español) y “ABSTRACT” (inglés) como títulos, alineados a la izquierda, en letra Times New Roman 12 puntos, tipo negrita y seguido de un guión. Luego, inicie el resumen en letra Times New Roman 9 puntos y espacio sencillo. Finalmente, mantener un espacio en blanco de 8 puntos y empiece a desarrollar el contenido del artículo. No modificar las líneas

Palabras clave– En esta sección se deben utilizar las frases “Palabras Clave” (español) y la palabra “Keywords” (inglés), alineadas a la izquierda, en letra Times New Roman 12 puntos, tipo negrita y seguido de un guion. Finalmente, debe incluir un máximo de siete (7) palabras clave o frases clave en letra Times New Roman 10 puntos, separadas por comas y en orden alfabético.

ABSTRACT– This section provides a sample of an abstract and keywords which conform to the formatting guidelines for Revista de I+D Tecnológico.

Keywords– Abstract, guidelines for authors, keywords, Revista de I+D Tecnológico.

1. Introducción

Este instructivo es una plantilla que el autor puede modificar para estructurar fácilmente su artículo según las disposiciones establecidas por el Comité Editorial (CE) de la Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC) de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

El documento provee reglas de estilo que explican el manejo de ecuaciones, figuras, tablas, abreviaturas y siglas. Además, el autor encontrará secciones para preparar los agradecimientos y referencias.

2. Componentes del artículo

El contenido del documento debe limitarse a un máximo de doce (12) páginas, incluyendo texto, ilustraciones, gráficos y referencias. Por página se entiende una cara de papel tamaño carta ó 21.59 cm x 27.94 cm (8.5" x 11"). El cuerpo del artículo es a dos (2) columnas, cada una con 8.79 cm de ancho y 1.0 cm de espacio entre cada columna.

La configuración de los márgenes es la siguiente: Solo la primera página superior 3 cm, inferior 2.5 cm,

izquierdo 1.5 cm y derecho 1.5 cm. Y la configuración del encabezado de página es de 2 cm y el pie página es a 1.5 cm, ambos solo aplicados en la primera página.

A continuación, se detallan los componentes del artículo y formato de presentación.

2.1 Tipos de letra y estilos

Utilice un procesador de texto con el tipo de letra Times New Roman. Por favor, evite el uso de “bit-mapped fonts”.

2.2 Título

El título debe ser breve e informativo, reflejando el hallazgo contenido en el artículo y debe estar en Times New Roman 16 puntos, negrita y centrada. La primera palabra comenzará con letra mayúscula y de ahí en adelante se utilizará la mayúscula solamente para los nombres propios y símbolos químicos. Se evitará el uso de abreviaciones y siglas en el título, así como palabras innecesarias al principio del título, como por ejemplo: un, una, sobre, el, etc.

Citación: Primera_letra_nombre. Apellido, “Titulo_artículo”, *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 1, pp. (no_modificar), 2019.

Tipo de artículo: No_modificar. **Recibido:** No_modificar. **Recibido con correcciones:** No_modificar. **Aceptado:** No_modificar.

DOI:

Copyright: 2019 Primera_letra_nombre. Apellido. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

El título debe contar con su respectiva traducción al inglés o al español, según el idioma base del artículo y tamaño de fuente a 14 puntos. Ejemplo: si el artículo está redactado en español entonces el título debe aparecer en español y luego en inglés o viceversa si es el caso contrario.

2.3 Nombre de los autores, afiliaciones y correo

Los autores y coautores deben escribir sus nombres de la misma forma como lo hacen en todas sus publicaciones y seguir el formato establecido al inicio del instructivo. Cada autor debe presentar la siguiente información: la unidad a la que está adscrito (departamento, centro de investigación, facultad, etc.); la entidad a la que está afiliado (universidad, empresa privada, etc.); el país al que corresponde y por último el correo del autor de correspondencia el cual debe estar indicado con un (*).

Los autores y coautores de la UTP deben utilizar el nombre completo de la universidad y sin traducirlo a otro idioma. En otras palabras, la entidad de afiliación es “Universidad Tecnológica de Panamá”. Esta medida contribuye positivamente en el conteo por entidad que realiza SCOPUS u otras herramientas, tales como: *Research ID*¹ y *WoS*².

2.4 Encabezado de Página de la primera página

No modificar.

2.5 Pie de página de la primera página

No modificar.

2.6 Cuerpo del manuscrito

Los componentes principales del manuscrito deben dividirse en secciones con un uso apropiado de títulos y subtítulos, según lo requiera la organización y el desarrollo lógico del material.

2.6.1 Texto principal

Escriba el texto principal en Times New Roman 11-puntos y a espacio sencillo. Los párrafos deben iniciar con una sangría de 0.5 cm. Además, el texto debe estar completamente justificado, **no** debe agregar espacios en blanco entre los párrafos de cada sección y los extranjerismos (solo aplica para artículo en español) no adaptados deben escribirse en cursiva.

2.6.2 Cabeceras de primer nivel, cabeceras de segundo nivel y viñetas

Una cabecera de primer nivel debe estar en Times New Roman 12 puntos, negrita, la letra inicial en mayúscula y a la izquierda de la columna. Ejemplo: ver el título de la sección 1 (introducción) del presente instructivo. Recuerde utilizar un punto (.) después de la numeración, no una coma (,). El texto del contenido va en la siguiente línea, recuerde mantener la sangría.

Una cabecera de segundo nivel debe estar en Times New Roman 11 puntos, negrita, la letra inicial en mayúscula y a la izquierda de la columna. Ejemplo: ver el título de la sección 2.3. El texto del contenido va en la siguiente línea, recuerde mantener la sangría.

Es importante indicar que estas especificaciones también aplican para las cabeceras de tercer nivel y su contenido. Además, la numeración de estas cabeceras no culminan con un punto. Las viñetas deben justificarse a la izquierda y a espacio sencillo. La sangría entre la viñeta y el texto es de 0.5 cm.

Nota: las secciones principales y subsecciones deben estar separadas mediante un interlineado sencillo (espacio en blanco) de tamaño 11 puntos. Además, escriba un texto entre el título de una sección y una subsección o entre subsecciones, no deje ese espacio en blanco, ver ejemplo entre las subsecciones 2.4 y 2.4.1.

2.6.3 Enumeración de páginas, encabezados y pies de páginas

Enumere sus páginas en el borde inferior derecho, ejemplo: 1, 2, 3, ..., n páginas. No utilice encabezados ni pies de páginas. Si necesita pie de página, colóquelo en la parte inferior de la columna en la cual se hace referencia con el siguiente formato: Times New Roman de 9 puntos y espacio sencillo. Para facilitar la lectura, se recomienda evitar el uso excesivo de pies de página e incluir observaciones entre paréntesis, ejemplo: (como se ilustra aquí...).

2.6.4 Ecuaciones

Si está utilizando *Microsoft Word*, use *Microsoft Editor de Ecuaciones* o el complemento *MathType* (www.mathtype.com) para ecuaciones en su artículo. Las variables, números y texto deben ser en Times New Roman 11 puntos.

Pasos para insertar ecuaciones:

- *Microsoft* Editor de Ecuaciones: *Insert/Insertar - Object/Objeto - Create New/Crear Nuevo - Microsoft Equation/Microsoft Editor de Ecuaciones.*
- *MathType*: *Insert/Insertar - Object/Objeto - MathType.*

La ecuación debe estar centrada y con su correspondiente numeración alineada a mano derecha, como se muestra a continuación,

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

Enumere las ecuaciones en forma consecutiva entre paréntesis. Use paréntesis para evitar ambigüedades en los denominadores. Utilice punto al final de la ecuación cuando ellas sean parte de una oración, como

$$\int_0^2 F(r, \varphi) dr d\varphi = [\sigma r_2 / (2\mu_0)] \quad (2)$$

$$\cdot \int_0^\infty \exp(-\lambda |z_j - z_i|) \lambda^{-1} J_1(\lambda r_2) J_0(\lambda r) d\lambda \cdot$$

Los símbolos de las ecuaciones deben ser definidos antes o inmediatamente después de la ecuación; utilice letra cursiva y 11 puntos. Para la definición utilice letra normal y 11 puntos. En cuanto a la referencia de la ecuación dentro del contexto del artículo deben ir en minúscula y sin punto al finalizar el texto. Por ejemplo: “En la ecuación 1 se muestra el resultado estimado” o “En la ecuación (1) se muestra el resultado estimado”.

No se aceptan las abreviaciones de las ecuaciones como: “a ec. (1)”, “eq. #1” o “ecuación N°1”. Además, las ecuaciones extraídas de fuentes externas deberán ser citadas en el texto.

2.6.5 Imágenes y fotografías

Las imágenes y fotografías deben estar centradas en el artículo formando parte del texto. En cuanto a numeración, título y leyenda, ver la siguiente sección.

Si alguno de los elementos mencionados no puede ser ajustado en las columnas, entonces debe centrarlo en la parte superior de la página con su respectivo título y leyenda. Después, deben seguir las columnas del artículo en la parte inferior.

Las fotografías e imágenes (tablas, diagramas, gráficos y ecuaciones) deben tener una resolución mínima de 300 ppp (píxeles por pulgada) o dpi (*dots per*

inch). Procure que la resolución de las imágenes facilite el envío del artículo a través de la plataforma.

No hay un límite en cuanto a la cantidad máxima de imágenes permitidas. Sin embargo, límitese a incluir las imágenes y ecuaciones más esenciales o novedosas.

Si su artículo es aprobado por el Comité Editorial para su publicación, entonces, debe seguir las instrucciones de la sección 4.

2.6.6 Leyendas de figuras y títulos de las tablas

Las leyendas de figuras y títulos de las tablas deben ser en Times New Roman de 10 puntos. La primera palabra de la leyenda debe iniciar con letra mayúscula. Las palabras “Figura” y “Tabla” deben ser en negrita, incluyendo el número de secuencia y el punto.

Las figuras y tablas deben enumerarse separadamente y llevar su respectiva secuencia, ejemplo: “**Figura 1.** Diagrama de control” y “**Tabla 1.** Mediciones en campo”. Las leyendas de las figuras se colocan *justificadas* debajo de la imagen y los títulos de las tablas se colocan *centrados* arriba de las tablas.

2.7 Secciones usuales de un artículo

Las secciones más usuales de un artículo científico, pero NO limitantes, son las siguientes:

2.7.1 Introducción

Debe ubicar al lector en el contexto del trabajo:

- La naturaleza del problema cuya solución o información se describe en el documento.
- El estado del arte en el dominio tratado (con sus respectivas referencias bibliográficas).
- El objetivo del trabajo, su relevancia y su contribución en relación al estado del arte.
- Descripción de la estructura del artículo.

2.7.2 Materiales y métodos

Es importante presentar el diseño y tipo de investigación, pasos de la investigación, materiales y métodos. Además, el autor debe incluir los criterios de la selección del material tratado, los controles, estudios planeados y realizados.

2.7.3 Resultados

Los resultados deben presentarse en orden lógico acorde a la metodología planteada. Usar tablas y figuras cuando sea posible para presentar los resultados de forma clara y resumida. Además, las referencias de

tablas y figuras dentro del contexto del artículo deben ir en minúscula y sin punto al finalizar el texto. Ejemplo: En la figura 2 se muestran las mediciones realizadas en el período de enero a marzo.

Tenga mucho cuidado en el texto del artículo al usar porcentajes o estadísticas con un pequeño número de muestras. Incorrecto: "El 60% (3/5) de las muestras de David y el 20% (1/5) de Santiago han demostrado resistencia a los medicamentos." Correcto: "Tres de cada cinco ejemplares de David y 1 de cada 5 ejemplares de Santiago han demostrado resistencia a los medicamentos."

Cuando un número empieza una oración entonces debe escribirlo en letras. Además, utilice numerales cuando las cifras sean mayores que 10.

Posterior a la presentación de los resultados, se destacarán y discutirán los aspectos más importantes del trabajo. Toda afirmación debe estar avalada por los resultados obtenidos. Y por último, comparar los resultados obtenidos con estudios previos.

Se recomienda extremar el poder de síntesis evitando repeticiones innecesarias. Además, las unidades numéricas con su respectiva magnitud deben estar unidas. Ejemplo: 30°C o 25%.

2.7.4 Conclusiones

Deben ser enunciadas con claridad y deben cubrir:

- Las contribuciones del trabajo y su grado de relevancia.
- Las ventajas y limitaciones de las propuestas presentadas.
- Referencia y aplicaciones de los resultados obtenidos.
- Recomendaciones para futuros trabajos.
- Impacto sobre la comunidad científica.

2.7.5 Agradecimiento

Utilice el término en singular como encabezado, aun cuando sean muchos agradecimientos. En esta sección se recomiendan las siguientes expresiones: "Agradecemos a Juan Pérez por su asistencia técnica" o "Agradecemos también a nuestro colaborador Carlos Pérez de la Dirección de Investigación en la Universidad Tecnológica de Panamá". El reconocimiento a patrocinadores por el apoyo financiero se indica en esta sección, ejemplo: "Este trabajo fue financiado por la Secretaría Nacional bajo contrato...".

2.7.6 Referencias

Las referencias se identificarán en el texto mediante números arábigos entre corchetes, alineados con la escritura. Se enumerarán por orden de aparición en el texto al final del trabajo. Las listas de referencias deben seguir el estilo de la **IEEE**. El autor tiene la libertad de utilizar un administrador de fuentes bibliográficas que incluyen los procesadores de texto o un *software* específico. La letra debe estar en Times New Roman 9 puntos.

El autor es responsable de la exactitud del contenido y citación de todas las referencias. Todas las referencias deben ser citadas en el documento. Los números de las referencias en el texto deben colocarse entre corchetes.

A continuación, se detallan algunos ejemplos de citaciones:

Citación de un artículo

- [1] G. Pevere. "Infrared Nation," *The International Journal of Infrared Design*, vol. 33, pp.56-99, Jan. 1979.

Citación de un libro

- [2] W.K. Chen. *Linear Networks and Systems*. Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123-35.

Citación de un documento electrónico

- [3] A. Paul. (1987, Oct.). "Electrical properties of flying machines." *Flying Machines*. [Online]. 38(1), pp. 778-998. Available: www.flyingmachjourn/properties/fly.edu [Dec. 1, 2003].

2.7.7 Apéndice

El apéndice consiste en la presentación de cualquier otro material que impida el desarrollo continuo del artículo, pero puede ser importante para justificar los resultados del trabajo.

3. Normas para la recepción de los artículos

La RIDTEC es una **revista abierta** de publicación semestral, por lo tanto, extendemos una cordial invitación a todos los autores interesados en publicar artículos científicos (ver definición en la sección 4) sobre los avances y los resultados de sus proyectos de investigación.

Las áreas de investigación de interés, pero no limitantes, han sido definidas por la UTP con la finalidad de abarcar los campos del conocimiento a nivel internacional han identificado en los sectores económico, social, científico y tecnológico:

- Agricultura y Agroindustria
- Astrofísica
- Biotecnología

- Cambio climático y meteorología
- Ciencias físicas y sistemas ambientales
- Geología
- Hidrología tropical
- Infraestructura.
- Instrumentación nuclear
- Logística y Transporte
- Proceso de Manufactura y Ciencia de los Materiales
- Sistema marino costero
- Tecnologías de Energías Renovables e Ingeniería Ambiental
- Tecnologías de la Información y Comunicación.
- Robótica, Automatización e Inteligencia Artificial.

Los autores de artículos pueden ser docentes, investigadores, estudiantes universitarios de pregrado y postgrado con orientación de un profesor tutor. Además, los interesados pueden ser profesionales de entidades públicas (autónomas y semiautónomas) y entidades privadas, ya sean, nacionales e internacionales. Los estudiantes de pregrado con interés de publicar pueden enviar sus trabajos a la Revista de Iniciación Científica de la UTP (<http://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric>).

El autor puede encontrar en el portal de la RIDTEC (<http://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico>) los siguientes ítems:

- Miembros del CE.
- Ediciones anteriores.
- Instructivo para autores.
- Objetivos, alcance, misión y temática.
- Política editorial de la revista.
- Declaración de ética de publicación de la revista.
- Plataforma para la recepción de artículos.
- Fechas de convocatorias para la recepciones de los artículos.

El autor debe enviar una primera versión de su artículo durante el periodo establecido, y cumplir con los siguientes criterios de preselección:

Criterio 1

El autor debe utilizar el formato establecido en el instructivo para estructurar su artículo y enviarlo a través de la plataforma para la recepción de artículos. Los artículos recibidos en la plataforma, pasada la fecha límite de la convocatoria, pasarán al estatus de “espera” para formar parte de la próxima convocatoria. El archivo del artículo debe cumplir con las siguientes

características: formato .doc o .docx y no debe superar los 65MB.

Criterio 2

El artículo emitido debe corresponder a la cobertura temática de la RIDTEC, y abarcar las áreas temáticas orientadas a las ciencias e ingenierías.

Criterio 3

El artículo debe pasar por un proceso de comprobación de originalidad, la RIDTEC hace uso de la herramienta web Paper Rater (acceso libre) y el *software* de detección de plagio, el cual permite garantizar la originalidad del trabajo escrito antes de la publicación.

No existe un límite para el envío de artículos por autor. Sin embargo, si dos o más artículos de un autor son aceptados entonces solo se publicará un artículo por número y los demás artículos en los siguientes números.

Nota: El autor solo puede modificar o retirar el artículo antes de la fecha establecida para el corte de la recepción. Esto implica que el artículo no puede ser reemplazado durante el proceso de evaluación o retirado si es recomendado para su publicación.

4. Evaluación y aceptación de artículos

Cada artículo será evaluado mediante el método de “revisión por pares doble ciego”, para garantizar un proceso de evaluación libre de sesgo o conflictos de intereses. Los criterios de evaluación son los siguientes: Originalidad, Relevancia, Calidad y Presentación (redacción y claridad de las secciones). Cada criterio será calificado como: Muy Alto, Alto, Bueno, Suficiente, Promedio, Débil o Deficiente. Dependiendo de esta calificación, el evaluador elegirá una de las siguientes alternativas: 1) se recomienda con modificaciones menores, 2) se recomienda con modificaciones mayores o, 3) no se recomienda. Además, el evaluador emite sus observaciones y recomendaciones, las cuales van dirigidas al autor y también al comité editorial. Para sustentar la evaluación del manuscrito, al artículo se le asigna un puntaje (0, 1 y 2), donde 0 representa a consideración del evaluador, que el artículo no se recomienda, 1 si el artículo se recomienda con modificaciones mayores y 2 si se recomienda con modificaciones menores. De esta manera el puntaje dado por cada evaluador se suma y divide entre la cantidad de evaluadores asignados al artículo emitido a revisión, así el resultado es un

promedio que podría variar entre 0 y 2. Este promedio determina si un artículo tendrá prioridad para ser publicado. Los artículos que fueron aprobados, pero no publicados en el actual número, pasarán al estatus de “espera” hasta el próximo número. Los dictámenes finales serán emitidos por el Comité Editorial (CE) de la RIDTEC. Esto implica que el artículo no puede ser reemplazado durante el proceso de evaluación o retirado si es recomendado para su publicación, de lo contrario se aplicará un periodo de embargo (no podrá remitir artículos en la revista dentro de seis meses “un semestre”).

Si el dictamen final (opinión de ambos evaluadores y el CE) consiste en no recomendar un artículo para su publicación, se procede con devolverlo al autor con el informe de evaluación notificándole sobre las debilidades de fondo y forma. Un dictamen final de este tipo se sustenta con los siguientes puntos: el trabajo no incorpora el componente de ingeniería, deficiencias en la redacción y claridad de las secciones, no hay una contribución original y significativa al área del conocimiento. Sin embargo, si existe una contradicción entre los evaluadores entonces se recurrirá a un tercer evaluador para definir la evaluación.

En el caso de que el artículo sea recomendado para su publicación, se procede con devolver el artículo y el informe de evaluación. El autor debe mejorar el documento y remitirlo con la información de los autores en un plazo no mayor de **15 días** al correo electrónico revista.idtecnologico@utp.ac.pa

Posterior a la aceptación de los ajustes en el artículo por parte del CE, el autor principal recibirá una certificación sobre la publicación de su artículo en la RIDTEC. Además, el autor debe entregar los archivos al correo electrónico revista.idtecnologico@utp.ac.pa o enviar un disco (CD o DVD) con sus respectivas imágenes o gráficos originales para la diagramación del artículo. En el caso de enviar un disco, este debe incluir los siguientes datos:

- Número de identificación del artículo (ID)
- Título del artículo
- Nombre del autor principal.

¿Qué queremos decir con una "**imagen original**"? Según nuestras experiencias con ediciones anteriores, se recomienda generar un PNG o JPG de la imagen con el *software* utilizado para crear dicha imagen y con una resolución **mínima de 300 ppp**. Ejemplos del concepto

"original": si la imagen es creada en *Autocad* entonces usted debe generar el archivo PNG o JPG de la imagen a partir del *Autocad*.

No se recomienda exportar la imagen a otra aplicación para generar el PDF porque puede afectar considerablemente la calidad de la imagen y complicar la tarea de diagramación. Ejemplo: exportar la imagen del *Autocad* e importarla en *Word* o *power point*.

Cada imagen debe aparecer en un archivo PNG o JPG por separado y debidamente identificada para facilitar el reemplazo en el artículo.

Nota: El autor es responsable de garantizar el cumplimiento de los requisitos establecidos para las imágenes. En caso contrario, el artículo quedará en cola de espera para su publicación.

5. Prioridad de publicación

La prioridad de publicación se va a regir por los siguientes criterios:

- Por impacto.
- Por tiempo de recepción del artículo.
- Enfoque de la temática.

Si un artículo tiene una mayor puntuación en base a estos criterios este tendrá prioridad para ser publicado, los otros artículos que fueron aprobados, pero no publicados en el actual número estarán en el estatus de *espera* hasta el próximo número.

6. Política de acceso y reúso

Los artículos científicos publicados en la RIDTEC son de exclusiva propiedad de sus autores. Todas las opiniones y contenidos expresados en la revista pertenecen a sus autores, siguiendo los lineamientos del documento "*Declaración de ética de publicación*", la UTP declina de toda responsabilidad por los derechos que pudiera derivarse de la lectura, interpretación y uso del contenido de los trabajos publicados.

Los autores deben acatar el principio de libre acceso en revista científicas. Por lo tanto, todos los contenidos deben estar disponibles gratuitamente al público, con el objetivo de fomentar un intercambio de conocimiento científico-académico internacional mediante nuestra plataforma Open Journal System (OJS).

7. Correspondencia o comunicaciones

Para la correspondencia, suscripciones o envío de documentación, sírvase hacerlo a siguiente dirección:

Universidad Tecnológica de Panamá

Editorial Tecnológica

Apartado 0819-07289, El Dorado, Ciudad de Panamá, República de Panamá

Además, para una comunicación directa, usted puede escribirnos al siguiente correo electrónico revista.idtecnologico@utp.ac.pa

8. Conceptos fundamentales de interés

Esta sección tiene el objetivo de ilustrar a nuestros autores y lectores sobre conceptos fundamentales de investigación y desarrollo experimental (I+D)³, y redacción científica⁴.

La I+D comprende el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones.

El término I+D engloba tres actividades: investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental. A continuación se definen cada una de estas actividades.

- La **investigación básica** consiste en trabajos experimentales o teóricos que se emprenden principalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de los fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada.
- La **investigación aplicada** consiste también en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos y está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico.
- El **desarrollo experimental** consiste en trabajos sistemáticos que aprovechan los conocimientos existentes obtenidos de la investigación y/o la experiencia práctica, y está dirigido a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos; a la puesta en marcha de nuevos procesos, sistemas y servicios, o a la mejora de los ya existentes.

En cuanto a la redacción científica, su característica fundamental es la claridad. El éxito de la experimentación científica es el resultado de una mente clara que aborda un problema claramente formulado y llega a unas conclusiones claramente enunciadas. Idealmente, la claridad debería caracterizar todo tipo de comunicaciones; sin embargo, cuando se dice algo por primera vez, la claridad es esencial.

La mayoría de los artículos científicos publicados en las revistas de investigación primarias se aceptan

precisamente porque aportan realmente conocimientos científicos nuevos. Por ello, debe exigirse una claridad absoluta en la redacción científica. Para una mejor comprensión entre los tipos de trabajos científicos, presentamos las siguientes definiciones:

- **Artículo científico:** informe escrito y publicado que describe resultados originales de una investigación.
- **Artículo de revisión:** no es una publicación original y su estructura es diferente a la de un artículo de investigación. Ofrece una evaluación crítica de los trabajos publicados y llegan a conclusiones importantes.
- **Ensayos cortos:** son el resultado de un examen crítico de artículos de investigación científica publicados, en donde se resaltan los trabajos más importantes o los que han brindado mayor aporte al conocimiento en una área determinada.

Los conceptos fueron extraídos de los siguientes documentos:

¹<http://www.researcherid.com/>, Thomson Reuters

²<https://www.recursoscientificos.fecyt.es/>, FECYT

³"Manual de Frascati", 2003, FECYT y Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE).

⁴"Cómo escribir y publicar trabajos científicos", 2005, Roberto Day

VII International Engineering Science and Technology Conference

*"To complex problems,
multidisciplinary solutions"*

*"Celebrating the 500th
Anniversary of Panama City"*

October 9 - 11, 2019

Wyndham Panama Hotel Albrook Mall

Call for Papers
<http://congreso.utp.ac.pa>

AREAS OF INTEREST:

- ◆ Agroindustry
- ◆ Basic Sciences
- ◆ Economy and Society
- ◆ Engineering Education
- ◆ Energy and Environment
- ◆ Infrastructure
- ◆ Logistic and Transportation
- ◆ Management, Entrepreneurship and Innovation
- ◆ Robotic, Automation and Artificial Intelligence
- ◆ Information Technology and Communication
- ◆ Emerging Technologies

IMPORTANT DATES:

Nov. 1st, 2018

April 1st, 2019

July 1st, 2019

Papers reception opens

Papers reception closes

Notification of acceptance begins

In order to include the accepted papers in the **IESTEC-2019** program, at least one of the authors, must pay by July 31st, 2019.

Patrocinadores del Congreso IESTEC 2019



EXPO POSTGRADOS Y FORMACIÓN CONTINUA

JUE. 10 OCTUBRE

LEARN CHILE es una red conformada por 23 instituciones de educación de superior apoyada por el Estado de Chile (ProChile), con el objetivo de potenciar la internacionalización de la oferta académica del país.



Hotel Wyndham
Panamá Albrook Mall
Ciudad de Panamá



CHILE PAÍS INVITADO:

VII Congreso Internacional de
Ingeniería, Ciencias y Tecnología

1
EN
AMÉRICA
LATINA

INNOVACIÓN Y COMPETITIVIDAD

OMPI, Banco Mundial

SEGURIDAD

Global Peace Index

CALIDAD DE VIDA

PNUD

CONECTIVIDAD

GCI

COMPETITIVIDAD DIGITAL

IMD

www.learnchile.cl
info@learnchile.cl



Chile

20



UNIVERSIDADES CHILENAS DENTRO DE LAS
100 MEJORES DE AMÉRICA LATINA [THE]

CONVOCATORIAS SENACYT

CONVOCATORIA PÚBLICA PROGRAMA DE APOYO A LAS ACTIVIDADES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

GENERACIÓN DE CAPACIDADES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS 2019 RONDA II

RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA DE LA SENACYT NO. 191 DE 31 DE JULIO DE 2017, POR MEDIO DE LA CUAL SE ADOPTA EL REGLAMENTO INTERNO PARA LAS CONTRATACIONES POR MÉRITO, PUBLICADA EN LA GACETA OFICIAL 28344-A DEL 16 DE AGOSTO DE 2017

DIRIGIDA A:

Personas jurídicas con o sin fines de lucro debidamente inscritas en el Registro Público de Panamá o personas naturales de nacionalidad panameña, residentes en el país, dedicadas a realizar actividades que fortalezcan el Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación. Las personas naturales pueden participar individualmente o afiliados a entidades públicas o privadas, universidades, organizaciones no gubernamentales, asociaciones de interés público o centros de investigación en la República de Panamá.

OBJETIVO:

Proporcionar financiamiento o co-financiamiento a actividades que fortalezcan el ambiente de ciencia y tecnología, para incentivar el interés por estas áreas del conocimiento.

CATEGORÍAS DE EVALUACIÓN SEPARADAS Y MONTO MÁXIMO DE ADJUDICACIÓN

1. Traída de expertos científicos o tecnólogos que tengan experiencia comprobada en el tema a desarrollar. Monto de adjudicación de hasta B/. 10,000.00.
2. Apoyo a publicaciones científicas y tecnológicas (artículo científico, libros, revistas, guías metodológicas y guías con contenido o producción audiovisual científica) se excluye a medios con reconocida trayectoria. Monto de adjudicación de hasta B/. 15,000.00.
3. Participación en pasantía en el extranjero, en las áreas temáticas de la presente convocatoria, orientadas a la creación de competencias científicas y tecnológicas. La participación de la pasantía solo podrá ser realizada por panameños residentes en Panamá. Monto de adjudicación de hasta B/. 12,000.00.
4. Participación como expositor en congresos científicos internacionales con proceso de arbitraje por pares de alto nivel, en las áreas temáticas de la presente convocatoria. El expositor deberá ser panameño residentes en Panamá. Monto de adjudicación de hasta B/. 7,000.00.

ÁREAS TEMÁTICAS:

- | | |
|--|----------------------------------|
| A. Biodiversidad y Ecología | E. Ingenierías y Tecnología |
| B. Logística y Transporte | F. Ciencias Naturales y Exactas |
| C. Ciencias Agropecuarias, Forestal y Acuicola | G. Ciencias Sociales y Educación |
| D. Ciencias de la Salud | |

FECHAS Y PLAZOS DE PRESENTACIÓN

FECHA DE APERTURA DE LA CONVOCATORIA: 30 de julio de 2019
PLAZO PARA ENTREGA DE PROPUESTAS: 01 de octubre de 2019 Hasta las 3:00 PM HORA EXACTA



Conoce las bases de la convocatoria en

www.senacyt.gov.pa

Consultas: gencap@senacyt.gov.pa o al 517-0014 ext. 1047 ó 1170



LA AEROLÍNEA
**MÁS PUNTUAL
DEL MUNDO**



Reconocida por la OAG como la aerolínea más puntual del mundo en 2018. Gracias al esfuerzo y dedicación de todos nuestros colaboradores, la excelencia en Copa Airlines es posible.



Nos encargamos de

MEDIR AGILIZAR SISTEMATIZAR

tus eventos

Síguenos en:

Miesimposio @esimposio

CONTACTANOS:

2636218 Móvil: 6365-9930

contacto@esimposio.com

www.esimposio.com

QLU QUALITY
LEADERSHIP
UNIVERSITY

Estudia nuestros
PRESTIGIOSOS
programas de
maestrías en

UNIVERSITY OF
LOUISVILLE



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

Maestrías

Ingeniería con Especialización en
Ingeniería Gerencial
CTF-21-2011 Extensión Nro. 011-2018
Administración de la Construcción
CTDA-53-2018

100% en Panamá



www.qlu.pa info@qlu.pa (507) 264-0777



El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), en Panamá está conformada por 6 Capítulos Técnicos , 3 Grupos de Afinidad y 3 Ramas Estudiantiles, en la Universidad Tecnológica de Panamá, Universidad de Panamá y Universidad Latina de Panamá.

Dirección
IEEE Sección Panamá
Ave. Manuel Espinosa Batista
Edif. Ateneo de Ciencias y Artes
Segundo Piso, Oficina #3

Contacto
Tel/Fax: (507) 223-7445
Email: sec.panama@ieee.org
www.ieee.org/panama

CENAMEP AIP



**Centro Nacional de Metrología
de Panamá AIP**





**Ciudad
del Saber**

ENSO

Grupo•epm

Naturgy 





Portal de REVISTAS ACADÉMICAS UTP



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 desarrollado 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 le 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



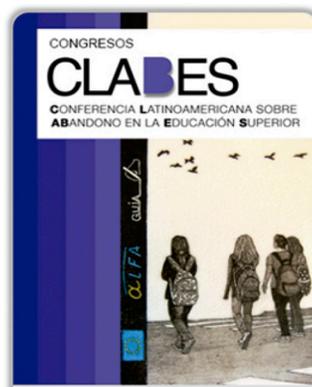
El Tecnológico
ISSN: 1819-9623
E-ISSN: 1819-9623



Cultural Maga
ISSN: 1018-1563
E-ISSN: 1018-1563



Memorias de Congresos UTP



Congresos CLABES

Enlaces de Interés

- Repositorio Institucional UTP-Ridda2
- Plataforma de Investigadores UTP
- Perfiles Docentes/Investigadores UTP
- Google Scholar UTP
- ResearchGate UTP
- Academia.edu

Platform & workflow by OJS / PKP

© 2016 Portal de Revistas de la Universidad Tecnológica de Panamá
Este sitio es un componente del proyecto UTP-Ridda2
Utilizando Open Journal Systems



Universidad Tecnológica de Panamá
Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso,
Edificio de Postgrado, Planta Baja.
Teléfono: (507) 560-3703 | (507) 560-3442
Correo Electrónico: editorial@utp.ac.pa
Web: www.utp.ac.pa
Apartado Postal 0819-07289 El Dorado,
Panamá, República de Panamá.