



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

REVISTA
Ingeniería
2020

Volumen 25 - Número 1 - ISSN 0121-750X E-ISSN 23448393
REVISTA CIENTÍFICA CUATRIMESTRAL

REVISTA Ingeniería

Volumen 25 · Número 1 · Año 2019 · ISSN 0121-750X · E-ISSN 2344-8393

REVISTA CIENTÍFICA CUATRIMESTRAL



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Carrera 7 No. 40-53
Edificio Administrativo
Piso 7 - Facultad de Ingeniería
Bogotá, Colombia
Teléfono: + 57 (1) 323 93 00 ext. 2413
Correo revista:
revista_ing@udistrital.edu.co

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving>

POSTURA EDITORIAL Y AUDIENCIA

La Revista INGENIERÍA es una publicación de carácter científico enfocada en la gran área de conocimiento de Ingeniería y Tecnología, de acuerdo a la clasificación de la OCDE, con una periodicidad cuatrimestral editada por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. La Revista está dirigida a la comunidad académica, investigadores, egresados, sectores productivos y en general al público interesado en los temas del campo de la Ingeniería y la Tecnología. Su principal objetivo es difundir y debatir avances en investigación y desarrollo en las diferentes áreas de la Ingeniería y la Tecnología a través de la publicación de artículos originales e inéditos, con pertinencia local o internacional.

EDITOR

Nelson L. Díaz, PhD.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

COMITÉ EDITORIAL

Sarah Greenfield, PhD.
Faculty of Technology of
Montfort University,
Reino Unido

Alonso Salvador Sanchez, PhD.
Universidad de Alcalá,
España

Jose Marcio Luna, PhD.
Perelman School of Medicine,
University of Pennsylvania, Estados Unidos

José Luis Villa, PhD.
Universidad Tecnológica de
Bolívar, Colombia

César Leonardo Trujillo Rodríguez, PhD.
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, Colombia

Josep M. Guerrero, PhD.
Aalborg University, Dinamarca

Carlos Andrés Peña, PhD.
Institute for Information and Commu-
nication Technologies - Haute Ecole
d'Ingénierie et de Gestion du Canton
de Vaud, Suiza

Iván Santelices Malfanti, PhD.
Universidad del Bío-Bío,
Chile

Carlos Eduardo Moreno, PhD.
Universidad Nacional de
Colombia

Víctor Hugo Grisales, PhD.
Universidad Nacional de
Colombia

Juan Carlos Figueroa, PhD.
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, Colombia

COMITÉ CIENTÍFICO

Germán Jairo Hernández, PhD.
Universidad Nacional
de Colombia

Paulo Gaona García, PhD.
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, Colombia

Gustavo Puerto Leguizamón, PhD.
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, Colombia

Elvis Eduardo Gaona García, PhD.
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, Colombia

Germán Méndez Giraldo, PhD.
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, Colombia

Francisco Santamaría Piedrahíta, PhD.
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, Colombia

Diego Rodríguez Patarroyo, PhD.
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, Colombia

DIRECTIVAS

Ricardo García Duarte
Rector

Giovanny Tarazona Bermúdez, PhD.
Director Centro de Investigación
y Desarrollo Científico

Julio Barón Velandía, PhD.
Decano de la Facultad de Ingeniería

PREPARACIÓN EDITORIAL

Fabian Ríos Gutierrez, MSc.
Gestor Editorial

Jenny Alexandra Jimenez, MSc.
Corrección de Estilo

Julian Arcila-Forero, MSc.
Diseñador L^AT_EX

ÁRBITROS EN ESTA EDICIÓN

Adriana Carolina Luna Hernández, PhD.
Universidad Antonio Nariño

David Alejandro Zambrano Prada, MSc.
Universidad de Ibagué

Víctor Angulo, PhD.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

German Jairo Hernández, PhD.
Universidad Nacional de Colombia

Ferney Beltrán
Universidad Nacional de Colombia

Miguel Melgarejo, PhD.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Nelson Leonardo Díaz, PhD.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Miguel Ángel García Parra, PhD.
Fundación Universitaria Juan de Castellanos

Lesly Patricia Tejada Benítez, PhD.
Universidad de Cartagena

Luciana De Micco, PhD.
Universidad Nacional de Mar del Plata

Camilo Ramos Moyano, MSc.
Uniparamericana

Herbert Enrique Rojas Cubides, PhD.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Fabio Andrés Pavas Martínez, PhD.
Universidad Nacional De Colombia Sede Bogotá

PERMISO DE REPRODUCCIÓN

Open access



Los artículos incluidos en esta edición se encuentran bajo la licencia "Atribución - No Comercial - Compartir igual"; esta licencia permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de tu obra de modo no comercial, siempre y cuando te den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

Atribución - No Comercial - Compartir igual.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/col/>

Ni la Revista INGENIERÍA, Editor, Comité Editorial, Comité Científico, Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital F.J.C., otorgan ninguna garantía, expresa o implícita, a asumen responsabilidad alguna por la exactitud, completitud o utilidad de cualquier información, aparato, producto o proceso divulgado, o que represente que su uso no infrinja derechos privados. La mención o referencia a algún producto, proceso o servicio comercial en específico, por su marca comercial, marca registrada, fabricante o cualquier otra denominación, no implica ni constituye su endoso, recomendación endoso, recomendación o favorecimiento por parte de la Revista INGENIERÍA. Los juicios y opiniones expresadas por los autores en este medio son de su responsabilidad y no establecen, reflejan o comprometen los de la Revista INGENIERÍA.

COSTO DE PROCESAMIENTO DE ARTÍCULOS

La Revista INGENIERÍA no realiza ningún cobro por las postulaciones, evaluación y publicación de los artículos sometidos. La Universidad Distrital Francisco José de Caldas asume los gastos relacionados con el proceso de edición, gestión y publicación. Los Pares Evaluadores realizan su contribución de manera voluntaria y sin retribución económica.

INDIZADA EN



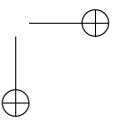
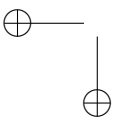
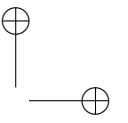
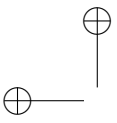


TABLE OF CONTENTS

Editorial

- New Expectations for Improvement Despite Difficulties** 4
Nuevas Expectativas de Mejora a Pesar de las Dificultades
Nelson Leonardo Diaz A.

Ingeniería Eléctrica y Electrónica

- Topologies for Battery and Supercapacitor Interconnection in Residential Microgrids with Intermittent Generation** 6
Topologías para la Interconexión de Baterías y Supercondensadores en Microrredes de Tipo Residencial con Generación Intermitente
Alexander Narváez · Camilo Cortes · Cesar Trujillo

Sección Especial: Mejores Artículos Extendidos - WEA 2019

- Intelligent Interaction Model of the Regulations of the Congress of Colombia for Mobile Devices** 20
Modelo de Interacción Inteligente del Reglamento del Congreso de Colombia para Dispositivos Móviles
Jesús E. Pinzón Ortiz · Álvaro Espinel Ortega · Olga Lucía Ramos

- FRand: MATLAB Toolbox for Fuzzy Random Number Simulation** 38
FRand: Toolbox de MATLAB para Simulación de Números Aleatorios Difusos
Juan Carlos Figueroa García · Jhoan Sebastian Tenjo García

Ingeniería Química y Petróleos

- Conceptual Design of a Plant of Extraction of Saponins Present in the Figue's Juice** 50
Diseño Conceptual de una Planta de Extracción de Saponinas Presentes en el Jugo de Figue
Mario Alonso Velásquez Flórez · Yesid Vélez Salazar

- Extracts From *Salvia Officinalis* and *Sambucus Peruviana* H.B.K. Leaves as Scale Inhibitors** 68
*Extractos de las Hojas de *Salvia Officinalis* y *Sambucus Peruviana* H.B.K. Como Inhibidores de Incrustación*
Luis Castillo Campos · Steevenson Barreto

- Instructions for Authors** 90

Nota Editorial

Nuevas Expectativas de Mejora a Pesar de las Dificultades

REVISTA Ingeniería

Un nuevo año y un nuevo volumen de la *Revista Ingeniería*. Este año está lleno de expectativas para el mejoramiento. Nuestro objetivo apunta a consolidarnos dentro de la base de revistas indexadas en Publindex, dejando atrás momentos difíciles; además, buscaremos mejorar el impacto y visualización de la revista implementando nuevas estrategias que nuestra comunidad irá conociendo con el pasar del año. Agradecemos que nuestras intenciones se hayan visto respaldadas por la comunidad científica, lo cual se evidencia en el volumen de contribuciones que han llegado en los últimos días.

Lamentablemente, y esto se ha salido de las manos de la dirección editorial, los procesos administrativos siempre van a un paso diferente al de los procesos académicos, por lo que generalmente no van más rápido para permitir una normal operación del trabajo científico. La parte administrativa tiende a retrasar y a entorpecer el desarrollo normal de los procesos de la revista. En esta oportunidad, la *Revista Ingeniería* se ha visto seriamente afectada por los retrasos administrativos en lo que tiene que ver con la contratación del equipo editorial, el cual es fundamental para asegurar el cumplimiento de los procesos editoriales definidos en procesos tan fundamentales como la verificación de requisitos, corrección de estilo y diagramación.

Lamentablemente, la Universidad solo reconoce la importancia de la revista cuando se alcanzan resultados positivos como lograr indexaciones. Sin embargo, los entes administrativos no reconocen que este es un proceso continuo que requiere de las garantías para seguir funcionando y que al no proporcionar las herramientas adecuadas para que la revista pueda cumplir con sus procesos, entre ellos la periodicidad, se afecta gravemente la posibilidad de mantenerla en los lugares de prestigio a los cuales ha logrado llegar.

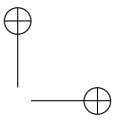
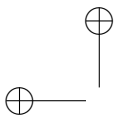
Pedimos disculpas a nuestros autores que acuciosamente realizan sus procesos de postulación esperando que sean atendidos con diligencia por parte del equipo editorial, equipo que al menos durante los primeros dos meses del año no existió para dar trámite a sus contribuciones.

Esperamos que este inconveniente no se presente de nuevo y de nuestra parte nos comprometemos a incrementar esfuerzos para lograr lanzar las ediciones más rápidamente.

Open access



Cite this paper as: N. Díaz, "Nuevas Expectativas de Mejora a Pesar de las Dificultades.", *Ingeniería*, Vol. 25, No. 1, pp. 4-5, Jan-Apr. 2020.
© The authors; reproduction right holder Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.16029>

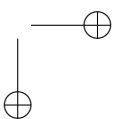
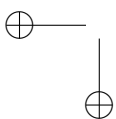


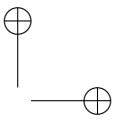
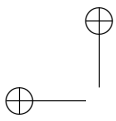
N. Díaz

Esta edición presenta contribuciones en diferentes áreas de ingeniería, tocando aplicaciones basadas en sistemas difusos y soluciones para sistemas de almacenamiento híbridos en microrredes eléctricas, pasando por soluciones particulares de la industria petrolera y diseño conceptual de plantas para la industria de alimentos y finaliza con modelos de interacción para la reglamentación del uso de dispositivos móviles en el Congreso de la República.

Nelson Leonardo Díaz A., PhD. 

Editor Revista *INGENIERÍA*
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
nldiaza@udistrital.edu.co





Topologies for Battery and Supercapacitor Interconnection in Residential Microgrids with Intermittent Generation

Topologías para la Interconexión de Baterías y Supercondensadores en Microrredes de Tipo Residencial con Generación Intermitente

Alexander Narvaez¹,^{2,1} Camilo Cortes¹,¹ Cesar Trujillo²

¹Universidad Nacional de Colombia, ²Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Correspondence: anarvaez@udistrital.edu.co, caacortesgu@unal.edu.co, cltrujillo@udistrital.edu.co

Recibido: 05/12/2019. Modificado: 27/01/2020. Aceptado: 13/02/2020.

Abstract

Context: This paper presents a comparative study of the performance of three topologies for interconnecting Lithium ion batteries and supercapacitors in a hybrid energy storage system for use in electric residential microgrids with intermittent generation. The hybrid system's main purpose is to prolong battery life, using the supercapacitor to handle the dynamic component of current from a pulsed current load. This work builds upon a preliminary simulation-based study, in which two semi-active topologies were compared and evaluated. Here, we add an active topology to the study and describe the operational benefits of each topology.

Method: For every topology in this study, a non-isolated half-bridge bidirectional DC converter was used, and a proportional-integral (PI) double-loop linear ACC control algorithm was designed for controlling the converters. In the active topology an additional optimisation-based real-time frequency-decoupling control strategy was employed.

Results: A parallel active topology allows better management of stored energy in the SC by supporting variation of SC terminal voltages with a DC converter as interface to the DC bus.

Conclusions: Semi-active topologies are easier to design and control, but the operational benefits of supercapacitors require voltage variation at the terminals. This variation is made possible with an active topology.

Keywords: Lithium-ion battery; supercapacitor; DC/DC bidirectional converter, Energy Storage System (ESS); power density; energy density

Acknowledgements: First author thanks Universidad Distrital Francisco José de Caldas for the financial support in his doctoral studies through the study commission contract N° 000101-2016.

Language: English

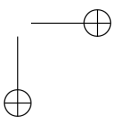
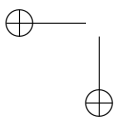
Open access

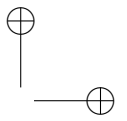
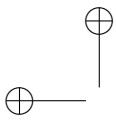


Cite this paper as: A. Narvaez, C. Cortes, C. Trujillo, "Topologies for the Interconnection of Batteries and Supercapacitors in Residential Type Microgrids with Intermittent Generation", Ingeniería, Vol. 25, Num. 1, pp. 6-19, Jan.-Apr. 2020.

© The authors; reproduction right holder Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.15668>





Resumen

Contexto: Este artículo presenta un estudio mediante simulación del comportamiento de tres topologías para la interconexión de baterías y supercondensadores en un sistema híbrido de almacenamiento de energía con potencial aplicación a microrredes eléctricas residenciales. El estudio se basa en una comparación preliminar de dos topologías semi-activas hecha por los autores. En este artículo se añade una topología activa al estudio comparativo.

Método: En cada una de las topologías del presente estudio se ha usado un convertidor DC bidireccional de medio puente y como estrategia de control básica se usó un control de corriente promedio de doble lazo. Para la topología activa se utilizó una estrategia de control adicional para el desacople de las componentes dinámicas y promedio de la carga o generación pulsante.

Resultados: La topología activa permite utilizar mejor la energía almacenada en el condensador, gracias a la posibilidad de variar la tensión en sus terminales.

Conclusiones: El diseño y control de las topologías semi-activas resulta mucho más sencillo que el de la topología activa en paralelo. No obstante, para aprovechar la capacidad de almacenamiento del supercondensador, la tensión entre sus terminales debe tener una variación importante, lo que se puede conseguir con la topología activa.

Palabras clave: Sistema Híbrido de almacenamiento de energía; batería de ion-litio; supercondensador; Convertidor DC/DC bidireccional, Densidad de potencia; Densidad de Energía.

Agradecimientos: El Autor principal agradece a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por el apoyo financiero en sus estudios de doctorado a través del contrato de comisión de estudios N° 000101-2016.

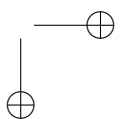
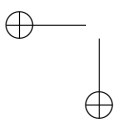
Idioma: Inglés

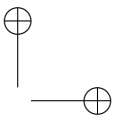
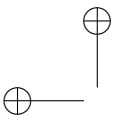
1. Introduction

The evolution of electric systems has led to development of electric microgrids, defined as a collection of distributed generators and loads placed within a demarcated border. A microgrid can operate in either grid-connected or islanded mode [1], [2]. At a lower power scale, some authors have introduced the concept of residential microgrids or nanogrids, conceived as microgrids connected at a single point of common coupling, located in a low voltage distribution grid. A residential microgrid can come up by limiting its electric boundary to a single house with a capacity range of 2 – 20 kW [1], [3], [4].

Use of wind turbines or solar panels in residential applications facilitates the application of energy storage systems (ESS) to solve the problems associated with intermittent power generation. Battery ESS are commonly used in such application [5]. However, it has been demonstrated that storing intermittent energy from renewable sources could reduce battery lifetime [6]. In order to solve this problem, combinations of different storage technologies have been studied.

A hybrid energy storage system (HESS) uses two or more energy storage technologies. HESS usage provides a convenient means of using every operational attribute of multiple storage technologies [7]. However, the feasibility of an HESS implementation depends on several technical and economic factors.





Since the late 1990s, one of the most widely used and studied HESS configurations has been the combination of batteries and supercapacitors (SC) [8], [9]. While the main focus has been on electric vehicles [10], other HESS applications have included wind turbines [7], [11], solar generation systems [6] and uninterruptible power supplies (UPS) [12], [13]. Advantages afforded by the combination of batteries and supercapacitors include extension of battery life, rapid energy storage, suitability as an ESS for intermittent energy sources, and reduced environmental impact.

In the specific application of microgrids, HESS design must account for many of the microgrid's operational factors, including the type of energy supply, the microgrid's operating mode (interconnected or islanded), the voltage conversion ratio, energy and power ratings, and the chosen power electronics topology [5].

Various topologies exist for interconnection of batteries and supercapacitors in a HESS. These can be classified as passive, active and semi-active. In an active topology the storage elements are connected via DC converters while in a passive topology the storage technologies are directly interconnected [14]. In a semi-active topology, only one of the storage devices is connected through a DC converter, or a single converter is used to connect the pre-connected storage mediums to the load.

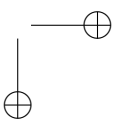
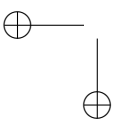
This paper presents a study of the performance of three topologies for battery and supercapacitor interconnection in a HESS. The work is based on our own preliminary study of topologies, in which we evaluated two semiactive topologies [15]. Here, the study is extended to include an active topology, and the operational benefits of each topology are described. The paper is organised as follows: A detailed system description and the transfer functions of the system and controllers are described in section 2; section 3 presents the simulation results; our conclusions are presented in section 4.

2. System description

This study employed a HESS composed of Li-ion batteries and a SC designed for a 5 kW rated capacity residential microgrid. Three topologies for battery and SC interconnection were simulated: Two semi-active and one active. The storage system had a rated energy of 5 kWh and a rated power of 5 kW. The DC bus had a rated voltage of 360 V.

A non-isolated bidirectional half-bridge DC converter topology was chosen for integration of the storage mediums in an active or semi-active topology. Figure 1 shows the topology of the converter and its control architecture with a battery as single storage unit. This converter and its control architecture function as a buck converter when the battery is in charging mode and as boost converter when it is discharging. An ACC double-loop control strategy, commonly used for charging and discharging batteries [16], was selected for this purpose.

To simulate the HESS topologies, a square-shaped load of frequency 10 Hz was connected. The main purpose of combining batteries and supercapacitors within a HESS in this study is extension of battery life by utilising a shortterm storage medium (supercapacitor) to handle the dynamic



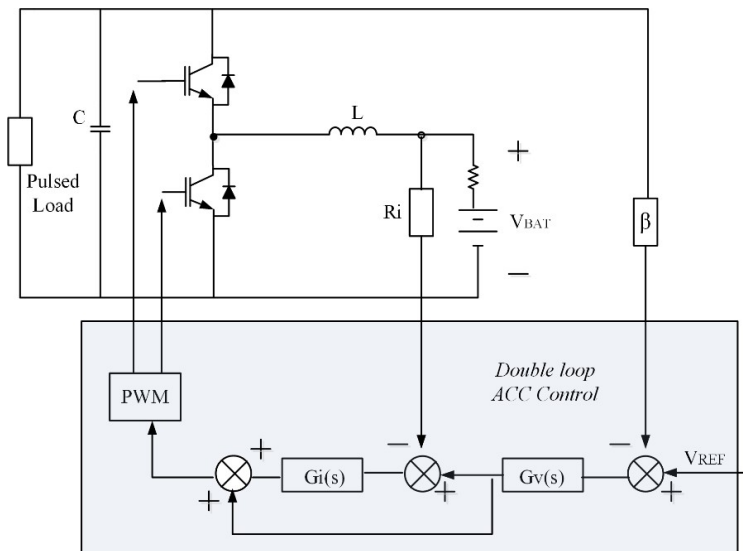


Figure 1. Half-Bridge DC/DC converter with an ACC double loop control strategy.

component of the current load. Some studies have demonstrated that this combination can extend battery life by reducing electric stress in the battery caused by sudden changes in load or generation. These type of systems are economically justified when battery life is extended by 50 % or more [17].

MATLAB's SISOTOOL was the main computational tool used for controller design and calculation of individual elements of the converter. For simulating the entire system, we used Power SIM 11.0.1 software.

We analysed two semi-active topologies and one active topology: The parallel semi-active hybrid topology (Figure 2), the battery semi-active hybrid topology (Figure 3) and the parallel active topology (Figure 4). For the two semi-active topologies, a battery converter was designed and sized for the battery capacity required. For the parallel active hybrid topology, we designed a new converter of appropriate size for the supercapacitor.

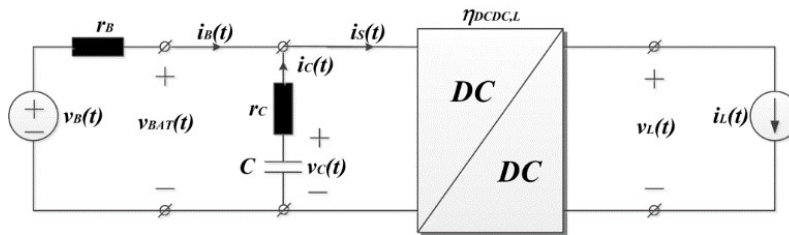


Figure 2. Parallel semi-active hybrid topology [23].

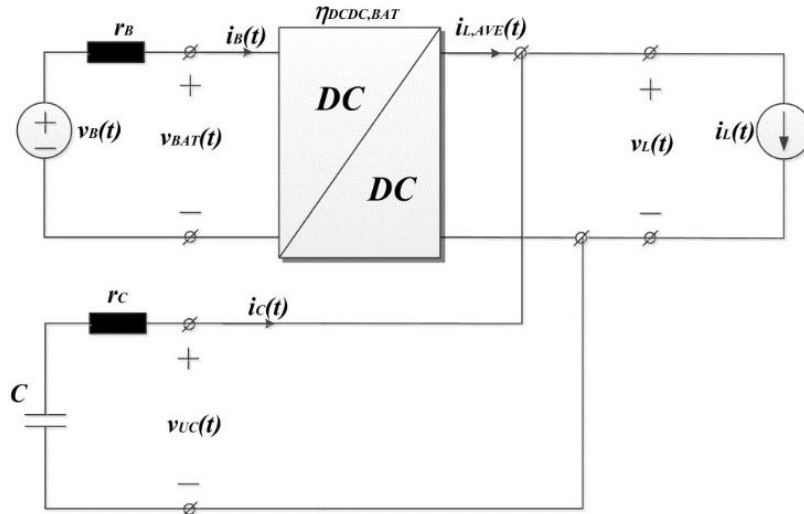


Figure 3. Battery semi-active hybrid topology [23].

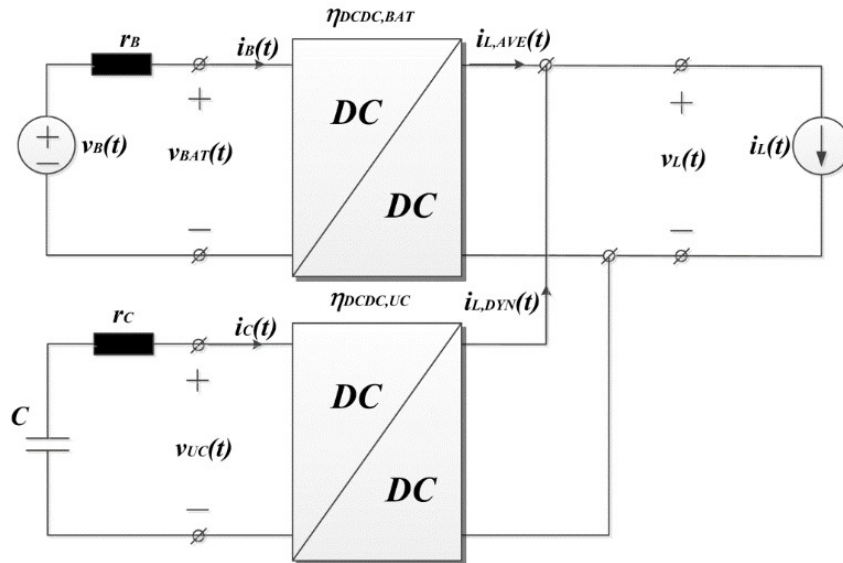


Figure 4. Parallel active hybrid topology [23].

Table I summarises the elements used in the converters. The main transfer functions of the system under study and the controllers used are shown in Table II.

Table I. DC/DC converter parameters for the battery and supercapacitor.

Variable name	Variable	Battery Converter	SC Converter
Rated Power	Pn	5 kW	7 kW
Rated Voltage	Vout	360 V	360 V
Rated input Voltage	Vbat	144 V	120–240 V
Nominal current	In	13,9 A	19,44 A
ΔIL_max	ΔIL_max	3,5 A	5,8 A
Switching freq	fs	4 kHz	12 kHz
Filter Inductance	L	6 mH	3 mH
Filter capacitor	C	1 mF	180 μ F

Table II. Basic transfer functions for DC converter control.

Function	Transfer Function
Duty cycle to inductor current	$G_{id}(s) = \left. \frac{\hat{i}_L(s)}{\hat{d}(s)} \right _{\hat{v}_i = \hat{i}_o = 0} = \frac{V_{DC} + (1-D)Z_{DC}I_{Lbat}}{sL + (1+D)^2 Z_{DC}}$
PWM modulator gain	$FM = 1$
Current loop gain	$T_i(s) = G_{id}(s)R_i G_{ix}(s)F_M$
Control voltage to inductor current	$ILC(s) = \left. \frac{\hat{i}_L(s)}{\hat{v}_C(s)} \right _{\hat{v}_i = \hat{i}_o = 0} = (1 + G_{ix}(s)) \frac{F_M G_{id}(s)}{1 + T_i(s)}$
Inductor current to output voltage	$G_{vi}(s) = \left. \frac{\hat{v}_{DC}(s)}{\hat{i}_L(s)} \right _{\hat{v}_i = \hat{i}_o = 0} = \frac{V_{DC}Z_{DC}(1-D) - Z_{DC}SLI_{Lbat}}{V_{DC} + (1-D)Z_{DC}I_{Lbat}}$
Control Voltage to output voltage	$V_{OC}(s) = \left. \frac{\hat{v}_{DC}(s)}{\hat{v}_C(s)} \right _{\hat{v}_i = \hat{i}_o = 0} = ILC(s)G_{vi}(s)$
Voltage loop gain	$T_V(s) = \beta V_{oc}(s)G_{vx}(s)$
Current controller	
Battery, $x = 1$	$G_{ix}(s) = \frac{w_{ix}(1 + \frac{s}{w_{zx}})}{s(1 + \frac{s}{w_{px}})}$
SC, $x = 2$	
Voltage controller	$G_{vx}(s) = \frac{w_{vx}}{s}$

The variables and transfer functions in Table II were used in the DC converter control loops, as shown in Figure 5. To ensure system stability, the current loop gain $T_i(s)$ has a minimum phase margin of 50 degrees with a cut-off frequency much lower than the switching frequency: $10\% fs < fc < 5\% fs$. A similar approach was employed for design of the voltage control loop controller $T_v(s)$, with its cut-off frequency set much lower than the cut-off frequency of the current loop: $10\% fs < f_{cut_current} < 5\% fs$. Additionally, for effective separation of average and dynamic load current components, it is recommended that the bandwidth of the battery voltage

control loop be much smaller than the bandwidth of the SC voltage loop. This is to ensure that only the SC compensates for rapid fluctuations and the battery responds to slow dynamic power [18], [19]. Based on the above, with regards to controller design, we consider it convenient to use a higher switching frequency for the SC converter. Table III summarises some of the control parameters.

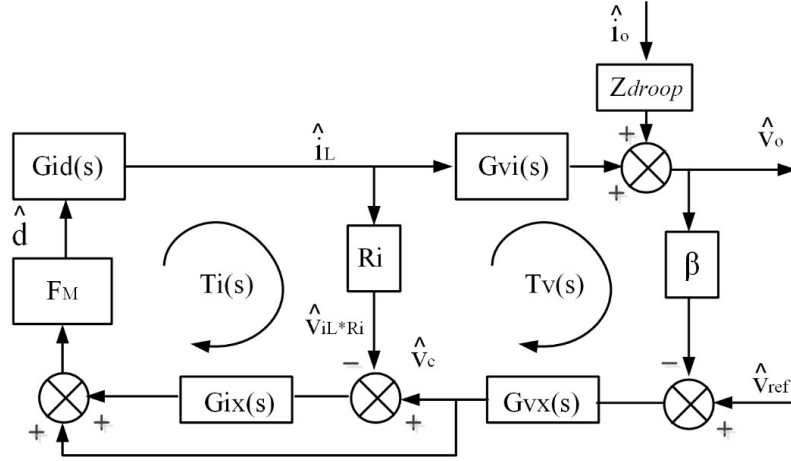


Figure 5. DC/DC bidirectional converter control loops.

Table III. Control parameters for DC converters.

	Battery Converter	Supercapacitor Converter
Voltage sensor gain (β)	1	1
Current sensor gain (R_i)	1	1
Current control loop bandwidth	625 Hz	1660 Hz
Voltage control loop bandwidth	34,3 Hz	155 Hz
Current controller phase margin	65,8°	70,1°
Voltage controller phase margin	77,9°	60,1°
R_{DROOP} / C_{DROOP}	2 Ω	0,1 F
Current controller	$G_{i1}(s) = \frac{4741(s+1456)}{s(s+81990)}$	$G_{v1}(s) = \frac{25,7}{s}$
Voltage controller	$G_{i2}(s) = \frac{33377(s+3163)}{s(s+416800)}$	$G_{v2}(s) = \frac{87,3}{s}$

3. Simulation results and comparative analysis of the topologies studied

This section presents simulation results for the three topologies under investigation, obtained using Power SIM 11.0.1 software. The following plots were obtained from the system and topologies described in section 2. First, the DC converter was designed and analysed with li-ion batteries as a single storage medium. The schematic circuit is provided in Figure 1.

As shown in Figure 6(a), the load current fluctuates between 50 % and 100 % of the nominal current, with a switching frequency of 10 Hz. Figure 6(b) shows the output voltage with a small variation over 360 V due to the implemented double-loop control strategy. Figure 6(c) shows how the battery needs to handle large current variations due to the referred load current. For effective ripple reduction, a 50 μ F capacitor was connected between the battery terminals.

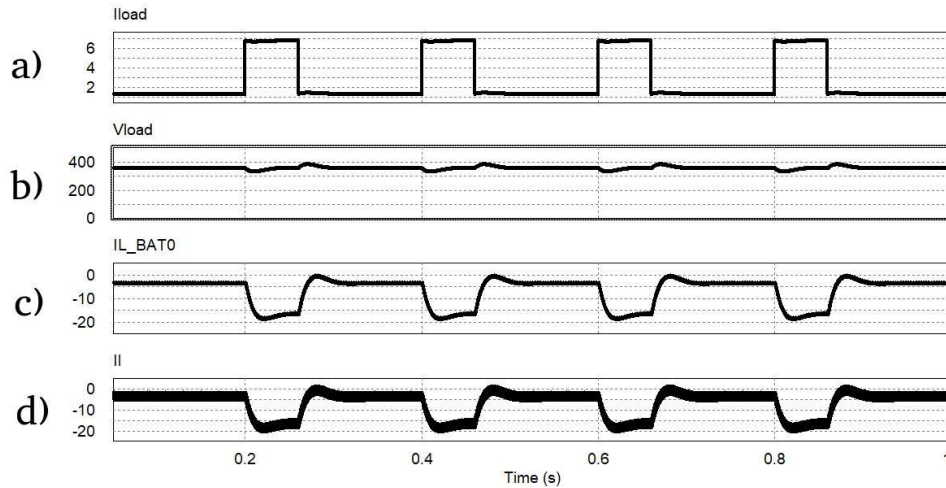


Figure 6. Simulation plots of DC converter with batteries as a single storage unit. (a) Current Load [A]. (b) Output voltage [V]. (c) Battery current [A]. (d) Inductor current [A].

3.1. Simulation results for the hybrid parallel semi-active topology

We next added a supercapacitor to the previous battery-based storage system, connecting the SC at the battery terminals to create a semi-active hybrid parallel topology, with the expectation that the SC would handle the dynamic component of the pulsed current load. The SC's time constant was designed to be much longer than the period of the pulsed load, e.g. $T_{load} = 0,2s$. This time constant depends strongly on the internal resistances of the battery and SC, so an inaccurate estimation of these electric parameters may result in a poor representation of the behaviour of the real system.

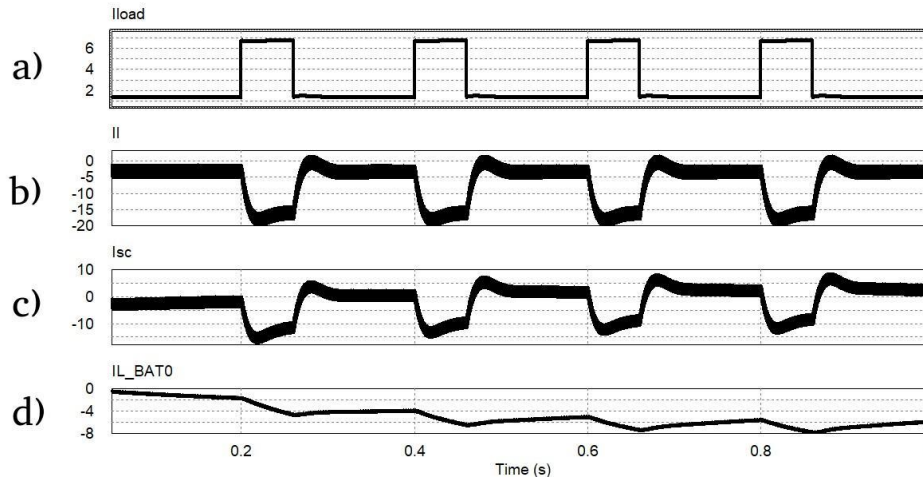


Figure 7. Simulation plots for a semi-active parallel topology. (a) Current Load [A]. (b) Output voltage [V]. (c) Supercapacitor current [A]. (d) Battery current [A].

Inclusion of the SC necessitates use of a bigger filter capacitor to reduce over-voltage in the DC bus. After connecting the new filter, the transfer functions and the controllers were updated. Figure 7 shows time plots of the parallel semi-active topology. Figure 7(b) and (c) show how the SC current closely follows the dynamic component of the inductor current with an approximate variation of 16 A. Battery current ripple is thus reduced to less than 2 A, as shown in Figure 7(d). The main advantages of this system behaviour are a potential reduction in battery current capacity, and an increase in battery lifetime resulting from its reduced exposure to electric stress.

3.2. Simulation results for the hybrid battery semi-active topology

Next, we modified the previous battery-based ESS by connecting a SC to the terminals of the DC bus to obtain a hybrid battery semi-active topology. Simulation results for this topology are shown in Figure 8. The SC was selected using a similar method to that of the previous topology. Thus, as in the previous case, effective power management and reliable predictions of behaviour rely strongly on accurate estimation of storage device parameters in the electrical model. The large capacitance connected to the load terminals improves voltage regulation in the DC bus, but has a significant effect on system dynamics and their controllability. Figure 8(b) shows a significant low frequency variation in battery current. As shown in Figure 8(c), the SC acts as a high pass filter on the converter's high-frequency current component.

3.3. Simulation results for the hybrid parallel active topology

HESS energy management in an active topology demands a more complex control strategy [20] because of the need to disaggregate the average and dynamic components of a pulsed current. We

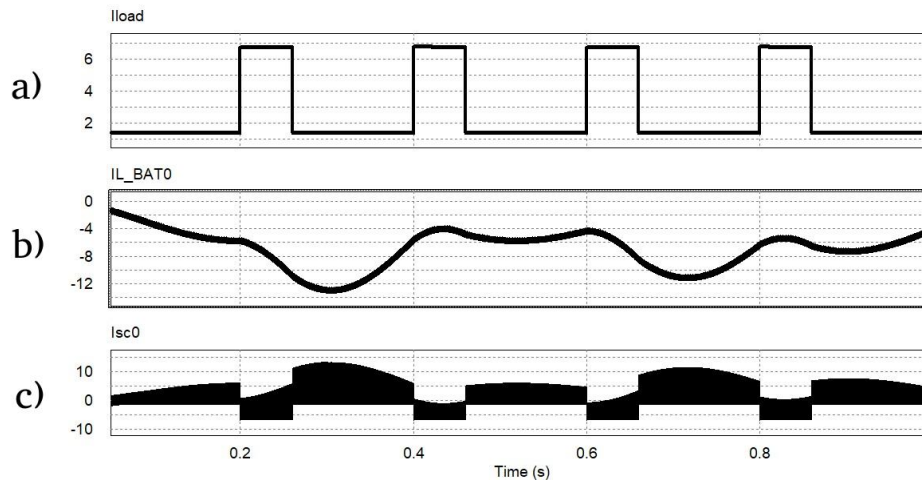


Figure 8. Simulation plots for a semi-active battery topology. a) Load current [A] b) Battery current [A]. C) Supercapacitor current [A].

therefore selected an optimisation-based real-time frequency-decoupling control strategy for the present study. A real-time control strategy allows the controllers to operate independently without the need for central controllers and communications, improving system reliability [21]. An extended explanation of this control strategy is presented in [18], [19]. In general terms, a virtual low pass filter and high pass filter, related to the parameters R DROOP and C DROOP of Table III, are included in a third control loop for each DC converter, with one converter for every storage technology used. A specific application for residential microgrids with an emulated solar generator is presented in [22].

The complete schematic circuit for the parallel active hybrid topology is shown in Figure 9. The pulsed current load, labelled LOAD in the schematic, is connected to the DC bus. The output voltage remains almost constant over 360 V. The SC converter switching frequency was chosen to be higher than that of the battery converter. The difference in switching frequencies allows for better adjustment of the voltage controllers' bandwidth and provides the SC converter with faster dynamics. Additionally, the SC converter's rated power should also be higher because of the current variation in the supercapacitor. SC converter parameters and controller bandwidths for the complete system in a parallel active hybrid topology are summarised in Table I and Table II, respectively.

Figure 10 shows simulation plots for the parallel active topology. The injected load current, as shown in Figure 10(a), is divided between the converters in parallel as expected. The load current's dynamic component is assigned to the SC, and the average component is assigned to the battery. These current components referred to the side of each storage medium are shown in Figure 10(b) and (c). Sudden changes in load current do not result in immediate battery current changes, considerably reducing electrical stress in the battery.

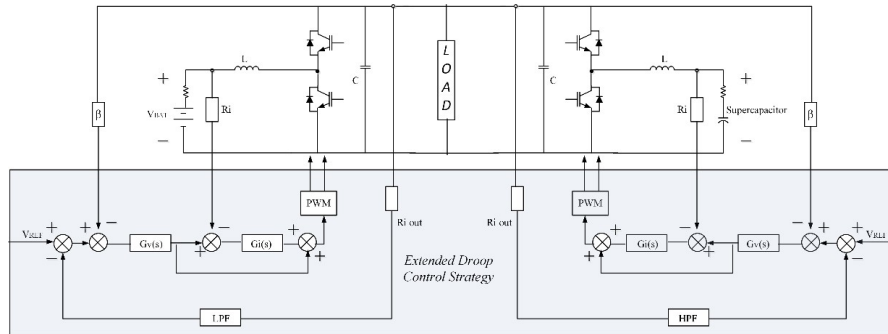


Figure 9. System Schematic with the implemented control strategy

As mentioned in section 2, using a converter with the SC enables better management of its stored energy. Figure 10(d) shows the voltage in the SC’s terminals. The plot shows a SC voltage variation in the 5V range. SC terminal voltage variation depends on the energy associated with oscillations in the load current as well as the SC value. It is important to note that in the semi-active topologies, SC terminal voltage variation is prevented by direct parallel connection to the terminals of the battery or the DC bus, both of which have defined voltage levels.

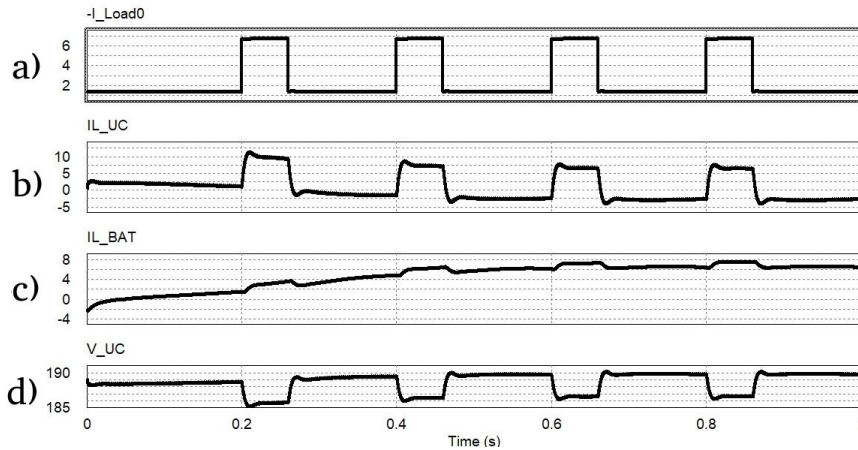
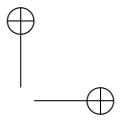
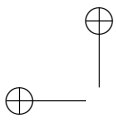


Figure 10. Simulation plots for an active topology HESS. (a) Injected Load Current [A]. (b) Battery current plot [A]. (c) SC current plot [A] (d) Voltage variations in SC terminals [V].

4. Conclusions

We performed a comparison of three HESS topologies composed of lithium-ion batteries and supercapacitors with potential application to residential microgrids. A PI double-loop linear ACC control algorithm and an extended droop control strategy were designed for energy management in the three topologies studied.



In an active parallel topology, effective separation of the dynamic and average components of the injected current depends on the parameters of the virtual filters included in the third control loop of the control strategy implemented.

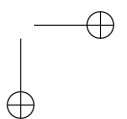
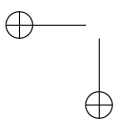
In an active parallel topology, it is important to have a faster dynamics of the SC converter compared to the battery converter. Selecting larger bandwidths for SC voltage and current controllers normally enables convenient use of a higher switching frequency for the SC converter.

Semi-active topologies are simpler and cheaper than the parallel active topology, but they are less easily controlled and have limited operational performance. In contrast, the active topology allows better management of energy stored in the SC because voltages at the terminals can vary. This is made possible by use of a DC converter to connect the SC, allowing a near constant voltage in the DC bus.

A suitable choice of value for the SC depends on two main factors: The energy associated with fluctuations in the injected current, and the used conversion ratio of the DC converter. In addition, by selecting a suitable capacitance value, it is possible to manage the dynamics into the supercapacitor, varying the parameters R_{DROOP} and C_{DROOP} .

Referencias

- [1] U.G.K. Mulleriyawage, W. Shen, C. Hu, "Battery system selection in DC microgrids for residential applications: An Australian case study", *Proc. 14th IEEE Conf. Ind. Electron. Appl. ICIEA 2019*, pp. 1926–1931, 2019. <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2019.8834035> ↑7
- [2] DOE, "Summary Report: 2012 DOE Microgrid Workshop," 2012. ↑7
- [3] C. Wang, L. He, "High-performance Adaptive Control for Inverter-based Residential Microgrids", *2019 IEEE Energy Convers. Congr. Expo. ECCE 2019*, pp. 3516–3523, 2019. <https://doi.org/10.1109/ECCE.2019.8912868> ↑7
- [4] G. Di Somma, M. Caliano, M. Graditi, G. Pinnarelli, A. Menniti, D. Sorrentino, N. Barone, "Designing of Cost-Effective and Low-Carbon Multi-Energy Nanogrids for Residential Applications", *Inventions*, vol. 5, no.7, p. 22, 2020. <https://doi.org/10.3390/inventions5010007> ↑7
- [5] C. Trujillo *et al.*, *Microrredes eléctricas*, 1st ed. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2015. ↑7, 8
- [6] S.Y. Kan, M. Verwaal, H. Broekhuizen, "The Use of Battery-capacitor Combinations in Photovoltaic Powered Products", *J. Power Sources*, vol. 162, no.2 SPEC. ISS., pp. 971–974, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.07.001> ↑7, 8
- [7] M. Chowdhury, "Grid Integration Impacts and Energy Storage Systems for Wind Energy Applications—A Review", *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–8, 2011. <https://doi.org/10.1109/PES.2011.6039798> ↑7, 8
- [8] J.P. Zheng, T.R. Jow, M.S. Ding, "Hybrid Power Sources for Pulsed Current Applications", *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 37, no.1, pp. 298–292, 2001. <https://doi.org/10.1109/7.913688> ↑8
- [9] R.A. Dougal, S. Liu, R.E. White, "Power and Life Extension of Battery-Ultracapacitor Hybrids", *IEEE Trans. Components Packag. Technol.*, vol. 25, no.1, pp. 120–131, 2002. <https://doi.org/10.1109/6144.991184> ↑8
- [10] A. Khaligh, "Battery, Ultracapacitor, Fuel Cell, and Hybrid Energy Storage Systems for Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles: State of the Art", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 59, no.6, pp. 2806–2814, 2010. <https://doi.org/10.1109/TVT.2010.2047877> ↑8
- [11] N. Mendis, K.M. Muttaqi, S. Perera, "Management of Battery-supercapacitor Hybrid Energy Storage and Synchronous Condenser for Isolated Operation of PMSG Based Variable-speed Wind Turbine Generating Sys-

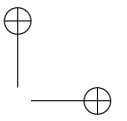
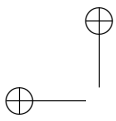


- tems”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no.2, pp. 944–953, 2014. <https://doi.org/10.1109/TSG.2013.2287874> ↑8
- [12] A. Lahyani, P. Venet, A. Guermazi, A. Troudi, “Battery/Supercapacitors Combination in Uninterruptible Power Supply (UPS)”, *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no.4, pp. 1509–1522, 2013. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2012.2210736> ↑8
- [13] Y. Zhan, Y. Guo, J. Zhu, L. Li, “Power and Energy Management of Grid / PEMFC / Battery / Supercapacitor Hybrid Power Sources for UPS Applications”, *Electr. Power Energy Syst.*, vol. 67, pp. 598–612, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.12.044> ↑8
- [14] A. Etxeberria, I. Vechiu, H. Camblong, “Hybrid Energy Storage Systems for Renewable Energy Sources Integration in Microgrids : A Review”, *Power Electron. Conf. Int.*, pp. 532–537, 2010. <https://doi.org/10.1109/IPECON.2010.5697053> ↑8
- [15] A. Narvaez, C. Cortes, C.L. Trujillo, “Comparative Analysis of Topologies for the Interconnection of Batteries and Supercapacitors in a Hybrid Energy Storage System”, in *IEEE 8th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation*, 2017. <https://doi.org/10.1109/PEDG.2017.7972542> ↑8
- [16] R.K. Singh, N.S. Chauhan, S. Mishra, “A Novel Average Current-mode Controller Based Optimal Battery Charger for Automotive Applications”, in *2012 International Conference on Devices, Circuits and Systems*, ICDCS 2012, 2012, pp. 135–139. <https://doi.org/10.1109/ICDCSyst.2012.6188690> ↑8
- [17] M. Ortúzar, J. Moreno, J. Dixon, “Ultracapacitor-based Auxiliary Energy System for an Electric Vehicle: Implementation and Evaluation”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 54, no.4, pp. 2147–2156, 2007. <https://doi.org/10.1109/TIE.2007.894713> ↑9
- [18] Q. Xu, X. Hu, P. Wang, J. Xiao, P. Tu, C. Wen, “A Decentralized Dynamic Power Sharing Strategy for Hybrid Energy Storage System in Autonomous DC Microgrid”, *Ind. Electron. IEEE Trans.*, vol. 64, no.7, pp. 5930–5941, 2017. <https://doi.org/10.1109/TIE.2016.2608880> ↑12, 15
- [19] Q. Xu, J. Xiao, X. Hu, “Decentralized Power Management Strategy for Hybrid Energy Storage System with Autonomous Bus Voltage Restoration and State of Charge Recovery”, *Ind. Electron. IEEE Trans.*, vol. 0046, no.c, 2017. <https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2686303> ↑12, 15
- [20] T. Bocklisch, “Hybrid Energy Storage Systems for Renewable Energy Applications,” *Energy Procedia*, vol. 73, pp. 103–111, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.582> ↑14
- [21] J. M. Guerrero, M. Chandorkar, T. Lee, P. C. Loh, “Advanced Control Architectures for Intelligent Microgrids; Part I: Decentralized and Hierarchical Control”, *Ind. Electron. IEEE Trans.*, vol. 60, no.4, pp. 1254–1262, 2013. <https://doi.org/10.1109/TIE.2012.2194969> ↑15
- [22] A. Narvaez, C. Cortes, C. Trujillo, “Real-Time Frequency-Decoupling Control for a Hybrid Energy Storage System in an Active Parallel Topology Connected to a Residential Microgrid with Intermittent Generation”, in *Applied Computer Sciences in Engineering*, 2018, pp. 596–605. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00350-0_49 ↑15
- [23] A. Kuperman, I. Aharon, “Battery-ultracapacitor Hybrids for Pulsed Current Loads: A Review”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no.2, pp. 981–992, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.010> ↑9, 10

Alexander Narvaez Cubillos



He received his B.S degree in Electrical Engineering from the Universidad Nacional, Bogotá, Colombia, in 2002, and the M.Sc. degree in Electrical Engineering from the Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, in 2007. He is Associate Professor in the Department of Electrical Engineering, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. He is currently pursuing the Ph.D. degree from the Department of Electrical Engineering, Universidad Nacional, Bogotá, Colombia. He is the member of the Research Laboratory of Alternative Energy Sources, Universidad Distrital. His current research interests include Energy Storage Systems, microgrids and power converters control.
e-mail: anarvaez@udistrital.edu.co



Camilo A. Cortes



He received his B.Eng. degree (5 years) from the Universidad Nacional de Colombia in 2000 and the Ph.D. degree (with honours) from the Universidad Nacional de San Juan, Argentina, in 2005. He was doctoral visiting student in 2002 at the FH Giessen-Friedberg and the NLÖ, Hannover in Germany from 2005 to 2007. He worked as a professor in Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. In 2006, he was postdoctoral visiting scholar at the Katholieke Universiteit Leuven, Belgium. From 2015 to 2016, he was a visiting researcher at the Galvin Center for Electricity Innovation, Illinois Institute of Technology, Chicago, IL, USA. Since 2008, he has been an Associate Professor of the Universidad Nacional de Colombia, Bogotá Campus.

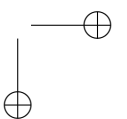
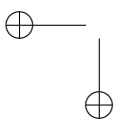
e-mail: caacortesgu@unal.edu.co

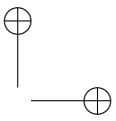
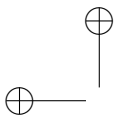
C. L. Trujillo Rodríguez



He received his B.S. degree in Electronics Engineering from the Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, in 2003, the M.Sc. degree in Electrical Engineering from the Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, in 2006, and the Ph.D. degree in Electronics Engineering from the Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, Spain, in 2011. He currently works as a professor in the Department of Electrical Engineering, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, where he teaches courses on analogue circuits and power electronics. His main research interests include modelling and control of power converters applied to the distributed generation and microgrids.

e-mail: cltrujillo@udistrital.edu.co





Research

REVISTA
Ingeniería

Intelligent Interaction Model of the Regulations of the Congress of Colombia for Mobile Devices

Modelo de Interacción Inteligente del Reglamento del Congreso de Colombia para Dispositivos Móviles

Jesús E. Pinzón Ortiz¹,² Álvaro Espinel Ortega,² Olga Lucía Ramos³

¹Estudiante Maestría CIC, Universidad Distrital (Bogotá, Colombia), ²Docente Doctor Ingeniería, Universidad Distrital (Bogotá, Colombia), ³Docente Doctor Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá, Colombia)

Correspondence: jepinzono@correo.udistrital.edu.co, aespinel@udistrital.edu.co

Recibido: 14/11/2019. Modificado: 27/01/2020. Aceptado: 27/01/2020.

Abstract

Context: There is no technological system for mobile devices, which interacts naturally with the user and provides a precise answer to any question related to the Regulations of the Congress. The present work establishes an “Intelligent Interactive Model of the Regulations of the Colombian Congress for mobile devices” MIRC. To achieve this, it was implemented in an app.

Method: The proposed Interaction Model is based on the Information Recovery Model (Architecture of a Natural Language Processing System). However, it was necessary to include several structural changes in the sense that as the system must process the user’s voice and respond with synthesized voice, it was necessary to emulate several processes that facilitate the interaction of the mobile with the user.

Results: a MIRC app “Intelligent Interactive Model of the Congress Regulations for mobile devices” is provided, adjusted to requirements suggested by several users (without disabilities and with disabilities); In general, very useful thanks to its ease consultation for issues related to the Regulation.

Conclusions: The objective of providing a MIRC app was fulfilled, through an Intelligent Interaction Model for consulting the Congress Regulations, using the PLN Natural Language Programming, where the user interacts with the mobile device, using his voice to make a request and the answer is given to the device in a digital voice.

Keywords: Natural Language Processing (NLP o PLN), Accessibility, AccelerometerSensor, SpeechRecognizer, TextToSpeech, Search Model and Information Retrieval.

Acknowledgements: The authors wish to thank the District University and the GESETIC Research Group.

Language: Spanish

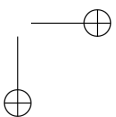
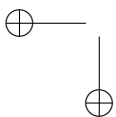
Open access



Cite this paper as: J. E. Pinzón-Ortiz, A. Espinel-Ortega, O. Lucia-Ramos: “Intelligent Interaction Model of the Regulations of the Congress of Colombia for Mobile Devices”, Ingeniería, Vol. 25, Num. 1, pp. 20-37, Jan.-Apr. 2020.

© The authors; reproduction right holder Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.15565>



Resumen

Contexto: No existe un sistema tecnológico para dispositivos móviles que interactúe en forma natural con el usuario y entregue respuesta precisa sobre alguna pregunta relacionada con el reglamento del Congreso. El presente trabajo establece un Modelo Interactivo Inteligente del Reglamento del Congreso de Colombia para dispositivos móviles (MIRC), y para lograrlo se implementa en un aplicativo.

Método: El modelo de interacción propuesto está basado en el modelo de recuperación de información (arquitectura de un sistema de procesamiento del lenguaje natural). Sin embargo, fue necesario incluirle varios cambios estructurales en el sentido en que, como el sistema debe procesar la voz del usuario y responder con voz sintetizada, fue necesario emular varios procesos que facilitan la interacción del móvil con el usuario.

Resultados: e hace entrega de la app MIRC (Modelo Interactivo Inteligente del Reglamento del Congreso para dispositivos móviles), ajustada a requerimientos sugeridos por varios usuarios (sin discapacidad y con discapacidades); en general, es muy útil por su facilidad de consulta sobre temas del reglamento.

Conclusiones: Se cumplió con el objetivo de entregar una app MIRC mediante un modelo de interacción inteligente para la consulta del reglamento del Congreso, usando la programación en lenguaje natural (PLN). En esta, el usuario interactúa con el dispositivo móvil usando su voz para hacer una solicitud y la respuesta se da en voz digital.

Palabras clave: AccelerometerSensor, accesibilidad, modelo de búsqueda y recuperación de información, procesamiento en lenguaje natural, SpeechRecognizer, TextToSpeech.

Agradecimientos: Los autores desean agradecer a la Universidad Distrital y al Grupo de Investigación GESETIC.

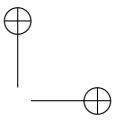
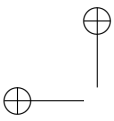
Idioma: Español

1. Introducción

Existen dos razones que motivaron la realización del presente trabajo: la primera, es el desconocimiento que tiene la gran mayoría de los ciudadanos colombianos acerca del quehacer legislativo y administrativo del Congreso de Colombia; la segunda razón es la no existencia en la web de un *software* para dispositivos móviles de fácil acceso a la consulta del reglamento del Congreso de Colombia, el cual permita interactuar mediante su propia voz y le sea dada la respuesta precisa a su consulta en su dispositivo móvil en voz sintetizada.

Las justificaciones de estas dos razones están basadas, la primera, en una encuesta realizada por Transparencia por Colombia con el Centro Nacional de Consultoría [1]; se realizó en cinco ciudades del país a 970 personas (de diferentes estratos), los resultados a destacar son: (a) 45 % no saben o no respondieron a la pregunta sobre las funciones del Congreso, (b) 46 % respondieron a su función principal “la creación de leyes”. Para la segunda razón, se realizó una búsqueda exhaustiva en internet pasando por las webs de parlamentos o congresos legislativos y en los portales de distribución Play Store y App Store, sin embargo, no se encontró ningún *software* de fácil operatividad, amigable con el usuario y de esta naturaleza.

La solución a estas dos razones es el desarrollo de una aplicación [2] llamada Modelo de Interacción Inteligente del Reglamento del Congreso de Colombia (MIRC) para dispositivos móviles, la cual ya está disponible de forma gratuita en el portal Play Store para dispositivos móviles con



el sistema operativo Android. La contribución metodológica y técnica de la realización de la *app* MIRC fue: (a) la creación de un modelo de búsqueda y recuperación de información [3], muy útil para usar en dispositivos móviles; (b) el uso de herramientas de *software*, como funciones avanzadas de Android (entre otras *accelerometerSensor*, *SpeechRecognizer* y *TextToSpeech*), y uso de facilidades de *hardware* incorporadas en los dispositivos móviles inteligentes (sensores, voz sintetizada, reconocimiento de voz) [4]; (c) el utilizar la masificación de equipos celulares en poder de los ciudadanos para uso personal con acceso a internet [5], contribuyendo con una *app* que le permita conocer el Congreso de Colombia, y (d) el hecho de que la aplicación MIRC es un *software* de avanzada, su programación está en lenguaje natural [5] y permite un fácil acceso a las personas sin discapacidad, además, su forma de interacción con dispositivos móviles hace más fácil su manejo para personas con discapacidades visuales o analfabetas [6].

Vale la pena mencionar que el Gobierno de Colombia, a través del MinTIC, ha regulado su política de tecnologías de la información y la comunicación [7], así como su programa Gobierno en Línea [8] y acceso a información pública nacional [9].

2. Diseño del sistema

Realizar un prototipo de *software app* sobre la consulta del reglamento del Congreso de Colombia, el cual facilite su interacción mediante el procesamiento en lenguaje natural con que el usuario le haga una solicitud verbal sobre algún tema específico del reglamento y el sistema le responda con voz sintetizada. Dirigido al público en general, pero facilita especialmente su consulta a usuarios en situación de discapacidad, también en usuarios con problemas de analfabetismo [6].

2.1. Requerimientos del sistema

La Tabla I, describe los requerimientos propuestos que debe cumplir el *software* MIRC. Requerimientos de Persistencia.

- Disposición de un servidor (Cloud Google) para alojar la fuente y el ejecutable de la *app* MIRC.
- Tener disponible un almacenamiento de disco en servidor *hosting* con garantía de servicio absoluta.
- Se requiere una carpeta que contenga el desglose del reglamento del Congreso, la Ley 5 de 1992 [10] actualizada a diciembre 2018 (393 artículos) y archivos relacionados.
- Aloja un archivo que contenga el diccionario de términos, por medio de los cuales debe corresponder con la consulta.
- Aloja las imágenes usadas.

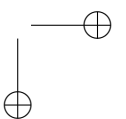
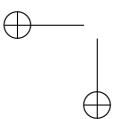


Tabla I. Consideraciones de potencia de los equipos empleados en los diferentes procesos analizados.

COD.RF	Funcionales	Prioridad
RF01	Garantizar la implementación del aplicativo en dispositivos móviles (celulares <i>smart</i> y tabletas).	Primario
RF02	Facilitar la interacción (manipulación) del usuario en el uso del aplicativo con el dispositivo móvil.	Primario
RF03	Permitir la consulta del reglamento del Congreso en procesamiento natural (por voz), incluyendo a usuarios con discapacidades visuales y analfabetas.	Primario
RF04	Permitir la interacción de la consulta en lenguaje natural (usuario solicita información verbalmente y el dispositivo móvil le contesta en voz sintetizada).	Primario
RF05	Permitir a cualquier usuario descargar gratuitamente el aplicativo desde una plataforma para dispositivos móviles con S.O. Android.	Primario
RF06	Facilitar al usuario el acceso a la consulta en forma verbal mediante diferentes palabras claves muy acordes al contenido del reglamento.	Primario
RF07	Ofrecer ayuda en línea, mediante voz sintetizada.	Primario
RF08	Informar al usuario en línea cuando ocurre una falla en la consulta.	Primario
RF09	Garantizar la consulta del reglamento del Congreso con contenidos actualizados a diciembre de 2019.	Secundario
RF10	Pausar respuesta a una consulta.	Secundario
No funcionales		
RNF01	Mantener los colores y simbologías del Congreso de Colombia.	Secundario
RNF02	Garantizar la disponibilidad de descarga del aplicativo y su operatividad en todo momento.	Primario

2.2. Diagrama general de casos de uso

Con el fin de definir las funcionalidades principales del sistema, y de acuerdo con lo solicitado por los clientes, se plantearon los siguientes casos de uso visualizados en el siguiente diagrama general de casos de uso (Figura 1) [11].

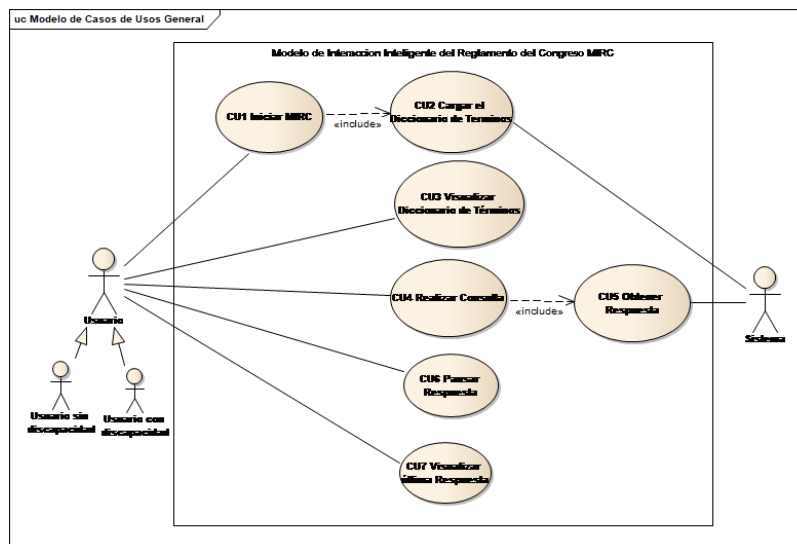


Figura 1. Diagrama general de casos de uso.

reglamento del Congreso. Con lo anterior se minimiza el tiempo de acceso a la consulta y su posterior entrega de la respuesta al usuario.

2.4. Arquitectura del sistema MIRC (modelo de recuperación de información)

A continuación, se puede apreciar la arquitectura del sistema MIRC que contempla prácticamente el modelo de interacción inteligente de búsqueda y recuperación de información utilizado (Figura 3).

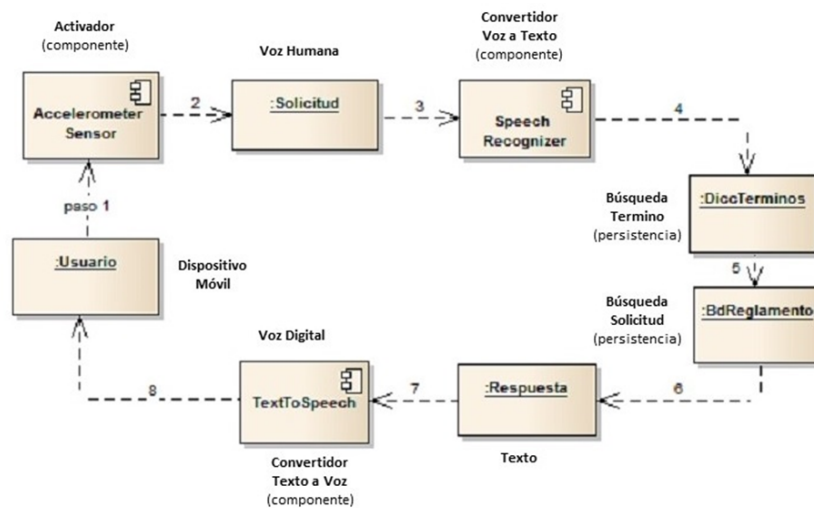


Figura 3. Arquitectura del sistema MIRC.

La descripción de la metodología de interacción propuesta está definida en la siguiente secuencia de pasos (de acuerdo con la Figura 3):

1. Agitar del dispositivo móvil. Una vez se dé clic sobre el ícono de la *app* MIRC, se debe agitar una sola vez el dispositivo móvil para activar el componente *AccelerometerSesor* del *framework* App Inventor 2, el cual hace las veces de activador, con el fin de dejarlo habilitado para recibir la consulta.
2. Solicitud verbal. Una vez agitado el móvil, el dispositivo le da la bienvenida al sistema y le solicita verbalmente que haga su pregunta sobre cualquier tema acerca del reglamento del Congreso. En forma simultánea, el sistema, realiza el cargue del archivo de diccionario de términos y lo deja cargado (disponible) en el dispositivo móvil.
3. Convertir la solicitud verbal a texto. Una vez formulada la pregunta, el sistema hace la conversión de la voz a texto; para ello, usa el componente *SpeechRecognizer* del *framework* App Inventor 2, con el fin de tratar esta solicitud como una variable del sistema.

4. Carga del diccionario de datos. Capturada esta variable (solicitud del usuario), el sistema realiza una búsqueda de esta dentro del archivo del diccionario de términos; en caso de no encontrarse, le muestra un mensaje de “no se encuentra su solicitud”, luego de ello puede formular otra pregunta en forma verbal.
5. Búsqueda de la pregunta en la base de datos del reglamento. El encontrar la solicitud en el archivo de diccionario de términos garantiza que tiene su equivalente respuesta en la base de datos del reglamento, haciendo la búsqueda directa de la respuesta de acuerdo con la pregunta.
6. Obtención textual de la respuesta en la base de datos del reglamento. Se obtiene en una variable la respuesta a la pregunta desde la base de datos del reglamento (en forma textual).
7. Conversión de la respuesta de texto a voz. Una vez obtenida la respuesta de la base de datos del reglamento, el sistema hace la correspondiente conversión del texto a voz usando el componente *TextToSpeech* del *framework* App Inventor 2.
8. Entrega de la respuesta en voz sintetizada al usuario. Hecha la conversión de la respuesta de texto a voz, el sistema le da la respuesta en voz sintetizada, proveniente del dispositivo móvil.

Este modelo de interacción propuesto está basado en el modelo de recuperación de información “Arquitectura de un Sistema de Procesamiento del Lenguaje Natural” [12]. Sin embargo, fue necesario incluirle cambios sustanciales, ya que como el sistema debe procesar la voz del usuario y responder con voz sintetizada la respuesta a través del dispositivo, se requirió crear procesos que faciliten la manipulación de la respuesta para su manejo y entendimiento (respuesta de mucho contenido). Como el sistema fue concebido también para ser usado por personas con discapacidad visual, fue necesario simular la funcionalidad de algunos botones para que operaran con la voz del usuario.

3. Implementación del *software app* MIRC

Con el fin de dar solución al problema, se desarrolló e implementó un producto de *software app* MIRC para dispositivos móviles (celulares *smarts* y tabletas), en equipos con sistema operativo Android. La justificación de la selección de dichos dispositivos móviles es que, según estadísticas de uso, aproximadamente un 80 % de la población colombiana los utiliza para su uso personal [5].

A continuación, se definirán las diferentes interfaces gráficas de usuario (GUI, por sus siglas en inglés) [13].

3.1. GUI de diseño de la MIRC. Vista de diseño en App Inventor

Vista de diseño de programación (como es creada por App Inventor 2 [14]). En la Figura 4, se aprecia la ubicación y distribución de los componentes App Inventor usados en la *app* MIRC.

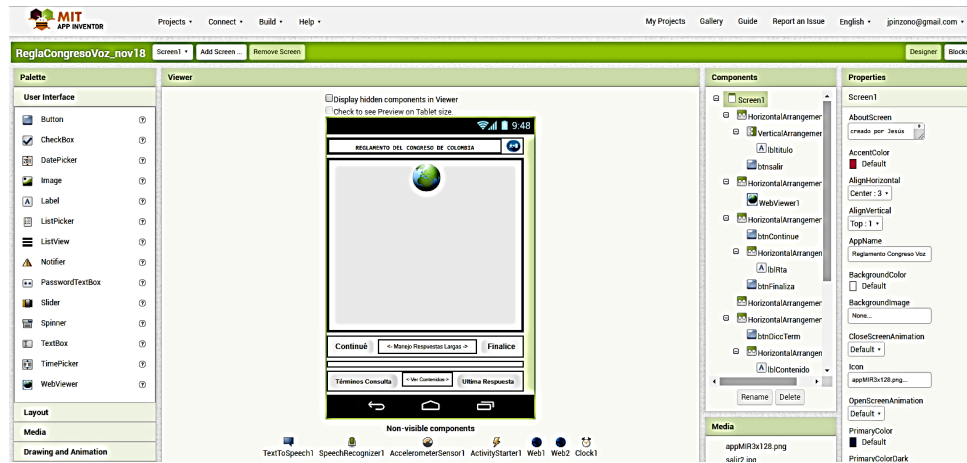


Figura 4. Vista de diseño del MIRC bajo el App Inventor 2.

Muestra el bloque de programación cuando se agita el dispositivo e invoca los procesos de llamar la gráfica de emulación de la asistente virtual, el proceso de reconocer la consulta realizada por el usuario y un proceso de demora. El segundo bloque, corresponde al bloque de reconocimiento de la consulta.

Figura 5. Diagrama de bloques de un solo proceso de la app MIRC realizado en App Inventor 2.

3.2. GUI de la app MIRC. Vista de programación en App Inventor

Según los diagramas de actividad y de secuencia, de los diferentes casos de uso detallados en los modelos funcional y dinámico, la programación gráfica es representado en diagramas de bloques que se pueden apreciar en la Figura 5, tal como se hace desde el *framework* App Inventor 2 “ai2” [15], donde se aprecia la lógica de programación utilizada con sus correspondientes módulos, procedimientos, procesos y estructuras básicas de programación visualizados a través de bloques de programación. En la Figura 5 solo se está visualizando un proceso de la lógica de programación utilizada, siendo el mismo esquema utilizado para la totalidad en el desarrollo del *software* app MIRC.

3.3. GUI de la *app* MIRC. Vista en el dispositivo móvil del usuario

Como se está utilizando la programación en lenguaje natural, las GUI que visualiza el dispositivo móvil cuando se ejecuta son básicas y pocas, ello debido a la naturaleza misma del aplicativo. Lo anterior tiene lugar básicamente por su forma de operar, donde el usuario le da una orden verbal al dispositivo, luego realiza la búsqueda y al encontrar la respuesta se lo da en voz sintetizada en el mismo dispositivo móvil.

La Figura 6, muestra la secuencia de funcionalidad a través de las GUI durante la ejecución de la *app* MIRC.

- GUI inicial. Una vez el usuario hace clic en el icono de la *app* MIRC para ejecutarla, el dispositivo muestra esta pantalla y enuncia en voz sintetizada la bienvenida al uso del aplicativo, también invita a que haga su petición por voz de la consulta al reglamento.
- GUI consulta. Al agitar el dispositivo, muestra la pantalla indicada y le pide que diga algo. Es en este momento que el usuario pronuncia la consulta de su interés. El dispositivo es sensible y por eso se debe realizar una sola sacudida del móvil.
- GUI respuesta. Una vez hecha la consulta a voz por el usuario, el sistema, mediante voz sintetizada, le pronuncia la respuesta exacta a su pregunta. Para facilitar el manejo y comprensión de las respuestas largas (con mucho contenido) en voz sintetizada, fueron habilitados los botones: “Continúe”, para dar la respuesta en forma pausada (particionada) o su correspondiente mandato en voz, cada vez que se presiona hasta terminar el contenido, y “Finalice”, para que en forma automática vaya pasando las diferentes particiones reproduciendo automáticamente hasta el final.

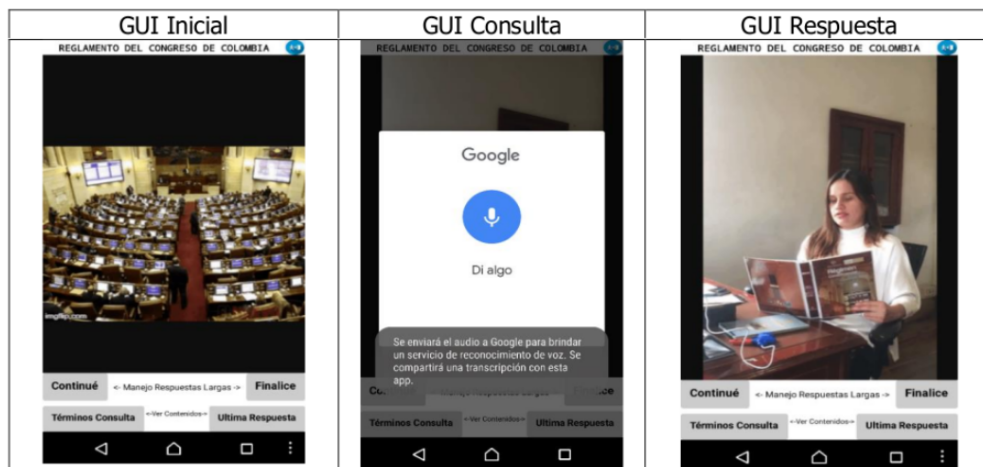


Figura 6. Secuencias de Interfaz Gráfica de Usuario en tiempo de ejecución.

Se muestra en la Figura 7 la manera usada para facilitar la visualización en el dispositivo móvil. El diccionario de términos, activado por el botón “Términos consulta”, corresponden al diccionario de términos por los cuales se puede realizar la petición verbal a la app MIRC, también la respuesta dada a la pregunta, activado por el botón “Última respuesta”. Disponible en particular para los usuarios sin discapacidad, es posible visualizar en otra pantalla del dispositivo móvil la respuesta exacta de acuerdo con su petición.



Figura 7. GUI al dar clic en botones “Términos consulta” y “Última respuesta”.

- GUI “Términos consulta”. Al dar clic en el botón “Términos consulta”, le permite al usuario visualizar los 1145 términos de consulta disponibles, también toma parte de texto de cada uno de ellos para que el usuario pueda interactuar con la *app* y realizar sus correspondientes preguntas.
- GUI “Última respuesta”. Al dar clic en el botón “Última respuesta”, el usuario podrá visualizar la última respuesta dada a su pregunta, incluso sobre la misma respuesta en voz sintetizada.

4. Resultados y discusión

La ejecución de la *app* MIRC es muy intuitiva. Después de un corto saludo (emitido por el dispositivo) invita a agitar el dispositivo móvil y emite el sonido de un pitido corto para dar paso a la

solicitud verbal de cualquier tema del reglamento del Congreso. Poco después, emite la respuesta a la solicitud en voz sintetizada. Cuando la respuesta tiene un contenido largo, en primera instancia le pronuncia la primera parte de la respuesta; así, para continuar con la respuesta el usuario debe presionar el botón o pronunciar “Continúe”(es la manera de pausar la respuesta, con el fin de facilitar la comprensión de esta), y así sucesivamente hasta que termine. También se puede presionar el botón o pronunciar “Finalice” (para que no tenga que presionar el botón “Continúe”) y lo va reproduciendo el contenido hasta finalizar la respuesta.

En el caso de que no sea lo que buscaba o quiera cambiar de tema de consulta, de nuevo agita el móvil y se le hace una nueva pregunta verbal del reglamento, también puede pronunciarse “salir” para salir de la *app* MIRC. Este proceso esta descrito stm gráficamente en la Figura 8.

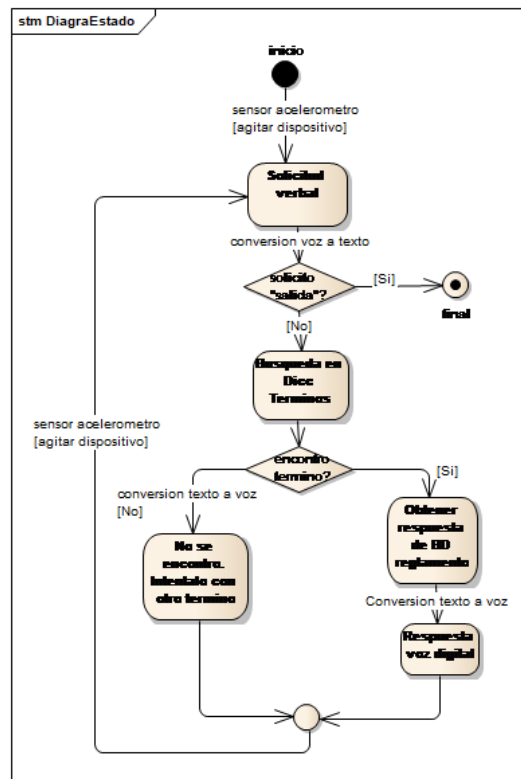


Figura 8. Forma de ejecución de la *app* MIRC.

4.1. Pruebas unitarias

Se realizaron pruebas detalladas sobre el funcionamiento de la *app* MIRC siguiendo cada uno de los módulos que la componen y preguntas sobre temas del reglamento del Congreso, resultando un comportamiento normal de ejecución y esperado por parte del sistema. La *app* MIRC está realizada para que se procese en lenguaje natural y, por ende, interactuando a través de la voz del usuario;

en este sentido, el dispositivo móvil obedeció a las órdenes dadas al preguntar por diferentes temas del reglamento del Congreso (algunas de ellas coincidentes con el diccionario de términos y otras erradas a propósito).

Se solicitó acompañamiento de pruebas de la *app* MIRC al Instituto Nacional para Ciegos (INCI), con el fin de evaluarse este producto de *software*. La solicitud fue atendida por el asesor TIC del INCI (discapacitado visual), cuyas principales actividades fueron:

- Presentación del Proyecto *app* MIRC, presentación del contexto sobre manejo de móviles para personas ciegas, prueba del aplicativo en lector de pantalla TalBack de Android [16] y se hicieron sugerencias para que el aplicativo sea accesible.
- Se determinaron las modificaciones recientes realizadas de la *app* MIRC, se hicieron pruebas directas con dispositivo móvil usando el TalBack de Android y se hicieron acuerdos para realizar otras modificaciones.

4.2. Estadísticas de pruebas en usuarios finales

Siendo estas pruebas de usabilidad de la *app* MIRC una parte importante del presente trabajo, el objeto perseguido con esta encuesta es poder medir el impacto de la usabilidad de la *app*, principalmente en cuanto a poder evaluar si el modelo de programación en lenguaje natural usado es adecuado; medir la aceptabilidad de la interacción con la *app*; la efectividad de la pregunta y respuesta dada, su facilidad de uso, entre otros.

4.2.1. Metodología

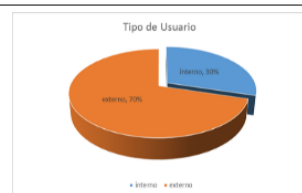
El cuestionario de la encuesta se aplicó tanto a usuarios internos (funcionarios del congreso) como a usuarios externos. También fue aplicado a personas sin y con discapacidades. El cuestionario consta de quince preguntas y fue aplicado a veintisiete personas al azar.

4.2.2. Resultados

Se realizaron las quince preguntas a las veintisiete personas elegidas al azar. Así, en relación con las respuestas, se registraron las siguientes estadísticas.

1. Tipo de usuario

El 70% de los entrevistados fueron usuarios externos, con respecto al 30% internos, permitiendo evaluar en mayor número los usuarios sin vínculos con el Congreso.



<p>2. ¿A qué grupo de personas pertenece?</p> <p>El 68 % de los entrevistados pertenecen al grupo de personas sin discapacidad, como se ve normalmente en las poblaciones potenciales que se benefician del uso de la <i>app</i> MIRC. El 21 % con discapacidad visual y el 11 % analfabetas.</p>	<table border="1"> <caption>Grupo de Personas</caption> <thead> <tr> <th>Grupo</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sin Discapacidad</td> <td>68%</td> </tr> <tr> <td>Con Discapacidad</td> <td>21%</td> </tr> <tr> <td>Con analfabetismo</td> <td>11%</td> </tr> </tbody> </table>	Grupo	Porcentaje	Sin Discapacidad	68%	Con Discapacidad	21%	Con analfabetismo	11%
Grupo	Porcentaje								
Sin Discapacidad	68%								
Con Discapacidad	21%								
Con analfabetismo	11%								
<p>3. Si respondió personas con discapacidad. ¿Qué tipo de discapacidad posee?</p> <p>Del 21 % de los entrevistados en situación de discapacidad, el 67 % son personas en situación de discapacidad visual y el 33 % en situación de discapacidad física.</p>	<table border="1"> <caption>Tipo de discapacidad</caption> <thead> <tr> <th>Tipo</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Visual</td> <td>67%</td> </tr> <tr> <td>Física</td> <td>33%</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo	Porcentaje	Visual	67%	Física	33%		
Tipo	Porcentaje								
Visual	67%								
Física	33%								
<p>4. ¿Tiene acceso a internet en su dispositivo móvil?</p> <p>El 93 % de los entrevistados cuentan con acceso a internet en sus dispositivos móviles. Dicha tendencia es normal debido a las políticas de conectividad promovidas por MinTIC. El 7 % no cuentan con acceso a internet.</p>	<table border="1"> <caption>Tiene acceso a Internet?</caption> <thead> <tr> <th>Respuesta</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Si</td> <td>93%</td> </tr> <tr> <td>No</td> <td>7%</td> </tr> </tbody> </table>	Respuesta	Porcentaje	Si	93%	No	7%		
Respuesta	Porcentaje								
Si	93%								
No	7%								
<p>5. Tipo de conexión utilizado</p> <p>El 75 % de los entrevistados cuentan con plan de datos en sus dispositivos móviles y el 25 % lo usan cuando están ubicados en el radio de acción de las redes públicas gratuitas (empresas o sitios wifi públicos).</p>	<table border="1"> <caption>Tipo de conexión</caption> <thead> <tr> <th>Tipo</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Privado</td> <td>75%</td> </tr> <tr> <td>Público</td> <td>25%</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo	Porcentaje	Privado	75%	Público	25%		
Tipo	Porcentaje								
Privado	75%								
Público	25%								
<p>6. Tipo de dispositivo móvil utilizado para tener acceso a internet</p> <p>El 53 % de los entrevistados tiene celular, el 25 % computador y el 22 % tableta.</p>	<table border="1"> <caption>Tipo dispositivo móvil</caption> <thead> <tr> <th>Dispositivo</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Celular</td> <td>53%</td> </tr> <tr> <td>Computador</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>Tableta</td> <td>22%</td> </tr> </tbody> </table>	Dispositivo	Porcentaje	Celular	53%	Computador	25%	Tableta	22%
Dispositivo	Porcentaje								
Celular	53%								
Computador	25%								
Tableta	22%								
<p>7. ¿Tiene conocimiento sobre el reglamento del Congreso (Ley 5 de 1992)?</p> <p>El 56 % de los entrevistados manifestaron su desconocimiento acerca del reglamento del Congreso y el 44 % confirmaron saber del reglamento.</p>	<table border="1"> <caption>Sabe del Reglamento del Congreso?</caption> <thead> <tr> <th>Respuesta</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Si</td> <td>44%</td> </tr> <tr> <td>No</td> <td>56%</td> </tr> </tbody> </table>	Respuesta	Porcentaje	Si	44%	No	56%		
Respuesta	Porcentaje								
Si	44%								
No	56%								

8. ¿La app se ejecutó cuando se dio la señal de inicio (agitando el dispositivo móvil)?

El 100 % de los entrevistados manifestaron que la app MIRC se activó al agitar el dispositivo móvil, quedando lista para recibir la solicitud a una consulta.



9. ¿La formulación de la pregunta a la app fue fácil?

El 100 % de los entrevistados confirmaron que fue fácil e intuitivo realizarle al dispositivo móvil una pregunta verbal sobre una consulta al reglamento del Congreso.



10. ¿La app dio respuesta precisa a su pregunta?

El 100 % de los entrevistados afirmaron que la respuesta dada en voz sintetizada por el dispositivo móvil corresponde concretamente a la solicitud verbal del usuario realizada a través del dispositivo.



11. ¿Le fueron útiles los mensajes de ayuda y de error dados por la app?

El 96 % de los entrevistados afirmaron que le fueron útiles los mensajes emitidos por el dispositivo móvil en relación con errores de temas consultados. Tan solo el 4 % opinó que no.



12. ¿Cree que el modelo de operación de la app es confiable?



El 96 % de los entrevistados afirmaron que el modelo de operación de la app MIRC es confiable. Su facilidad de uso y respuesta precisa a las preguntas así lo confirman. Solo el 4 % opinó que no.



13. ¿Cómo le pareció la manera de interactuar con la app (PLN)?

El 52 % opinó que la forma de interacción de la app MIRC en PLN era excelente. La gran ventaja que ofrece la app es que interactúa con un experto virtual en el reglamento del Congreso. El 44 % opina que es buena y el 4 % regular.



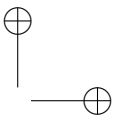
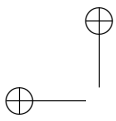
<p>14. ¿Cumplió con sus expectativas la <i>app</i>?</p> <p>El 93 % de los entrevistados confirmó que la <i>app</i> MIRC cumplió con las expectativas que se tenía de su uso. El 7 % lo negó.</p>	 <p>Cumplio con sus expectativas la App?</p> <table border="1"> <tr><td>Cumplió</td><td>93%</td></tr> <tr><td>No cumplió</td><td>7%</td></tr> </table>	Cumplió	93%	No cumplió	7%
Cumplió	93%				
No cumplió	7%				
<p>15. ¿Volvería a hacer uso de la App?</p> <p>El 96 % de los entrevistados afirmaron que volverían a hacer uso de la <i>app</i> MIRC en caso de consultar cualquier tema que tenga relación con el reglamento del Congreso. El 4 % que no.</p>	 <p>Volverias a hacer uso de la App?</p> <table border="1"> <tr><td>Volvería a hacer uso</td><td>96%</td></tr> <tr><td>No volvería a hacer uso</td><td>4%</td></tr> </table>	Volvería a hacer uso	96%	No volvería a hacer uso	4%
Volvería a hacer uso	96%				
No volvería a hacer uso	4%				

5. Conclusiones y trabajos futuros

5.1. Conclusiones

Con la puesta en funcionamiento de la *app* MIRC, es posible concluir que:

- Se creó un modelo de interacción inteligente para la consulta del reglamento del Congreso a través del modelo y la metodología propuesta por la PLN, la cual se plasma en un producto de *software app* MIRC, disponible para equipos móviles inteligentes con sistema operativo Android. En este, el usuario interactúa con el dispositivo móvil, ejecutándolo de manera sencilla y natural. El usuario usa su voz para hacer una solicitud y la respuesta la da el dispositivo en voz sintetizada, como si estuviera interactuando con un experto presencial.
- El modelo de interacción con el dispositivo móvil está basado en los principios demarcados por la PLN, donde el usuario en el momento de hacer la consulta agita una sola vez el dispositivo móvil, le hace una consulta verbal sobre cualquier tema referente al reglamento de Congreso, la *app* realiza la búsqueda en internet (específicamente en el servidor con dominio propio (www.jesuspinzonortiz.com/MIRC) y le trae la respuesta, reproduciéndose la en voz sintetizada.
- La *app* MIRC, por su manera fácil de operar (PLN) a través de comandos de voz, es muy útil para la ciudadanía en general, pero su gran potencial es que incluye a personas en situación de discapacidad visual o física o con problemas de analfabetismo.
- La *app* MIRC contribuye al fortalecimiento legislativo al permitir el conocimiento sobre el congreso; así, fomenta la participación ciudadana en el proceso de los proyectos de ley y actos legislativos.
- Es cierto que existen otros aplicativos asistentes de voz similares como SIRI de IOS y Google Now para Android, pero estos hacen una búsqueda general en la web y muchas veces traen resultados que no son acordes a lo solicitado. Mientras que la *app* MIRC, hace una búsqueda precisa del tema consultado y la búsqueda la realiza en un servidor y carpeta específica, trayendo una respuesta muy precisa a la pregunta formulada por el usuario.



En cuanto a las conclusiones con respecto a las encuestas, se tiene que:

- Como resultado de las encuestas realizadas en las pruebas finales a usuarios potenciales en el uso de la aplicación *app* MIRC, el 77 % sin discapacidad, junto con el 21 % con discapacidad visual y el 11 % con analfabetismo, todos afirmaron que la *app* MIRC tiene un modelo de interacción muy intuitivo y de fácil acceso a consultas verbales para temas relacionados con el reglamento del Congreso, con una respuesta muy precisa y la gran facilidad de ser escuchada en voz sintetizada a través del mismo dispositivo móvil.
- Otra evidencia es que la gran mayoría de la población colombiana cuenta con dispositivos móviles para su uso personal en la conectividad con los servicios a los cuales se accede por medio de internet y que le utilizan los recursos tecnológicos con que cuentan estos dispositivos móviles. Esto obedece, en gran medida, al gran apoyo gubernamental en cabeza del MinTIC en Colombia en lo que tiene relación con la masificación de la conectividad, acceso a los dispositivos móviles, al *software* disponible y a la puesta en funcionamiento de los programas de Gobierno en Línea.

6. Trabajos futuros

Entre las mejoras a la *app* MIRC y las iniciativas para motivar a otros trabajos investigativos están:

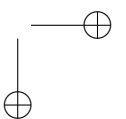
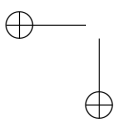
- Crear una forma automática y fácil de activación. Hay un limitante en la versión actual en lo referente a iniciar la *app*, pues se debe hacer clic sobre el icono de la ubicado en el dispositivo móvil; sin embargo, se podría realizar algún tipo de procedimiento, por ejemplo, que se agite inicialmente el dispositivo un número de veces en un sentido, mediante una palabra clave u otros modos de activar la ejecución, lo cual le facilitaría la interacción con las personas en situación de discapacidades visuales.
- Con la forma de operar la *app* MIRC, donde el modelo propuesto de búsqueda y recuperación de información, mediante el uso de la PLN, se podría crear una gran base de conocimiento que abarque temas completos de gran transcendencia para la humanidad.

7. Agradecimientos

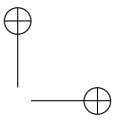
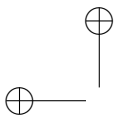
Los autores desean agradecer a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y al Grupo de Investigación GESETIC que hicieron posible este estudio. También a los compañeros de la Unidad de Asistencia Técnica Legislativa de la Comisión de Modernización del Congreso de Colombia.

Referencias

- [1] Semana, “¿Que tanto saben los colombianos del trabajo del Congreso?”, *Revista Semana*, 2009. [En línea]. Disponible en: <http://www.semana.com/politica/articulo/que-tanto-saben-colombianos-del-trabajo-del-congreso/102027-3> ↑21



- [2] M. Gasca Mantilla, L. Camargo Ariza y B. Medina Delgado, “Metodología para el desarrollo de aplicaciones móviles”. *Revista Tecnura*, Vol. 18, Núm. 40, abril – junio, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/6972/8646> ↑21
- [3] E. P. Giordanino, “Sistema de Recuperación de Información”, *Taller presentado en Infotech*. Departamento de Ciencias de la Información, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://eprints.rclis.org/8471/1/Arquitectura.pdf> ↑22
- [4] Y. J. Molina, J. Sandoval y S. A. Toledo, *Sistema operativo Android: características y funcionalidad para dispositivos móviles*, Tesis de grado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2012. ↑22
- [5] Deloitte, *Consumo móvil en Colombia*, 2016. [En línea]. Disponible en: [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/co/Documents/technology-media-telecommunications/Consumo%20movil\(VF1\).pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/co/Documents/technology-media-telecommunications/Consumo%20movil(VF1).pdf) ↑22, 26
- [6] MATI, “Términos adecuados para referirnos a personas con discapacidad”, 2015. [En línea]. Disponible en: http://www.webmati.es/index.php?option=com_content&view=article&id=46:terminos-adecuados-para-referirnos-a-personas-con-discapacidad&catid=12&Itemid=163 ↑22
- [7] Ministerio de Tecnologías de la Información y la Comunicación, “Ley 1341 de 2009 Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Colombia”, 2009. [En línea]. Disponible en: <http://programa.gobiernoenlinea.gov.co/apc-aa-files/e5203d1f18ecfc98d25cb0816b455615/minticmanual3.0.pdf> ↑22
- [8] Ministerio de Tecnologías de la Información y la Comunicación, *Manual de Gobierno en Línea*, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://programa.gobiernoenlinea.gov.co/apc-aa-files/e5203d1f18ecfc98d25cb0816b455615/minticmanual3.0.pdf> ↑22
- [9] Ministerio de Tecnologías de la Información y la Comunicación, “Ley de la transparencia y el derecho al acceso de la información pública nacional”, 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-7147_documento.pdf ↑22
- [10] Congreso de Colombia, “Ley 5 de 1992. Reglamento del Congreso de Colombia”, 2018. [En línea]. Disponible en: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0005_1992.html ↑22, 24
- [11] Sparxsystems, “Enterprise Architect. Herramienta de diseño UML”, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.sparxsystems.com.ar/products/ea/> ↑23
- [12] M. Vallez y R. Pedraza-Jiménez, “El procesamiento del lenguaje natural en la recuperación de información textual y áreas afines”, *Hipertext. Net, Revista Académica Sobre Documentación Digital y Comunicación Interactiva*, No. 5, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://www.upf.edu/hipertextnet/numero-5/pln.html> ↑26
- [13] C. Cervigón, “Interfaces Gráficas de usuario”, *P.O.O. Tema 6*, Universidad Complutense de Madrid, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.fdi.ucm.es/profesor/jpavon/poo/Tema6resumido.pdf> ↑26
- [14] MIT App Inventor, “What is App Inventor?”, *MIT App Inventor*, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://appinventor.mit.edu/explore/content/what-app-inventor.html> ↑26
- [15] Udemy, “Desarrollo de Aplicaciones móviles Android con App Inventor”, *Udemy*, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.udemy.com/desarrollo-de-aplicaciones-moviles-con-app-inventor/> ↑27
- [16] Google, “Operación táctil con TalkBack”, *Google support*, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://support.google.com/accessibility/android/answer/6006598> ↑31
- [17] M. Vallez y R. Pedraza, “El procesamiento del Lenguaje Natural en la recuperación de información textual y área afines”, *Hipertext. Net, Revista Académica Sobre Documentación Digital y Comunicación Interactiva*, No. 5, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://www.upf.edu/hipertextnet/numero-5/pln.html> ↑
- [18] G. Gómez, “Aplicaciones del lenguaje natural”, 2016. [En línea]. Disponible en: http://liceu.uab.cat/~joaquim/language_technology/NLP/PLN_aplicaciones.html ↑
- [19] R. Moreno, *Desarrollo de aplicaciones para Android usando MIT App Inventor 2*, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://openlibra.com/es/book/desarrollo-de-aplicaciones-para-android-usando-mit-app-inventor-2> ↑



Jesús Emilsen Pinzón Ortiz

Ingeniero de Sistemas de la Universidad Nacional; Especialista en Ingeniería de Software de la Universidad Distrital; Magíster en Ciencias de la Información y las Comunicaciones de la Universidad Distrital; Asesor Unidad de Asistencia Técnica Legislativa-Comisión de Modernización del Congreso de Colombia. Perteneció como investigador al grupo GESETIC.

Correo electrónico: jepinzono@correo.udistrital.edu.co

Álvaro Espinel Ortega

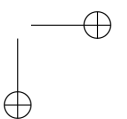
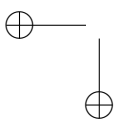
Docente de Planta Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; Ingeniero Electricista, Universidad Nacional de Colombia; Magister en Teleinformática, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; Doctor en Ingeniería de Software, Universidad Pontificia de Salamanca Campus en Madrid-España. Director Grupo de Investigación GESETIC.

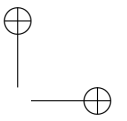
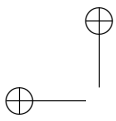
Correo electrónico: aespinel@udistrital.edu.co

Olga Lucia Ramos

Docente de Planta Facultad Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada; Ingeniero Electrónico, Universidad Antonio Nariño; Magister en Teleinformática, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; Doctor en Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Investigador grupo GAV, Universidad Militar Nueva Granada

Correo electrónico: olga.ramos@unimilitar.edu.co





Research

FRand: MATLAB Toolbox for Fuzzy Random Number Simulation

FRand: Toolbox de MATLAB para Simulación de Números Aleatorios Difusos

Juan Carlos Figueroa–García^{ID}*,¹, Jhoan Sebastian Tenjo–García^{ID}²

¹Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá - Colombia, ²Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

*Correspondence: jcfigueroag@udistrital.edu.co

Received: 27-11-2019. Modified: 10-03-2020. Accepted: 12-03-2020

Abstract

Context: This paper presents a MATLAB code implementation and the GUI (General User Interface) for fuzzy random variable generation. Based on previous theoretical results and applications, a MATLAB toolbox has been developed and tested for selected membership functions.

Method: A two–step methodology was used: i) a MATLAB toolbox was implemented to be used as interface and ii) all .m functions are available to be used as normal code. The main goal is to provide graphical and code–efficient tools to users.

Results: The main obtained results are the MATLAB GUI and code. In addition, some experiments were ran to evaluate its capabilities and some randomness statistical tests were successfully performed.

Conclusions: Satisfactory results were obtained from the implementation of the MATLAB code/toolbox. All randomness tests were accepted and all performed experiments shown stability of the toolbox even for large samples (>10.000). Also, the code/toolbox are available online.

Keywords: Fuzzy random numbers, Random number generation, MATLAB.

Acknowledgements: The authors would like to thank to the Prof. M Sc. Miguel Melgarejo and Prof. José Jairo Soriano–Mendez sincerely for their interest and invaluable support, and a special gratefulness is given to all members of LAMIC.

Language: English.

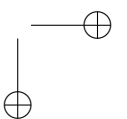
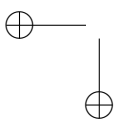
Open access



Cite this paper as: Figueroa–García J.C., Tenjo–García J.S, "FRand: MATLAB Toolbox for Fuzzy Random Number Simulation", Ingeniería, Vol. 25, Num. 1, pp. 38-49, Jan.-Apr. 2020.

© The authors; reproduction right holder Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.15620>



Resumen

Contexto: Este trabajo presenta una implementación de código de MATLAB y un GUI (interfaz de usuario) para la generación de variable aleatoria difusa. Basados en resultados teóricos y aplicación previos, un toolbox de MATLAB fué desarrollado y validado para diferentes funciones de pertenencia.

Método: Una metodología de dos pasos ha sido implementada: i) un toolbox de MATLAB es implementado para usarse como interfaz y ii) todas las funciones .m están disponibles para usarse como código normal. La meta principal es proveer herramientas gráficas y de código a los usuarios

Resultados: Los resultados principales de este trabajo son el MATLAB GUI y el código subyacente. Adicionalmente, algunos experimentos fueron realizados para evaluar las capacidades del toolbox, y algunas pruebas estadísticas de aleatoriedad fueron realizadas con éxito.

Conclusiones: Resultados satisfactorios de la implementación del código/toolbox de MATLAB fueron obtenidos. Todos los tests estadísticos fueron aceptados y todos los experimentos realizados mostraron que el toolbox es estable aún para tamaños de muestra grande (>10.000). Adicionalmente, el toolbox/código está disponible online.

Palabras clave: Números aleatorios difusos, generación de variable aleatoria, MATLAB.

Agradecimientos: Los autores agradecen sinceramente a los Prof. M Sc. Miguel Melgarejo y Prof. José Jairo Soriano–Mendez por su interés e invaluable apoyo, y agradecen de manera especial a todos los miembros del Grupo *LAMIC*.

Idioma: Inglés.

1. Introduction

Random variable generation from a probabilistic point of view is based on the ideas, postulates, theorems of A. N. Kolmogorov [8] which have been widely applied to different sciences, including the theory of random processes theory (see Grimmet & Stirzaker [4] and Ross [13]). Even more, commercial simulation software packages including ARENA, ProModel, FlexSIM, MATLAB-EventSIM etc. are successful commercial applications of random variable theory and methods.

Most of probabilistic methods are based on the cumulative probability function (which is monotonic non-decreasing and injective) and the idea behind is to use uniform random numbers to generate probabilistic variables. Further information about probabilistic random variable theory and methods can be found in Devroye [5], Law & Kelton [9], Monahan [10], Grimmet & Stirzaker [4], Wilks [15] and Mood et al [11].

Analogous concepts for fuzzy numbers have been proposed by Varón-Gaviria et al. [14] and Pulido-López et al. [12] who used the well known α -cuts representation of a fuzzy set and the cumulative membership function $\psi_A(x)$ of A (see Figueroa-García & López-Bello [2], [3] and Figueroa-García [1]). This way, it is possible to efficiently generate random variables using uniform random numbers and fuzzy sets easy to implement in general purpose code/software like MATLAB.

This paper focuses on the implementation of two fuzzy random variable generation methods into a toolbox over MATLAB general purpose software. Some graphic analysis and statistical test are performed to verify independence and randomness of the obtained samples.

This paper is divided into six sections: Section 1 introduces the main problem. Section 2 presents a theoretical background; two methods for fuzzy random variable generation are introduced in Section 3; Section 4 presents the developed MATLAB toolbox; some experiments are presented in Section 5, and finally Section 6 shows some concluding remarks.

2. Theoretical background

First, we refer to well known definitions for fuzzy sets/numbers (see Klir & Folger [6], Klir & Yuan [7]) and the two implemented methods: α -cuts and cumulative membership function.

2.1. Basics on fuzzy sets

A fuzzy set is denoted by emphasized capital letters A with a membership function $\mu_A(x)$ over a universal set $x \in X$. $\mu_A(x)$ measures the membership of a value $x \in X$ regarding the concept/word/label A . $\mathcal{P}(X)$ is the class of all crisp sets, $\mathcal{F}(X)$ is the class of all fuzzy sets, $\mathcal{F}(\mathbb{R})$ is the class of all real-valued fuzzy sets, and $\mathcal{F}_1(\mathbb{R})$ is the class of all fuzzy numbers. Thus, a fuzzy set A is a set of ordered pairs of an element x and its membership degree, $\mu_A(x)$, i.e.,

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}. \quad (1)$$

A fuzzy number is defined as follows:

Definition 1 Let $\tilde{A} : \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$ be a fuzzy subset of the reals. Then $\tilde{A} \in \mathcal{F}_1(\mathbb{R})$ is a Fuzzy Number (FN) iff there exists a closed interval $[x_l, x_r] \neq \emptyset$ with a membership function $\mu_A(x)$ such that:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} c(x) & \text{for } x \in [c_l, c_r], \\ l(x) & \text{for } x \in [-\infty, x_l], \\ r(x) & \text{for } x \in [x_r, \infty], \end{cases} \quad (2)$$

where $c(x) = 1$ for $x \in [c_l, c_r]$, $l : (-\infty, x_l) \rightarrow [0, 1]$ is monotonic non-decreasing, continuous from the right, i.e. $l(x) = 0$ for $x < x_l$; $r : (x_r, \infty) \rightarrow [0, 1]$ is monotonic non-increasing, continuous from the left, i.e. $r(x) = 0$ for $x > x_r$.

The set of elements with membership degree larger than α are called the α -cut i.e. ${}^\alpha A$

$${}^\alpha A = \{x \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \forall x \in X, \quad (3)$$

$${}^\alpha A = \left[\inf_x {}^\alpha \mu_A(x), \sup_x {}^\alpha \mu_A(x) \right] = [\check{a}_\alpha, \hat{a}_\alpha]. \quad (4)$$

and its α -level namely A_α is the set of elements with membership degree equal to α , i.e.

$$A_\alpha = \{x \mid \mu_A(x) = \alpha \text{ for some } x \in X\}, \quad (5)$$

$$A_\alpha = \left\{ \inf_x {}^\alpha \mu_A(x), \sup_x {}^\alpha \mu_A(x) \right\} = \{\check{a}_\alpha, \hat{a}_\alpha\}. \quad (6)$$

The *support* of $A \in \mathcal{F}_1(\mathbb{R})$, $supp(A)$ is the set of all elements $x \in X$ with nonzero membership:

$$supp(A) = \{x \mid \mu_A(x) > 0\} \forall x \in X, \tag{7}$$

$$supp(A) = [\check{a}, \bar{a}]. \tag{8}$$

and the *core* of $A \in \mathcal{F}_1(\mathbb{R})$ is the set of elements with maximum membership degree:

$$core(A) = \{x \mid \mu_A(x) = 1\} \forall x \in X, \tag{9}$$

$$core(A) = [c_l, c_l]. \tag{10}$$

A trapezoidal fuzzy number is shown in Figure 1.

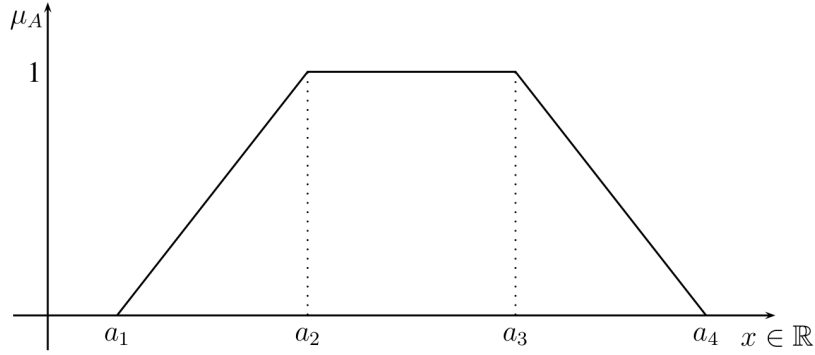


Figure 1. Fuzzy number $A \in \mathcal{F}_1(\mathbb{R})$

2.2. The Cumulative Membership Function (CMF)

The cumulative function $F(x)$ of a probability distribution $f(x)$ is defined as:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt, \tag{11}$$

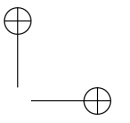
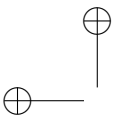
where $x \in \mathbb{R}$. Its fuzzy version is as follows (see Figueroa-García & López-Bello [2], [3], Figueroa-García [1] and Pulido-López et.al [12]).

Definition 2 (Cumulative Membership Function) Let $\tilde{A} \in \mathcal{F}(\mathbb{R})$ be a fuzzy set and $X \subseteq \mathbb{R}$, then the cumulative membership function (CMF) of \tilde{A} , $\psi_A(x)$ is defined as:

$$\psi_A(x) = P_{s_A}(X \leq x), \tag{12}$$

Eq. (12) is nothing else but the possibility that all elements of X are less or equal than a value x , i.e. $P_s(X \leq x)$. In the probabilistic theory $F(\infty) = 1$ so in the possibilistic theory $1 < \psi(\infty) < \Lambda$, where Λ is the cardinality of \tilde{A} :

$$\Lambda_A = \int_{-\infty}^{\infty} \mu_A(t) dt. \tag{13}$$



A normalized $\psi_A(x)$ is obtained as follows:

$$\psi_A(x) = \frac{1}{\Lambda_A} \int_{-\infty}^x \mu_A(t) dt. \quad (14)$$

Clearly, $\psi_A(x)$ is an surjection, so if we assume $\alpha \in [0, 1]$ then there exists one and only one value that satisfies $\psi_A(x) = \alpha$ i.e. $\psi_A^{-1} : \alpha \rightarrow X$.

3. Implementation of fuzzy random generation methods

There are essentially two kinds of fuzzy numbers: Singleton–core i.e. $core(A) = c \in \mathbb{R}$ and interval–core i.e. $core(A) = [c_l, c_r] \in \mathbb{I}$. The α -cuts method is adequate for single–core fuzzy numbers (triangular, Gaussian, exponential, etc), and the cumulative membership function approach is adequate for interval–core sets (trapezoidal, bell shaped, etc.). Both procedures are shown next:

3.1. α -cuts procedure

This method was proposed by Varón–Gaviria et al. [14] for single–core fuzzy sets. The main idea is to use the core c of $A \in \mathcal{F}_1(\mathbb{R})$ to compute the partial areas namely Λ_1, Λ_2 around c , as follows:

$$\Lambda_1 = \int_{x \in \mathbb{R}} l(x) dx; \quad \Lambda_2 = \int_{x \in \mathbb{R}} r(x) dx, \quad (15)$$

$$\Lambda = \Lambda_1 + \Lambda_2 = \int_{x \in \mathbb{R}} l(x) dx + \int_{x \in \mathbb{R}} r(x) dx. \quad (16)$$

so the normalized areas λ_1, λ_2 of $\mu_A \in \mathcal{G}_1(\mathbb{R})$ are defined as follows:

$$\lambda_1 = \frac{\Lambda_1}{\Lambda}; \quad \lambda_2 = \frac{\Lambda_2}{\Lambda}, \quad (17)$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 = 1.$$

Procedure 1 show the implemented routine.

Procedure 1 α -cuts method

Require: $n \in \mathbb{N}_+$ and $\mu_A \in \mathcal{F}_1(\mathbb{R})$

Compute λ_1 and λ_2 using Eq. (17)

for $n : 1 \rightarrow N$ **do**

Set $\alpha_n = U_1 \in [0, 1]$ and $l_n = U_2 \in [0, 1]$

Compute $A_{\alpha_n} = \{\check{a}_{\alpha_n}, \hat{a}_{\alpha_n}\}$

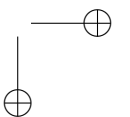
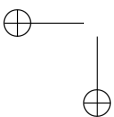
If $l_n \leq \lambda_1$ then $x_n = \check{a}_{\alpha_n}$, otherwise set $x_n = \hat{a}_{\alpha_n}$

end for

return $[X, \alpha] = \{(x_1, \alpha_1), (x_2, \alpha_2), \dots, (x_N, \alpha_N)\}$

3.2. Cumulative membership procedure

For interval-core fuzzy numbers, we implement the proposal of Pulido–López et al. [12] based on Eqs. (11) and (14), as shown in Procedure 2:



Procedure 2 ψ_A CMF method

Require: $n \in \mathbb{N}_+$ and $\mu_A \in \mathcal{F}_1(\mathbb{R})$

Compute $\psi_A(x)$

for $n : 1 \rightarrow N$ **do**

 Set $\alpha_n = U \in [0, 1]$

 Compute $x_n = \psi_A^{-1}(\alpha_n)$

end for

return $[X, \alpha] = \{(x_1, \alpha_1), (x_2, \alpha_2), \dots, (x_N, \alpha_N)\}$

4. MATLAB Toolbox implementation

The implementation of both methods within MATLAB is divided into two parts: The code for all the implemented membership functions (useful for implementing fuzzy random variables as embedded code in other MATLAB routines/toolboxes) and the code for the GUI which are described as follows. Fig. 2 shows a screenshot of the MATLAB toolbox.

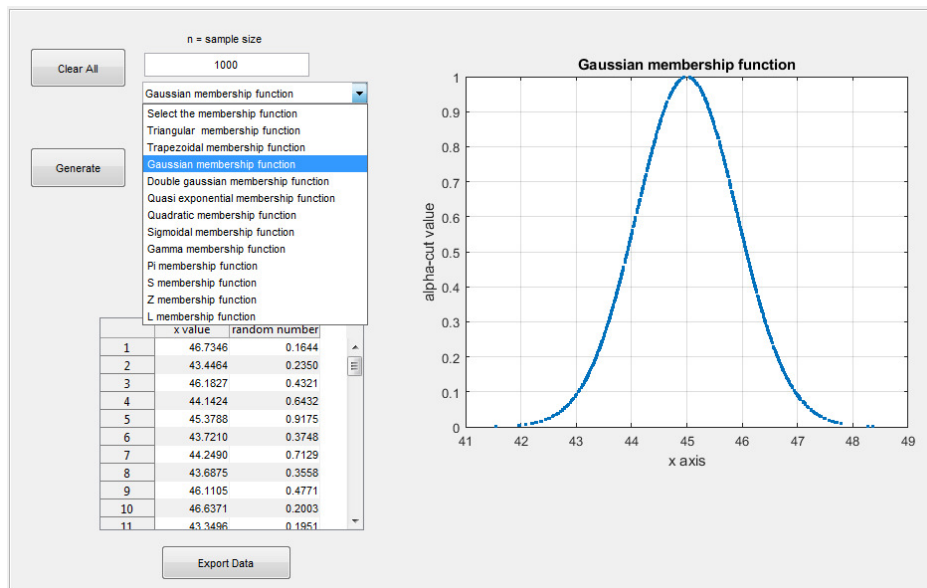


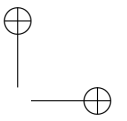
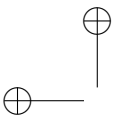
Figure 2. MATLAB Toolbox

4.1. MATLAB functions

MATLAB functions for five random generators are described below:

1. Triangular random generator

```
>> FT(a, m, b, n)
```



2. Gaussian random generator

```
>> FG(m, k, n)
```

3. Trapezoidal random generator

```
>> FTz(a, b, c, d, n)
```

4. Quasi-exponential random generator

```
>> FQe(m, k, n)
```

5. Double-gaussian random generator

```
>> FGT(m1, k1, l, r, m2, k2, n)
```

4.2. FRand toolbox

Basically, the toolbox contains all the previously described functions within a single file

FRand.m

that can be opened by simply writing

```
>> FRand
```

into the MATLAB command window.

4.3. Online availability

All functions have been compiled and compressed into a single file, available via the website of the Laboratory of Automation and Computational Intelligence (LAMIC) of the Universidad Distrital Francisco José de Caldas. To download the toolbox, please locate the file `FRcode.zip` at the URL:

<https://comunidad.udistrital.edu.co/lamic/tools/>

To install the functions, just copy the folder

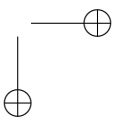
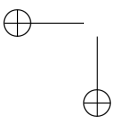
FRand

into the path `~\MATLAB\~~~~\toolbox\` e.g. for the Release 2017b:

```
~\MATLAB\R2017b\toolbox\
```

then add the toolbox path within MATLAB

File --> Set Path --> Add



The folder `~\MATLAB\R2017b\toolbox\FRand\` contains the files:

```
FGT.m
FQe.m
FTz.m
FT.m
FG.m
```

After installing the folder and adding the path, the functions are ready to use and can be called from either the MATLAB command window, MATLAB SimuLink, MATLAB DiscreteEvents or any other toolbox.

Remark 1 *It is important to note that our approach uses MATLAB R2017a uniform random number routines, so it may not be compatible with future MATLAB versions.*

5. Experimentation and statistical analysis of generated data

To test the toolbox, we generated $n = 1000$ realizations of the following fuzzy random variables:

```
>> FT (44, 60, 85, 1000)
>> FTz (10, 15, 20, 22, 1000)
>> FG (50, 0.3, 1000)
>> FQe (200, 0.8, 1000)
>> FGT (12, 0.6, 10, 18, 14, 0.8, 1000)
```

Then its mean, variance, runs test, turning points test, GAP (gap test) with the Kolmogorov Smirnov test, Chi-square test, and autocorrelation (min: \downarrow and max: \uparrow) are computed to test if the obtained sequence is an independent. The results are shown in Table I.

Table I. Independence test on simulated variables(p-values)

Test	FT	FTz	FG	FQe	FGt
Mean	59,83	16,66	49,9	200,02	12,71
Variance	137,61	7,13	3,24	14,58	5,61
Runs	0,202	0,704	0,999	0,999	0,759
t. points	0,227	0,271	0,921	0,281	0,221
K-S	0,035	0,038	0,,031	0,027	0,018
χ^2	35,91	40,65	29,34	32,18	28,93
Autcor \uparrow	0,088	0,071	0,069	0,082	0,0936
Autcor \downarrow	-0,109	-0,092	-0,087	-0,096	-0,088

Runs and turning points tests show statistical significance of the hypothesis of independence on samples at a 95 % confidence level (see Table I). The autocorrelation test shows a Pearson test on autocorrelations for the 10 first lags where autocorrelation. \downarrow is the lowest observed autocorrelation and autocorrelation. \uparrow is the largest observed autocorrelation (at a 95 % confidence level).

The evidence shows that the generated samples are independent since the hypothesis of randomness is significant at a 95 % confidence level (p-value ≥ 0.05), and there is no evidence autocorrelated samples since the hypothesis of existence of autocorrelation is not significant at a 95 % confidence level (p-value ≥ 0.05). With the two gaps test, in the first case the Kolmogorov-Smirnov test is evaluated with a critical value $D_\alpha = 0,043$ for each membership function, all the values are less than D_α , therefore the 1000 numbers are randomly ordered, and finally the Chi-Square test, presented a value $\chi^2 = 44,98$ with 95 % confidence level and for $n = \sqrt{1000} - 1$. All the values obtained allow us to infer that the hypothesis that data are randomly distributed is significant for every membership function.

Figures 3–7 shows the exact location of the simulated values and their membership degree α .

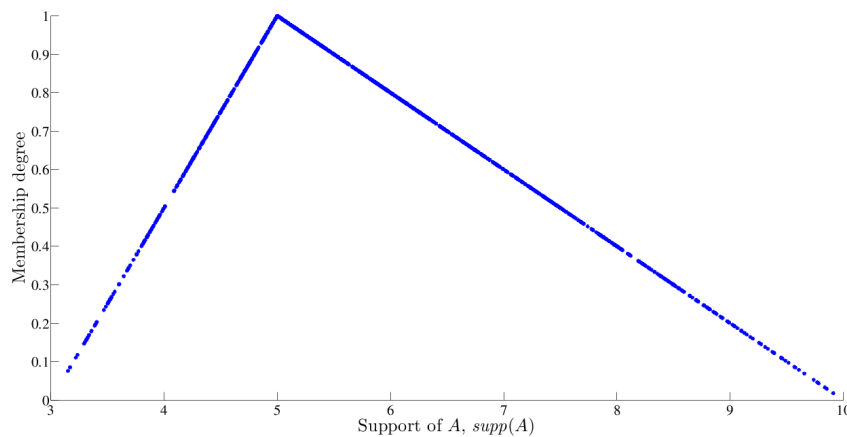


Figure 3. Simulated triangular random variables

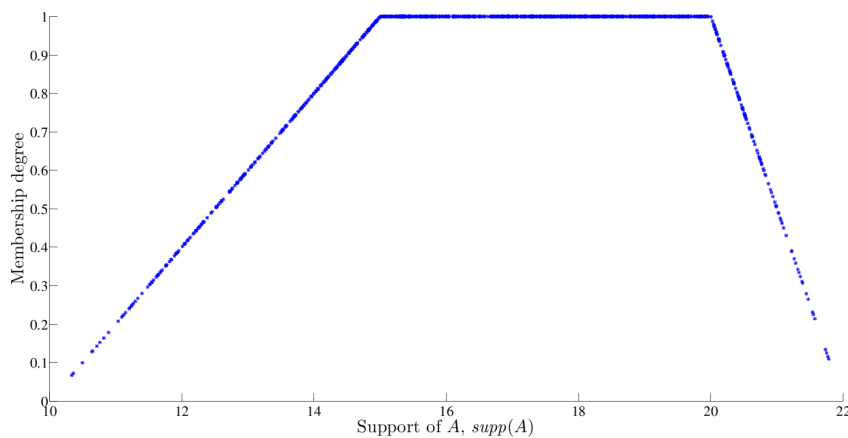


Figure 4. Simulated trapezoidal random variables

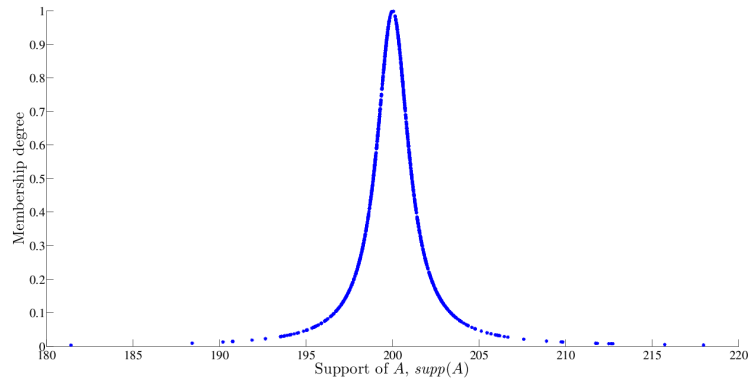


Figure 5. Simulated quasi-exponential random variables

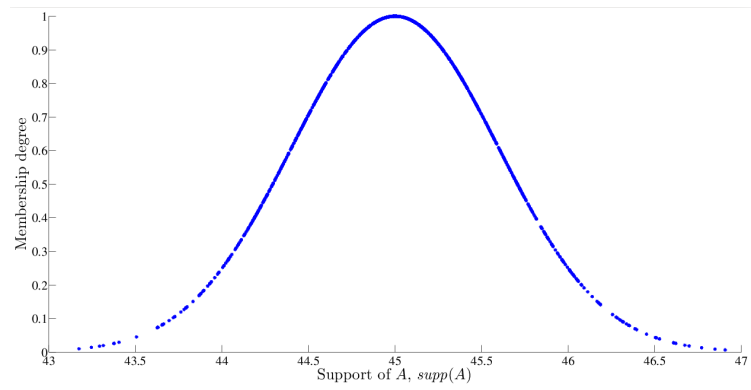


Figure 6. Simulated Gaussian random variables

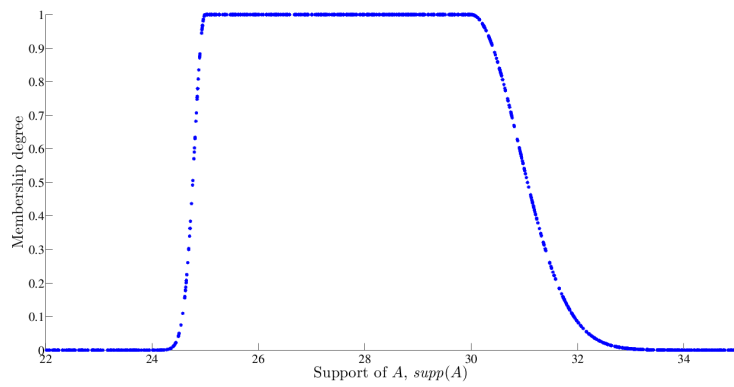
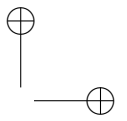
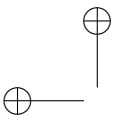


Figure 7. Simulated double-exponential random variables



Note that Figs. 3–7 are good representations of each fuzzy number since the obtained shapes correspond to each membership function.

6. Concluding Remarks

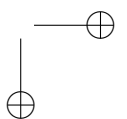
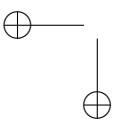
The theoretical results of Varón–Gaviria et al. [14] and Pulido–López et al. [12] were successfully implemented as MATLAB functions. All of them are available to download for free, and the are compatible with MATLAB 9.2 R2017a and later versions.

A theoretical background has been provided to explain how to use the implemented MATLAB's functions and toolbox. All functions are easy to understand, use, and are also compliant with MATLAB specifications for coding and compatibility.

Finally, some experiments are presented and tested using statistical tests on randomness and autocorrelation. The obtained results show generated samples to be independent and random, so the evidence supports the idea that the toolbox provides random samples.

References

- [1] Figueroa-García, J.C.: Mixed production planning under fuzzy uncertainty: A cumulative membership function approach. In: IEEE (ed.) Workshop on Engineering Applications (WEA). vol. 1, pp. 1–6. IEEE (2012), <https://doi.org/10.1109/WEA.2012.6220081> ↑39, 41
- [2] Figueroa-García, J.C., López, C.A.: Linear programming with fuzzy joint parameters: A cumulative membership function approach. In: 2008 Annual Meeting of the IEEE North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS), pp. 1–6. IEEE (2008), <https://doi.org/10.1109/NAFIPS.2008.4531293> ↑39, 41
- [3] Figueroa-García, J.C., López, C.A.: Pseudo-optimal solutions of FLP problems by using the cumulative membership function. In: Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS). vol. 28, pp. 1–6. IEEE (2009), <https://doi.org/10.1109/NAFIPS.2009.5156464> ↑39, 41
- [4] Grimmet, G., Stirzaker, D.: Probability and Random Processes. Oxford University Press (2001) ↑39
- [5] Johnson, L.A., Montgomery, D.C.: Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control. John Wiley & Sons (1974) ↑39
- [6] Klir, G.J., Folger, T.A.: Fuzzy Sets, Uncertainty and Information. Prentice Hall (1992) ↑40
- [7] Klir, G.J., Yuan, B.: Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. Prentice Hall (1995) ↑40
- [8] Kolmogorov, A.N.: Foundations of the Theory of Probability. Chelsea Publishing New York (1956) ↑39
- [9] Law, A., Kelton, D.: Simulation Modeling and Analysis. Mc Graw Hill (2000) ↑39
- [10] Monahan, J.F.: Numerical Methods of Statistics. Cambridge Press (2001) ↑39
- [11] Mood, A.M., Graybill, F.A., Boes, D.C.: Introduction to the Theory of Statistics. Mc Graw Hill Book Company (1974) ↑39
- [12] Pulido-López, D.G., García, M., Figueroa-García, J.C.: Fuzzy uncertainty in random variable generation: a cumulative membership function approach. Communications in Computer and Information Science 742(1), 398–407 (2017), https://doi.org/10.1007/978-3-319-66963-2_36 ↑39, 41, 42, 48
- [13] Ross, S.M.: Stochastic Processes. John Wiley and Sons (1996) ↑39
- [14] Varón-Gaviria, C.A., Barbosa-Fontecha, J.L., Figueroa-García, J.C.: Fuzzy uncertainty in random variable generation: an α -cut approach. Lecture Notes in Artificial Intelligence 10363(1), 1–10 (2017) ↑39, 42, 48
- [15] Wilks, A.: Mathematical Statistics. John Wiley and Sons, New York (1962) ↑39



Juan Carlos Figueroa–García

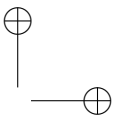
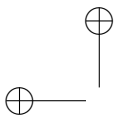
He received the B.S. and M.S. degrees in Industrial Engineering from Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, in 2002/2009, and the Ph.D. degree in Industrial Engineering (meritorious degree) from National University of Colombia, Bogotá, Colombia, in 2014. Since 2006, he has been a Full Time teacher and researcher of the Engineering Faculty from Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia in the area of statistics and operations research. He is co-editor of different Springer LNCS/CCIS volumes and IEEE conference proceedings, and author of several book chapters and multiple scientific papers. He was awarded with the International Fuzzy Systems Association (IFSA) “*Young Scientist Award*” in 2012, the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS) “*Best Interval paper award*” in NAFIPS–IFSA conference in 2013 and the NAFIPS “*Outstanding Paper*” award in 2010. He is an IEEE Senior member, and currently serves as one of the board of directors of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS). His main research interests include fuzzy measures, Type-2 fuzzy sets, fuzzy optimization and fuzzy statistics.

Correo electrónico: jcfigueroag@udistrital.edu.co

Jhoan Sebastian Tenjo–García

He obtained the B.S. degree in Industrial Engineering from Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, in 2017, and he is currently studying mathematics at National University of Colombia, Bogotá Campus. He is author of several scientific papers published by Springer–Nature LNCS/CCIS series. His main research interests include fuzzy sets, fuzzy mathematics, optimization and statistics.

Correo electrónico: jtenjo@unal.edu.co



Research

REVISTA
Ingeniería

Conceptual Design of a Plant of Extraction of Saponins Presents in the Figue's Juice

Diseño Conceptual de una Planta de Extracción de Saponinas Presentes en el Jugo de Figue

Mario Alonso Velásquez-Flórez¹,^{ID} Yesid Vélez-Salazar²,^{ID}

¹Postobón S.A. (Medellín-Colombia), ²Facultad de Ingeniería Química, Universidad Pontificia Bolivariana (Medellín, Colombia).

Correspondence: yesid.velez@upb.edu.co

Recibido: 05/09/2019. Modificado: 23/01/2020. Aceptado: 28/02/2020.

Abstract

Context: Saponins belong to a group of molecules with industrial applications, particularly in the food industry as a foam stabilizer in soft drinks. During 2013 to 2017, its market increased about 50 %, becoming an important economic sector that has promoted a strong interest in the optimization of different extraction processes from different natural sources.

Method: A technological surveillance report was made evaluating the applicability, extraction and economic aspects of saponins worldwide. The conceptual design of a pilot plant for the extraction of saponins from figue's juice was carried out based on the results obtained from the analysis of a decision matrix.

Results: A viable alternative for the extraction of saponins from figue's juice is flocculation, which advantages lie on its technological simplicity, low energy consumption, direct applicability to the matrix of interest and use of solvents such as water and ethanol.

Conclusions: Using Aluminum Polychloride (PAC) as a flocculant, due to its ability to remove organic matter and its selectivity, saponins are recovered in the clarification. The conceptual design presents a pilot plant with a capacity of 67.462 L/h and an efficiency of 87,45 %.

Keywords: Decision matrix, Extraction, Figue, Saponins.

Language: Spanish

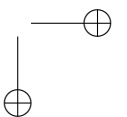
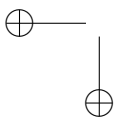
Open access



Cite this paper as: Cite this paper as: M. A. Velásquez-Flórez, and Y. Vélez-Salazar: "Conceptual Design of a Plant of Extraction of Saponins Presents in the Figue's Juice", Ingeniería, Vol. 25, Num. 1, pp. 50-67, Jan.-Apr. 2020.

© The authors; reproduction right holder Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.15298>



Resumen

Contexto: Las saponinas corresponden a un grupo de moléculas con aplicabilidad industrial, especialmente para el sector alimenticio como estabilizante de espuma en bebidas gaseosas. En el período comprendido entre el 2013 y 2017, su mercado incrementó aproximadamente un 50 %, convirtiéndose en un sector económico importante que ha promovido un marcado interés en la optimización de diversos procesos de extracción desde diferentes fuentes naturales.

Método: Se realizó una revisión bibliográfica evaluando aplicabilidad, extracción y aspectos económicos de las saponinas a nivel mundial. Se realizó el diseño conceptual de una planta piloto para la extracción de saponinas de jugo de fique con base en los resultados obtenidos del análisis de una matriz de decisión.

Resultados: Una alternativa viable para extraer saponinas de jugo de fique es la floculación, cuyas ventajas radican en su simplicidad tecnológica, bajo consumo energético, aplicabilidad directa a la matriz de interés y uso de solventes como agua y etanol.

Conclusiones: Al utilizar como floculante el policloruro de aluminio (PAC), debido a su capacidad de remover materia orgánica y a su selectividad, se favorece la recuperación de las saponinas en el clarificado. En el diseño conceptual, se presenta una planta piloto con una capacidad de 67.462 L/h y una eficiencia de 87,45 %.

Palabras clave: Extracción, Fique, Matriz de decisión, Saponinas.

Idioma: Español

1. Introducción

El fique (*Furcraea andina*) es una planta originaria de América tropical cultivada principalmente en países como Venezuela, Perú, Ecuador, Brasil y en las regiones andinas de Colombia [1], el mayor productor a nivel mundial. Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, en Colombia se obtuvieron 15.806 toneladas de la planta en 2014 [2], siendo cultivada principalmente en los departamentos de Nariño, Santander, Antioquia, Guajira y Cauca como el mayor productor [3].

En el proceso de desfibrado de la penca, se aprovecha solo el 4 % de la planta como fibra y el otro 96 % son subproductos que se componen principalmente en un 30 % de bagazo y 70 % de jugo de fique [4], produciéndose de este último alrededor de 96.000 m³/año que son vertidos en diferentes afluentes, afectando su biodiversidad [5]. En 2004, se realizó un estudio donde se demuestra que una vez se procede al lavado de las fibras de fique, los niveles de demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO5) aumentan de 17,8 mg/L a 180 mg/L y de 171,3 mg/L a 537,3 mg/L, respectivamente [1].

El jugo de fique es una matriz compleja compuesta por azúcares, saponinas (glucósidos esteroideos o triterpénicos) y sapogeninas (agliconas de saponinas), ácidos grasos, entre otros, los cuales generan diferentes efectos en los organismos y afluentes [6]. Las saponinas son metabolitos secundarios ampliamente distribuidos en el reino vegetal, están presentes en diferentes partes de la planta como la corteza, las hojas, las raíces e incluso las flores [7]. Las saponinas se componen de una aglicona de tipo esteroidal (C27) o triterpénica (C30) unidas a fracciones de glicósidos hidrofílicos, lo que le confiere características anfifílicas [8].

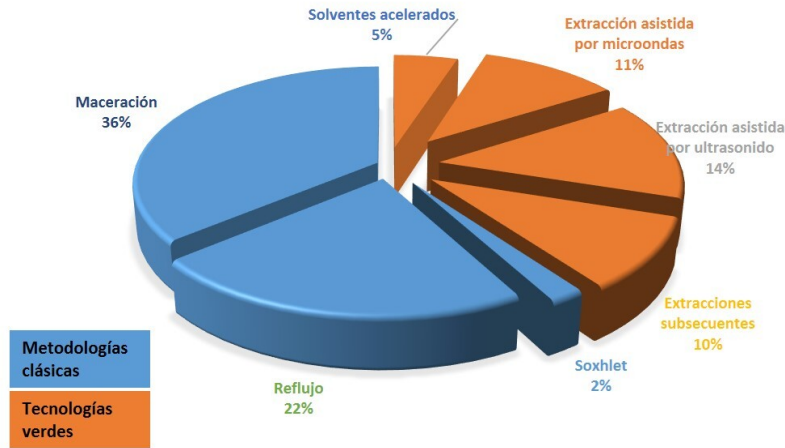


Figura 1. Distribución del tipo de extracciones en las saponinas.

En la actualidad, existe suficiente bibliografía en la que se demuestra la presencia de saponinas en diferentes tipos de plantas, incluyendo la familia Agavaceae [9]. Sin embargo, la información disponible es escasa para el figue, ya que, aunque se han estudiado sus sapogeninas [10], la saponina que origina su biosíntesis no ha sido identificada, caracterizada ni estudiada bajo su uso industrial.

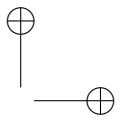
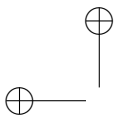
En esta revisión, se estudian diferentes alternativas para la extracción de saponinas provenientes del jugo de figue y se propone el diseño conceptual de una planta productora, lo anterior como un insumo para la generación de valor agregado para los residuales de la industria figuera.

2. Importancia de las saponinas en el mercado mundial

2.1. Técnicas de extracción de saponinas

Las extracciones de las saponinas se pueden clasificar en dos categorías: las metodologías clásicas y las tecnologías verdes [11]. Las metodologías clásicas normalmente son extracción Soxhlet, extracción sólido-líquido empleando grandes cantidades de solventes, mientras que las metodologías verdes emplean ultrasonido, líquidos ultrapresurizados, entre otros [12]. Otra alternativa para una extracción previa a una purificación es la mezcla de metodologías convencionales y tecnologías verdes; por ejemplo, realizar extracciones con solventes, evaporar empleando rotaevaporación, redisolución en agua y liofilización, evitando que las características fisicoquímicas del extracto se vean afectadas [13]. En la Figura 1, se puede observar que el tipo de extracción utilizada por los investigadores se centra en métodos convencionales (con un 75 %), aunque estos consuman grandes cantidades de solventes [11].

Se ha empleado agua presurizada de baja polaridad para extraer las saponinas provenientes de la semilla de berberecho de vaca (*Vaccaria hispánica*) [14], con lo que se alcanzan rendimientos del



orden del 63 % modificando los tiempos de extracción y la concentración de solvente [15]. Utilizando agua caliente presurizada se ha logrado extraer hasta 7,12 g de saponinas/100 g de subproductos fibrosos que se desprenden de los procesos productivos del ginseng rojo [16].

A partir del triturado de rizomas de *Paris delavayi*, se extrajeron las saponinas esteroidales por medio de reflujo con etanol, resuspendiendo el extracto en agua y realizando extracciones con solventes de diferente polaridad. Se separa el extracto final por cromatografía en columna con detección por cromatografía de capa fina [17].

De las raíces del *Polygala senega* L. se aislaron sus saponinas empleando extracción Soxhlet con metanol y separando los compuestos con butanol [18]. El reflujo con solventes también se ha empleado para extraer las saponinas del salvado desengrasado de arroz (*Oryza sativa* L.), seguido por la separación con butanol [13] y la obtención de saponinas de las raíces de *Pulsatilla chinensis* [19].

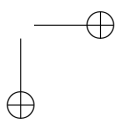
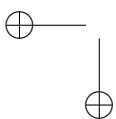
Por medio de una técnica de extracción asistida con microondas, se separaron las saponinas esteroidales de la *Dioscorea zingiberensis* C.H. Wright [20]. La técnica anterior también fue empleada para extracción de saponinas triterpénicas del *Ganoderma atrum*, una planta conocida por sus propiedades medicinales [21].

El ultrasonido es otro método de extracción utilizado en la obtención de compuestos bioactivos de las plantas [22] por medio del fenómeno de cavitación, el cual acelera los procesos de transferencia de masa de los compuestos activos presentes en la célula [23]. Por ejemplo, de la *Quillaja saponaria* Molina, se han extraído sus saponinas triterpénicas con eficiencias cercanas al 70 % [24], además, se ha encontrado que es tres veces más rápida que los métodos convencionales para extraer las saponinas de las raíces y de células cultivadas del ginseng [25].

La extracción de saponinas con solventes a alta presión es una técnica alternativa a las técnicas convencionales de extracción, la cual permite obtener tiempos más cortos de extracción, menores consumos de disolvente y mayores rendimientos en la extracción. La alta presión y temperatura favorece la difusión del solvente a través de los poros de la matriz, lo que permite la extracción de los analitos [26]. Esta técnica es reportada como una aplicación para la remoción del contenido de saponinas en los aquenios de *Chenopodium quinoa*, favoreciendo el desamargado del grano para su consumo como alimento [27].

2.2. Aplicaciones industriales de las saponinas

Se afirma en [28] que las semillas de quinua pueden representar una fuente sostenible de saponinas en grandes cantidades debido al aumento en la producción y expansión mundial del cultivo, siendo importante la identificación de los nichos de mercado y la evaluación de su uso potencial en favor de la conservación del medio ambiente y el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad. Se han realizado investigaciones encaminadas a la sanidad vegetal, donde se le ha reconocido la capacidad del control de plagas y enfermedades principalmente de origen fúngico, como *Botrytis sinerea*, *Aspergillus* y *Fusarium* [29], [30].



Los extractos de Quillaja son extractos acuosos obtenidos de Quillaja saponaria Molina, árbol nativo de China y algunas regiones de Suramérica como Perú, Chile y Bolivia. En la actualidad, existe la Quillaja tipo 1 que contiene más de 100 saponinas triterpénicas y es tratada con estabilizantes como la albúmina de huevo y PVP (contiene entre 20 % y 26 % de saponinas), y la tipo 2, la cual se obtiene a partir de la tipo 1 al someter el extracto por ultrafiltración o cromatografía de afinidad, removiendo sólidos indeseados y confiriéndole mejores propiedades emulsificantes y mayor contenido de saponinas que está alrededor de 75 % al 90 %. Ambos tipos de extractos se emplean principalmente como emulsificantes en la industria alimenticia. Los extractos de alta pureza no se emplean como aditivos alimenticios, sino como auxiliares en la producción de vacunas animales [31].

Las saponinas han recibido importante atención debido a su actividad biológica como hepatoprotector, antitumoral, antimicrobiano [29] y antiinflamatorio; además, en la actualidad se han reportado sus propiedades antidiabéticas, lo que genera un prometedor panorama para el desarrollo de nuevos medicamentos [32], [33]. Un estudio mostró que la fracción rica en saponina de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) estimula el sistema inmune contra las células cancerosas [34] y se ha reportado su poder reductor de colesterol [35]. Muchos de esos efectos se han relacionado con su capacidad para interactuar con la membrana plasmática y modificar su fluidez y permeabilidad, cuyos mecanismos no están completamente estudiados [36]. Se afirma en [37] que la actividad de las saponinas puede atribuirse a las propiedades anfipáticas de las moléculas que la constituyen (un triterpeno hidrofóbico o esqueleto esterólico y una cadena hidrofílica de carbohidrato).

Industrialmente, se ha dado uso a las saponinas como tensoactivos en formulaciones para la fabricación de jabones, especialmente por su seguridad para el medio ambiente, su biodegradabilidad, por ser un producto renovable y ecológicamente adaptable. Además de ello, se ha reportado el uso de extractos de saponinas de quinua como agente de control biológico contra nemátodos en cultivos de papa, orugas en cultivos de maíz o *Drosophila melanogaster*, cuyo estudio se realizó evaluando el contenido de saponinas por medio del método afrosimétrico que se basa en la propiedad de las saponinas para disminuir la tensión superficial del agua, formándose una espuma estable cuya altura está relacionada con el contenido del analito en el sustrato evaluado [38].

En [39] se evalúa la capacidad molusquicida de un extracto de saponinas proveniente de cáscaras de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), obtenido por tratamiento con agua destilada, seguido de tratamiento con soda cáustica a 95-100 °C por dos horas con agitación, la cual después de enfriar se neutralizó con HCl para, finalmente, secarlo al aire. El polvo fino marrón obtenido se cuantificó por RP-HPLC, indicando un contenido de saponinas de 36 % p/p. Este extracto mostró un control de 100 % a 7-10 ppm de saponinas después de 72 horas y con un extracto de 5 ppm de saponinas después de 96 horas. Se observó que los moluscos tratados (*Pomacea canaliculata*) cerraron su opérculo 20-60 min después de la aplicación del extracto, lo que les impediría su capacidad de alimentación y con lo cual podría ser utilizado como control biológico en cultivos de arroz [39].

Utilizando extractos de hojas de flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*), se evaluó su actividad antimicrobiana, encontrando efectividad inhibitoria contra *S. aureus* y *P. aeruginosa* a concentraciones de 20-160 mg/mL [40].

2.3. Mercado mundial de las saponinas

El mercado de las saponinas ha venido en aumento y se proyecta un crecimiento a una tasa de 0,2 % en los próximos cinco años, pasando de USD 950 millones en 2017 a USD 970 millones en 2023 [41].

Entre 2013 y 2017, las importaciones de las saponinas han crecido aproximadamente un 50 %, incrementándose de USD 680 millones a USD 1.022 millones, donde Estados Unidos se destaca como el mayor importador a nivel mundial con un 20 % del mercado total en el 2017, mientras que países como China, Malasia, Francia, Irlanda, Alemania y Rusia tienen el 5 % del mercado global en 2017 [42]. En Colombia, los mayores importadores de saponinas entre el 2013 y 2017 se muestran en la Figura 2, estos cuentan con un promedio de compra de USD 311/kg en 2017 [43].



Figura 2. Principales importadores de saponinas en Colombia entre 2013 y 2017. Fuente: Elaboración propia con base en [43].

En cuanto a las exportaciones, entre los años 2013 y 2017 se ha observado un incremento aproximado de 23 %, pasando de USD 1.101 millones a USD 1.359 millones, donde China se destaca como el mayor exportador a nivel mundial con un 36 % del mercado global en el 2017, seguido de Francia y Malasia con un 12 % y 8 %, respectivamente [42]. Los grandes productores/comercializadores de saponinas son: Laozhiqing Group, Hubei Jusheng Technology, Weihe Pharma, Yunan Notoginseng y Yunnan Baiyao Group [41].

En América Latina, Chile es el país más destacado en exportaciones de saponinas provenientes de *Quillaja saponaria* Molina (único extracto de saponinas aprobado para el uso en alimentos) [44], obtenidas de la corteza del árbol y valorizadas entre € 20 a 25/kg [45]. Este mercado se valoró en 2015 en USD 1.569,9 millones, proyectando un ritmo de crecimiento del 5 % hasta alcanzar un valor de USD 2.426 millones en 2024 [46]. Los mayores comercializadores se muestran en la Figura 3.



Figura 3. Principales comercializadores de extractos de Quillaja.

Otro importante mercado de saponinas a nivel mundial proviene del Ginseng (*Panax notoginseng*), cuyas importaciones mostraron una reducción cercana al 7 % entre 2013 y 2017, siendo la ciudad de Hong Kong el mayor importador con un 43 % del mercado global en el 2017, seguido de Japón, China y Estados Unidos con un 12 %, 11 % y 8 % respectivamente [42]. En cuanto a las exportaciones a nivel mundial, entre 2013 y 2017 el mercado presentó una contracción del 12 %, donde se destaca Canadá como el mayor exportador con un 34 % del mercado global en el 2017, seguido con China, Corea del Sur, Japón y Estados Unidos con un 26 %, 13 %, 12 % y 11 % respectivamente [42].

3. Metodología de matriz de decisiones para la selección del método de extracción de saponinas

Con el fin de proponer una adecuada metodología para la extracción de saponinas provenientes del jugo de figue, se aplica la metodología Pugh, donde se valora en términos de pérdida o ganancia una alternativa tecnológica, basado en la revisión bibliográfica realizada para metodologías de extracción de saponinas en diferentes tipos de plantas, ello con el fin de considerar un amplio espectro de tecnologías y no reservarse únicamente a matrices acuosas similares al jugo de figue. Las metodologías seleccionadas para evaluación corresponden a extracciones a escala piloto o laboratorio. Para crear la matriz de decisión se tuvieron en cuenta las consideraciones mencionadas a continuación.

- Calentamiento: Operaciones que involucren etapas de calentamiento en los procesos de extracción o pretratamientos que puedan afectar la integridad de las saponinas o generar costos adicionales.
- Consumo energético: Se cuantificó con respecto a lo expuesto en cada metodología. Si la información de algún equipo no se encuentra disponible dentro de la metodología, se emplea un equipo genérico con información detallada que cumpla las expectativas. Si la información de tiempos no se encuentra disponible, se estiman tiempos aproximados según la experiencia en condiciones similares.
- Solvente empleado en la extracción: Para el caso de Colombia, se debe tener en cuenta el listado de sustancias químicas controladas definidas en la Resolución 0001 de enero de 2015 [47], por lo cual se tuvo preferencia por solventes como el agua o el etanol que no poseen restricciones mayores. Otro tipo de solventes como el butanol o el metanol no solo pueden ser controlados, sino que pueden generar condiciones indeseadas en los productos terminados, lo que conlleva a procesos posteriores de purificación.

- Secado al vacío: El secado al vacío implica tiempos de tratamiento largos y altos consumos energéticos.
- Liofilización: Procesos de purificación que impliquen el uso de liofilización son indeseados, ya que estos aumentan de manera exponencial los costos asociados debido al alto gasto energético y tiempos de espera prolongados, así como escalamientos restrictivos de la metodología debido al volumen de trabajo [48].
- Secado previo (con respecto al fique): Debido a que todas las matrices evaluadas no son iguales al fique, es posible que se deba realizar un secado previo del jugo para adaptarse a la metodología en cuestión. El secado previo es indeseado, no solo por el aumento en los costos, sino porque el jugo contiene diferentes tipos de azúcares que, bajo esta condición operacional, podrían generar importantes cambios en las propiedades organolépticas del producto obtenido.
- Tiempo de extracción (días): Tiempos altos son indeseados. En caso de no disponerse de esta información, se consideró que una liofilización toma alrededor de 46 horas [49], un secado al vacío demora un día, la rotaevaporación toma quince minutos como mínimo, la centrifugación demora quince minutos y el secado del fique veinticuatro horas.
- TRL (siglas del inglés *Technology Readiness Levels*): Nivel de madurez de una tecnología evalúa el estado de un proceso en términos de la innovación y nivel de investigación. EL TRL se califica en una escala de 1 a 9 [50].

Cada una de las consideraciones se calificó en un rango de 1 a 10 (a excepción del TLR), donde 1 es escenario no deseado y 10 escenario altamente deseado. En la Tabla I se muestra la información de la potencia de los equipos genéricos considerados.

Tabla I. Consideraciones de potencia de los equipos empleados en los diferentes procesos analizados.

Equipo	Potencia (W)	Referencia
Rotaevaporador	100	[51]
Base calentamiento	1.500	[51]
Liofilizador	27.000	[52]
Baño recirculador	2.000	[53]
Horno de vacío	1.200	[54]
Plancha de calentamiento	150	[55]
Centrífuga	130	[53]
Microondas	2.160	[56]

Generalmente, la recuperación del producto final en cualquier proceso de extracción es un parámetro de elevada importancia en la toma de decisiones para la viabilidad de un proyecto. Sin embargo, las recuperaciones descritas en cada uno de los procesos no son comparables entre sí debido a que cada cálculo tiene tratamientos matemáticos diferentes que dependen de cada autor y, por tanto, se obtendría una ponderación adecuada, por lo cual no se consideran dentro de la ponderación.

En la Tabla II, se observan los resultados de las consideraciones técnicas evaluadas para los diferentes procesos estudiados. En la Tabla III, se recogen las referencias bibliográficas para cada proceso. En la Tabla IV se encuentra la ponderación final de la matriz de decisión.

Tabla II. Resultados de la evaluación de cada proceso.

Ref.	Calentamiento	Consumo energético (Wh)	Solvente empleado en la extracción de las saponinas	Secado al vacío	Liofilización	Secado previo con respecto al fique	TRL	Observaciones
1	Durante el ultrasonido	29.279,17	Etanol/agua	Sí	No	Sí	5	TSC= contenido de saponinas totales
2	Pre calentamiento de CO ₂ -Etanol/Agua	1.270.800	CO ₂ -Etanol/agua	Sí	Sí	Sí	4	TSC= contenido de saponinas totales
3	En la alimentación del lixiviado	4.015	Agua	No	No	No	4	
4	No	465	Etanol/agua	Sí	No	No	5	
5	No	10.115	Acetona/etanol	Sí	No	No	4	
6	No	28.800	Etanol/agua	No	No	Sí	5	
7	En el reflujo	1.271.650	Butanol, etanol/agua	Sí	Sí	Sí	5	DE: Diosgenina Equivalente
8	Si	29.556	Etanol/agua	No	No	Sí	5	
9	Si	29.376	Etanol	No	No	Sí	5	
10	Si	32.040	CO ₂ -etanol/agua	No	No	Sí	3	PE: ProtPE: Protodioscina Equivalentes
11	En la rotaevaporación	34.000	Hexano, butanol, etanol/agua	Sí	No	Sí	2	*Extracciones enfocadas para estudios analíticos
12	En la evaporación a presión reducida	33.600	Metanol, acetato de etilo, butanol, agua	Sí	No	Sí	2	*Extracciones enfocadas para estudios analíticos
13	No	33.600	Etanol/agua	Sí	No	Sí	4	
14	Si	34.125	Butanol, etanol/agua	Sí	No	Sí	4	
15	No	95	Éter de petróleo, acetato de etilo, agua	No	No	Sí	4	**El surfactante producido in situ. No es producto comercial. ***mg/g= cantidad de la saponina obtenida después de la extracción/cantidad de la saponina obtenida antes de la extracción

A partir de los resultados ponderados mostrados en la Tabla IV, se puede observar que los procesos 3 y 4 alcanzan el mismo puntaje (76 puntos); estos procesos corresponden a espumación en dos etapas y floculación en dos etapas respectivamente. Se elige el método 4, que corresponde al proceso por floculación, debido a la facilidad y conocimientos que se tienen en el diseño de este tipo de equipos. Además, para el diseño de sistemas de espumación se requiere de estudios más profundos que están fuera del alcance de este trabajo. El proceso elegido se caracteriza por tener un bajo consumo energético, ser aplicable a matrices acuosas que no requieren pretratamientos al jugo de fique, no emplea solventes peligrosos o controlados, se obtienen valores de recuperación superiores y su TRL evidencia un desarrollo tecnológico superior comparado con el proceso 3.

Tabla III. Bibliografía, planta y metodología empleada por cada proceso.

Ref.	Fuente	Planta	Metodología
1	[57]	Quinoa, lenteja, fenogreco, soya y altramuza	Ultrasonido
2	[58], [59]	<i>Ilex paraguariensis</i> St.-Hil.	Líquidos presurizados
3	[60]	<i>Camellia sinensis</i>	Espumación en dos etapas
4	[61]	<i>Camellia sinensis</i>	Floculación en dos etapas
5	[62]	<i>Camellia sinensis</i>	Precipitación y ultrasonido
6	[63]	<i>Panax quinquefolius</i>	Maceración
7	[13]	Arroz	Reflujo
8	[64]	<i>Xanthoceras sorbifolia</i> Bunge	Extracción asistida por microondas
9	[65]	<i>Gymnema sylvestre</i>	Extracción asistida por microondas
10	[66]	<i>Agave salmiana</i>	Fluidos supercríticos y ultrasonido
11	[67]	<i>Agave offoyana</i>	Maceración
12	[68]	<i>Agave sisalana</i> Perrine ex Engelm	Maceración
13	[69], [70]	<i>Panax ginseng</i> (C.A. Meyer)	Maceración
14	[71]	<i>Panax ginseng</i>	Separación con resinas
15	[72]	<i>Panax ginseng</i>	Extracción con surfactantes/Centrifugación

Tabla IV. Ponderación final de la matriz de decisión.

Ref.	Calentamiento	Consumo energético (Wh)	Solvente empleado en la extracción de las saponinas	Secado al vacío	Liofilización	Secado previo con respecto al fique	Tiempo de extracción (días)	TLR	Observaciones	Total
1	5	5	9	3	10	3	8	5	10	58
2	5	1	8	3	1	3	5	4	10	40
3	5	7	10	10	10	10	10	4	10	76
4	10	10	9	3	10	10	9	5	10	76
5	10	6	7	3	10	10	9	4	10	69
6	10	5	9	10	10	3	1	5	10	63
7	5	1	3	3	1	3	5	5	10	36
8	5	5	9	10	10	3	8	5	10	65
9	5	5	9	10	10	3	8	5	10	65
10	5	5	8	10	10	3	8	3	10	62
11	5	5	1	3	10	3	7	2	7	43
12	5	5	1	3	10	3	4	2	7	40
13	10	5	9	3	10	3	8	4	10	62
14	5	5	3	3	10	10	8	4	10	58
15	10	10	10	10	10	10	8	5	1	74

4. Diseño del proceso de extracción de saponinas de jugo de fique

Para el diseño del proceso, se consideró que el contenido de jugo de fique en la planta es de 61 %. En el departamento de Antioquia, la producción anual de fique es de 2.650 ton/ha, por lo que se considera un 10 % del total para una planta piloto [73]; el caudal de trabajo es 67.462 L/h; la eficiencia será de 87,45 % descrito en [61]; el floculante elegido es PAC (policloruro de aluminio) por su vasto uso en la industria [74]; las corrientes se simulan como agua + sólido, ya que el solvente corresponde a más del 95 % del contenido, y la concentración de saponinas en el jugo de fique es 4,48 g/kg de jugo.

4.1. Sedimentador

Para determinar el volumen sedimentado en el sistema PAC + jugo de fique, se mezclaron 400 mL de jugo de fique, 3.600 mL de agua destilada y 120 gotas de PAC (4,9320 g) generando vórtice por un minuto. El total se trasvasó a un decantador de 4.000 mL, donde se dejó en reposo por dieciséis horas hasta alcanzar el estado estacionario. Se determinó que el volumen sedimentado fue de 140 mL. El caudal de trabajo es $0,000187395 \text{ m}^3/\text{s}$. En la Tabla V se muestran las dimensiones principales del sedimentador de placas siguiendo los cálculos de [75] y [76].

Tabla V. Resultados dimensionales del sedimentador.

Variable	Descripción	Valor	Unidad
e	Espesor de las placas	0,800	cm
Θ	Ángulo de inclinación de las placas	60	°
l	Longitud del módulo de placas	1,200	m
No	Número de orificios por tubo	17	
lc	Longitud del colector	1,220	m
LT	Longitud total del sedimentador	1,21	m
D	Diámetro del tubo de sifón	38,0	mm
L	Longitud del tubo de sifón	2,840	m
H_t	Altura del canal o tolva	1,300	m
N	Número de canales de lodos o hileras de tolvas	2	
L	Longitud del sedimentador	1,209	m
a	Distancia entre sifones	0,900	m
L	Longitud del decantador	1,209	m
b	Ancho de cada hilera del módulo de sedimentación	1,220	m
h	Profundidad de las tolvas	1,300	m
NMS	Número de submódulos para sedimentación	2	
L	Longitud del canal	1,209	m
B	Ancho del canal	1,000	m
b	Ancho del módulo de sedimentación	1,220	m

4.2. Pulido del producto final

4.2.1. Simulación

En el pulido del producto final, lo que se espera es remover la mayor cantidad de agua posible con el fin de aumentar la concentración final de las saponinas. En ensayos realizados en laboratorio, el remanente de la sedimentación (3.860 mL) se sometió a evaporación hasta reducir su volumen a 40 mL. La presencia de saponinas se verificó con la formación de espumación en el frasco contenedor. El recipiente que contenía el fique en proceso de evaporación no mostró presencia de azúcares debido a que las paredes no estaban caramelizadas, lo que indica que estos fueron removidos en los lodos y que el PAC presenta selectividad por las saponinas. Según lo anterior, la evaporación debe remover el 99 % del agua que entra a la unidad de evaporación. Se emplea AspenONE® versión 10 como simulador. Debido a que no se cuenta con datos termodinámicos y de equilibrio del sistema agua-saponinas, se emplea sacarosa para simular el sólido, ya que el uso de un sólido hipotético no arrojó datos confiables.

Se simula como un evaporador de un solo efecto (solo un efecto debido a la concentración tan baja de las saponinas que no permite tener rampas de evaporación). La salida del sedimentador (flujo 10) se alimenta de un intercambiador E-100, donde la corriente se precalienta antes de ser enviado a

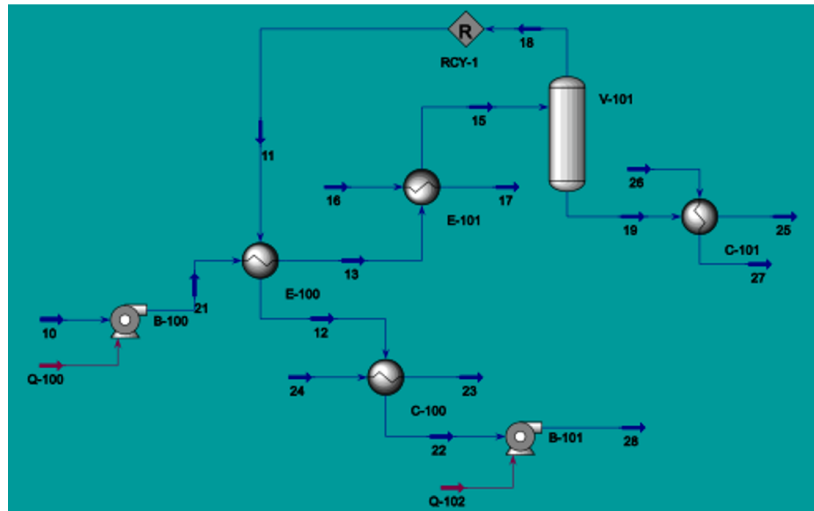


Figura 4. Simulación en AspenONE® de un evaporador de una sola etapa.

otro intercambiador E-101 que emplea vapor de baja presión para entregar el calor necesario con el fin de obtener una corriente líquido-vapor que se separa en la unidad V-101. La corriente vapor del *flash* (flujo 18) se recircula al intercambiador E-100 como precalentamiento de la corriente a tratar para luego enfriarse en la unidad C-100 y así retornar como agua destilada al mezclado de materias primas. En la unidad C-101, se enfría el producto terminado (flujo 27) que está a la concentración deseada (0,002149086 en fracción mol o 0,039257825 en fracción masa). Las unidades C-100 y C-101 emplean agua de enfriamiento estándar (Figura 4).

4.2.2. Dimensionamiento

En la Tabla VI, la Tabla VII y la Tabla VIII se muestran los resultados del dimensionamiento de las unidades B-100, E-100, E-101, V-101, C-100, C-101 y B-101 empleando criterios descritos en la bibliografía [77].

Tabla VI. Dimensionamiento de las unidades de intercambio de calor. Fuente [77]

	E-100	E-101	C-100	C-101
U (W/m ² K)	1134,9	1134,9	1134,9	1134,9
D_{to} (m)	0,0381	0,0381	0,0381	0,0381
δ_t (m)	0,00124	0,00124	0,00124	0,00124
v_i (m/s)	2	2	2	2
D_{ti} (m)	0,036	0,036	0,036	0,036
N_t	4	13	20	1
D_{SEX} (m)	0,14	0,26	0,32	0,07
A_{EX} (m ²)	0,83	5,76	66,62	0,24
L_t (m)	0,93	1,98	2,48	0,54
L_t/D_{sex}	6,58	7,77	7,84	7,67

Tabla VII. Dimensionamiento de bombas. Fuente [77].

	B-100	B-101
Tipo	Bomba rotatoria	
$W_{isentrópico}$ (kJ/h)	21,8	97,4
H_B (m)	3,4	15,5
Q (m ³ /s)	0,00018	0,00018
$\eta_{B s}$ (%)	75,0000	75,0000
W_B (W)	0,060	0,270
W_B (kW)	6,0E-05	2,7E-04

Tabla VIII. Dimensionamiento de unidad *flash*. Fuente [77].

D_{rec} (m)	0,56050
τ (min)	15,00000
L_5 (m)	0,00864
D_N (m)	0,06633
L_1	0,3
L_2	0,3
L_3	0,45
L_4	0,3
L_{Rec}	1,42497
$(L/D)_{Rec}$	2,54231

En la Tabla IX se muestra la nomenclatura utilizada en el dimensionamiento.

Tabla IX. Nomenclatura empleada en el dimensionamiento.

U(W/m ² K)	Coefficientes globales de transferencia de calor. Se supone agua por el lado de los tubos y agua por el lado de la coraza
D_{to} (m)	Diámetro externo de los tubos
d_t (m)	Espesor de los tubos
v_t (m/s)	Velocidad de flujo en los tubos
D_{ti} (m)	Diámetro interno de los tubos
N_t	Número de tubos por paso
D_{SEX} (m)	Diámetro interno de la coraza
A_{EX} (m ²)	Área de intercambio de calor
L_t (m)	Longitud de los tubos
Lt/D_{sex}	Relación que debe estar entre 6 y 8
$W_{isentrópico}$ (kJ/h)	Trabajo isentrópico
H_B (m)	Cabeza
Q (m ³ /s)	Caudal
$h_{B s}$ (%)	Eficiencia
W_B (W)	Potencia real
D_{rec} (m)	Diámetro del recipiente
t (min)	Tiempo de residencia del líquido
L_5 (m)	Figura 5
D_N (m)	Diámetro de la boquilla
L_1	Figura 5
L_2	Figura 5
L_3	Figura 5
L_4	Figura 5
L_{Rec}	Longitud total del recipiente
$(L/D)_{Rec}$	Relación que debe estar entre 2,5 y 5 para separadores verticales

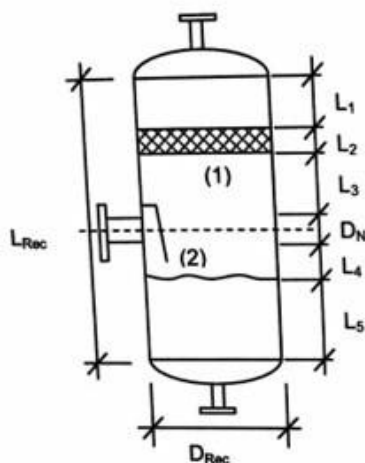


Figura 5. Esquema de un separador flash. Fuente: [77].

5. Conclusiones

El jugo de fique como residual agroindustrial es potencialmente aprovechable para la extracción de saponinas a través de procesos de floculación, con bajo consumo energético, aplicabilidad directa sobre la matriz de interés y uso de solventes inocuos al medio ambiente.

En Colombia se estima un potencial de producción de saponinas de 447 T/A a partir de jugo de fique residual, lo que generaría un impacto ambiental positivo evidenciado en una reducción significativa de la DQO y la DBO5 de los efluentes generados en las plantas de beneficio.

En el diseño conceptual, se presenta una planta piloto con una capacidad de 67.462 L/h y una eficiencia de 87,45 %. El pulido del producto final se puede realizar empleando un evaporador de un solo efecto, simulado como un intercambiador de calor y una unidad *flash*.

Referencias

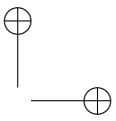
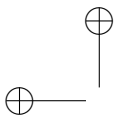
- [1] Cadena Productiva Nacional del Fique, “Guía ambiental del subsector fiquero”. [En línea]. Disponible en: https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/basic-page/files/guia_ambiental_subsector_fiquero.pdf ↑51
- [2] Ministerio de Agricultura de Colombia, “Evaluaciones agropecuarias municipales”, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/Documents/Fique.pdf#search=fique> ↑51
- [3] Ministerio de Agricultura de Colombia, “Sistema de información de gestión y desempeño de organizaciones de cadenas”, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pages/SIOC.aspx> ↑51
- [4] M. A. Velásquez, *Biotransformación de compuestos esteroidales provenientes de jugo de fique*, Tesis de grado, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 2012. ↑51

- [5] P. Galeano y D. García, *Optimización del proceso de biotransformación del jugo de fique empleando Cunninghamella spp.*, Tesis de grado, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 2006. ↑51
- [6] M. E. Ramírez *et al.*, *Aprovechamiento integral del fique: usos alternativos y su potencial*. Medellín: Isagen, 2010. ↑51
- [7] E. Moghimipour y S. Handali, "Saponin: Properties, methods of evaluation and applications", *Annual Research and Review in Biology*, vol. 5, n.º 1, pp. 207-220, 2015. <https://doi.org/10.9734/ARRE/2015/11674> ↑51
- [8] I. Arslan y A. Çelik, "Saponin rich fractions (SRPs) from soapwort show antioxidant and hemolytic activity", *APCBEE Procedia*, vol. 7, pp. 103-108, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2013.08.019> ↑51
- [9] J. Sidana, B. Singh y O. P. Sharma, "Saponins of agave: Chemistry and bioactivity", *Phytochemistry*, vol. 130, pp. 22-46, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.06.010> ↑52
- [10] O. Benavides, O. Arango, A. Hurtado y M. Rojas, "Cuantificación de saponinas de jugo fresco y fermentado de fique (*Furcraea gigantea*) mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC-PDA)", *Información Tecnológica*, vol. 23, 2012. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000300009> ↑52
- [11] C. Y. Cheok, H. A. Salman y R. Sulaiman, "Extraction and quantification of saponins: A review", *Food Research International*, vol. 59, n.º 5, pp. 16-40, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.057> ↑52
- [12] M. Y. Heng, S. N. Tan, J. W. Yong y E. S. Ong, "Emerging green technologies for the chemical standardization of botanicals and herbal preparations", *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 50, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2013.03.012> ↑52
- [13] K. W. Chan, S. Iqbal, N. M. Khong, D. J. Ooi y M. Ismail, "Antioxidant activity of phenolics-saponins rich fraction prepared from defatted kenaf seed meal", *LWT-Food Science and Technology*, vol. 56, pp. 181-186, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.10.028> ↑52, 53, 59
- [14] Ö. Güçlü-Üstündağ y G. Mazza, "Extraction of saponins and cyclopeptides from cow cockle seed with pressurized low polarity water", *LWT-Food Science and Technology*, vol. 41, n.º 11, pp. 1600-1606, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.10.019> ↑52
- [15] Ö. Güçlü-Üstündağ, J. Balsevich y G. Mazza, "Pressurized low polarity water extraction of saponins from cow cockle seed", *Journal of Food Engineering*, vol. 80, n.º 5, pp. 619-630, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.024> ↑53
- [16] P. S. Saravana, A. T. Getachew, R. Ahmed, Y. J. Cho, Y. B. Lee y B. S. Chun, "Optimization of phytochemicals production from the ginseng by-products using pressurized hot water: Experimental and dynamic modelling", *Biochemical Engineering Journal*, vol. 113, n.º 9, pp. 141-151, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.06.006> ↑53
- [17] Y. Liu *et al.*, "New steroidal saponins from the rhizomes of *Paris delavayi* and their cytotoxicity", *Fitoterapia*, vol. 111, n.º 6, pp. 130-137, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2016.04.018> ↑53
- [18] A. Estrada, G. S. Katselis, B. Laarveld y B. Barl, "Isolation and evaluation of immunological adjuvant activities of saponins from *Polygala senega* L.", *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, vol. 23, n.º 1, pp. 27-43, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0147-9571\(99\)00020-X](https://doi.org/10.1016/S0147-9571(99)00020-X) ↑53
- [19] Y. Sun, J. Liu, H. Yu y C. Cong, "Isolation and evaluation of immunological adjuvant activities of saponins from the roots of *Pulsatilla chinensis* with less adverse reactions", *International Immunopharmacology*, vol. 10, n.º 5, pp. 584-590, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2010.02.006> ↑53
- [20] Y. Ren, Y. Chen, B. Hu, H. Wu, F. Lai y X. Li, "Microwave-assisted extraction and a new determination method for total steroid saponins from *Dioscorea zingiberensis* C.H. Wright", *Steroids*, vol. 104, n.º 12, pp. 145-152, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.steroids.2015.09.008> ↑53
- [21] Y. Chen, M. Y. Xie y X. F. Gong, "Microwave-assisted extraction used for the isolation of total triterpenoid saponins from *Ganoderma atrum*", *Journal of Food Engineering*, vol. 81, n.º 7, pp. 162-170, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.018> ↑53
- [22] M. Vinatoru, "An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs", *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 8, n.º 7, pp. 303-313, 2001. [https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(01\)00071-2](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(01)00071-2) ↑53
- [23] J. Azmir *et al.*, "Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review", *Journal of Food Engineering*, vol. 117, n.º 8, pp. 426-436, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014> ↑53

- [24] M. G. Cares, Y. Vargas, L. Gaete, J. Sainz y J. Alarcón, “Ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from *Quillaja saponaria* Molina”, *Physiscs Procedia*, vol. 3, n.º 1, pp. 169-178, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2010.01.024> ↑53
- [25] J. Wu, L. Lin, F. Chau, “Ultrasound-assisted extraction of ginseng saponins from ginseng roots and cultured ginseng cells”, *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 8, n.º 10, pp. 347-352, 2001. 10.1016/s1350-4177(01)00066-9 ↑53
- [26] R. M. Prado, *Evaluación de técnicas de extracción de saponinas de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) como alternativa de mejoramiento de la cadena productiva en Cundinamarca*, Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, 2018. ↑53
- [27] V. Gianna, *Extracción, cuantificación y purificación de saponinas de semillas de *Chenopodium quinoa* Willd provenientes del noroeste argentino*, Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, 2013. ↑53
- [28] K. Ruiz, B. Khakimov, S. Engelsen, S. Bak, S. Biondi y S. Jacobsen, “Quinoa seed coats as an expanding and sustainable source of bioactive compounds: An investigation of genotypic diversity in saponin profiles”, *Industrial Crops and Products*, vol. 104, pp. 156-163, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.007> ↑53
- [29] M. A. García-Parra, N. Z. Plazas-Leguizamon, D. C. Carvajal Rodríguez, S. K. Ferreira Torrado y J. D. Parra, “Descripción de las saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en relación con el suelo y el clima: una revisión”, *Informador Técnico (Colombia)*, vol. 82, n.º 2, pp. 241-249, 2018. <https://doi.org/10.23850/22565035.1451> ↑53, 54
- [30] M. F. Jiménez-Reyes, H. Carrasco, A. F. Olea y E. Silva-Moreno, “Natural compounds: A sustainable alternative to the phytopathogens control”, *Journal of the Chilean Chemical Society*, vol. 64, n.º 2, 2019. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072019000204459> ↑53
- [31] S. Resnik, “Quillaja extracts Type 1 and Type 2”, *Chemical and Technical Assessments of Food Additives*, n.º 61, 2004. ↑54
- [32] A. R. El Barky, S. A. Hussein, A. Alm-Eldeen, Y. Hafez y T. M. Mohamed, “Saponins and their potential role in diabetes mellitus”, *Diabetes Management*, vol. 7, n.º 1, pp. 148-158, 2017. ↑54
- [33] H. Bonilla, Y. Carbajal, M. Gonzales, V. Vásquez y A. López, “Determinación de la actividad insecticida de la saponina de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en larvas de *Drosophila melanogaster*”, *Scientia Agropecuaria*, vol. 10, n.º 1, pp. 39-45, 2019. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.04> ↑54
- [34] U. Aregueta-Robles *et al.*, “Cytotoxic activity of a black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) extract and its flavonoid fraction in both in vitro and in vivo models of lymphoma”, *Revista de Investigación Clínica*, vol. 70, pp. 32-39, 2018. <https://doi.org/10.24875/RIC.17002395> ↑54
- [35] M. Medoza, “Inducción de metabolitos de interés nutracéutico en germinados de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el efecto de su consumo en un modelo de dislipidemia”, Tesis de grado, Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, 2018. ↑54
- [36] S. Verstraeten, M. Deleu, M. Janikowska-Sagan, E. Claereboudt, L. Lins, D. Tyteca y M. P. Mingeot-Leclercq, “The activity of the saponin ginsenoside Rh2 is enhanced by the interaction with membrane sphingomyelin but depressed by cholesterol”, *Scientific Reports*, vol. 9, pp. 1-14, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43674-w> ↑54
- [37] M. Hussain *et al.*, “Role of Saponins in Plant Defense Against Specialist Herbivores”, *Molecules*, vol. 24, n.º 11, p. 2067, 2019. <https://doi.org/10.3390/molecules24112067> ↑54
- [38] J. Wisetkomolmat, P. Suppakittpaisarn y S. R. Sommano, “Detergent Plants of Northern Thailand: Potential Sources of Natural Saponins”, *Resources*, vol. 8, n.º 10, p. 10, 2019. <https://doi.org/10.3390/resources8010010> ↑54
- [39] M. Castillo-Ruiz, H. Cañon-Jones, T. Schlotterbeck, M. A. López, A. Tomas y R. San Martín, “Safety and efficacy of quinoa (*Chenopodium quinoa*) saponins derived molluscicide to control of *Pomacea maculata* in rice fields in the Ebro Delta, Spain”, *Crop Protection*, vol. 111, pp. 42-49, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.04.016> ↑54
- [40] S. Kumar y A. Sheba, “A study on phytochemicals, antimicrobial, and synergistic antimicrobial activities of *Hibiscus sabdariffa*”, *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, vol. 12, n.º 4, pp. 198-201, 2019. <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2019.v12i4.31597> ↑54
- [41] The Express Wire, “Saponin Industry 2019-2024 by Manufactures Types, Applications, Market Size, Regions and Forecast to 2024”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.theexpresswire.com/pressrelease/Saponin-Market-2019-Global-Industry-Analysis-Size-Share-Growth-Trends-Key-P>

- layers-and-Forecast-to-2024_10454200. ↑55
- [42] International Trade Center, "Estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas", [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2PWazly> ↑55, 56
- [43] Sicex-Promoting Global Trade, "Sicex Reports", 2019. [En línea]. Disponible en: <https://sicex.com/en/reportes-2/webapp/imports/colombia/2019/schedule-b-code-product/2938902000/> ↑55
- [44] S. Böttcher y S. Drusch, "Saponins - Self-assembly and behavior at aqueous interfaces", *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 243, n.º 5, pp. 105-113, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.02.008> ↑55
- [45] R. Pajuelo, "Posibilidades de la saponina de Quinoa en la industria cosmética", *Euroecotrade*, Lima, Perú, 2016. ↑55
- [46] C. Smith, "Credence Research", [En línea]. Disponible en: <https://www.credenceresearch.com/press/quillaia-extract-market> ↑55
- [47] Ministerio de Justicia y del Derecho, Resolución 0001, Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia, 2015. ↑56
- [48] S. C. Peña Cruz y H. E. Parra Gutiérrez, *Diseño y construcción de un liofilizador para el secado de plantas aromáticas*, Tesis de grado, Universidad Santo Tomás, Bogotá, 2015. ↑57
- [49] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, "Alternativas de aplicación del proceso de liofilización en frutas y hortalizas compatible con la normativa orgánica", Buenos Aires: Talleres gráficos. ↑57
- [50] S. E. Ramírez, "Innovar por innovar", 2019. [En línea]. Disponible en: <https://pivot.com.mx/innovar-por-innovar/> ↑57
- [51] Emerson Electric Co., "Emerson Electric Co.". [En línea]. Disponible en: www.emerson.com ↑57
- [52] Rificor, "Rificor". [En línea]. Disponible en: www.rificor.com.ar ↑57
- [53] ThermoFisher Scientific, "ThermoFisher Scientific". [En línea]. Disponible en: www.thermofisher.com ↑57
- [54] Yangzhou Sanfa Electronics Co., "Yangzhou Sanfa Electronics Co.". [En línea]. Disponible en: <https://sanfa-instrument.en.made-in-china.com> ↑57
- [55] MyM Instrumentos Técnicos, "MyM Instrumentos Técnicos". [En línea]. Disponible en: www.myminstrumentostecnicos.com ↑57
- [56] Sineo Microwave Chemistry Technology Co., "Sineo Microwave Chemistry Technology Co.". [En línea]. Disponible en: www.sineomicrowave.co ↑57
- [57] J. N. Hierro, T. Herrera, M. R. García-Risco, T. Fornari, G. Reglero y D. Martín, "Ultrasound-assisted extraction and bioaccessibility of saponins from edible seeds: quinoa, lentil, fenugreek, soybean and lupin", *Food Research International*, vol. 109, n.º 7, pp. 440-447, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.058> ↑59
- [58] C. G. Silva, E. Cassel, R. M. Vargas y L. D. Marczak, "Selective extraction of saponins from *Ilex paraguariensis* St. -Hil, unripe fruits", *Food and Bioproducts Processing*, vol. 111, n.º 9, pp. 72-82, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.07.001> ↑59
- [59] R. N. Almeida, R. G. Neto, F. M. Barros, E. Cassel, G. L. Poser y R. M. Vargas, "Supercritical extraction of *Hypericum caprifoliatum* using carbon dioxide and ethanol/water as co-solvent", *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, vol. 70, n.º 8, pp. 95-102, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2013.05.002> ↑59
- [60] J. Yan, Z. Wu, Y. Zhao y C. Jiang, "Separation of tea saponin by two-stage foam fractionation", *Separation and Purification Technology*, vol. 80, n.º 7, pp. 300-305, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.05.010> ↑59
- [61] C. Yuan, Y. Li, Q. Li, R. Jin y L. Ren, "Purification of Tea saponins and evaluation of its effect on alcohol dehydrogenase activity", *Open Life Sciences*, vol. 13, n.º 4, pp. 56-63, 2018. <https://doi.org/10.1515/biol-2018-0008> ↑59
- [62] Y. Q. Wu y W. D. Man, "Study on Ultrasonic Assisted-precipitation method combined purification of tea saponin", *Advanced Materials Research*, vol. 1, pp. 1552-1556, 2013. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.634-638.1552> ↑59
- [63] S. Gafner *et al.*, "Evaluation of the efficiency of three different solvent systems to extract triterpene saponins from roots of *Panax quinquefolius* using High-Performance Liquid Chromatography", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 52, n.º 3, pp. 1546-1550, 2004. <https://doi.org/10.1021/jf0307503> ↑59
- [64] J. Li, *et al.*, "Optimization of microwave-assisted extraction of triterpene saponins from defatted residue of yellow

- horn (*Xanthoceras sorbifolia* Bunge) kernel and evaluation of its antioxidant activity”, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 11, n.º 10, pp. 637-643, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.06.004> †59
- [65] V. Mandal y S. C. Mandal, “Design and performance evaluation of a microwave based low carbon yielding extraction technique for naturally occurring bioactive triterpenoid: Oleic acid”, *Biochemical Engineering Journal*, vol. 50, n.º 6, pp. 63-70, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2010.03.005> †59
- [66] L. Santos-Zea, J. A. Gutiérrez-Urbe y J. Benedito, “Effect of ultrasound intensification on the supercritical fluid extraction of phytochemicals from *Agave salmiana* bagasse”, *The Journal of Supercritical Fluids*, vol. 144, n.º 2, pp. 98-107, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.10.013> †59
- [67] A. J. Pérez *et al.*, “Phytotoxic steroidal saponins from *Agave offoyana* leaves”, *Phytochemistry*, vol. 105, n.º 9, pp. 92-100, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.05.014> †59
- [68] P. Y. Chen, C. H. Chen, C. C. Kuo, T. H. Lee, Y. H. Kuo y C. K. Lee, “Cytotoxic steroidal saponins from *Agave sisalana*”, *Planta Médica*, vol. 77, n.º 1, pp. 929-933, 2011. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1250672> †59
- [69] X. Qi *et al.*, “Preparative isolation and purification of ginsenosides Rf, Re, Rd and Rb1 from the roots of *Panax ginseng* with a salt/containing solvent system and flow step-gradient by High Performance Counter-current Chromatography coupled with an ELSD detector”, *Journal of Chromatography A*, vol. 1217, n.º 3, pp. 1995-2001, 2001. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.01.057> †59
- [70] Y. Cheng *et al.*, “Two-step preparation of ginsenoside-Re, Rb1, Rc and Rb2 from the root of *Panax ginseng* by High Performance counter-current Chromatography”, *Separation and Purification Technology*, vol. 77, n.º 3, pp. 347-354, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.01.003> †59
- [71] J. Mi, M. Zhang, G. Ren, H. Zhang, Y. Wang y P. Hu, “Enriched separation of protopanaxatriol ginsenosides, malonyl ginsenosides and protopanaxadiol ginsenosides from *Panax ginseng* using macroporous resins”, *Journal of Food Engineering*, vol. 113, n.º 12, pp. 577-588, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.06.027> †59
- [72] Q. Cui *et al.*, “Enhanced extraction and preconcentration of main target saponins from *Panax notoginseng* root using green and efficient formulated surfactant aqueous system”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 210, n.º 2, pp. 1507-1516, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.142> †59
- [73] Ministerio de Agricultura, “Sistema de información de gestión y desempeño de organizaciones de cadenas”. [En línea]. Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pages/SIOC.aspx>. †59
- [74] Cinética Química, “Policloruro de Aluminio”. [En línea]. Disponible en: <https://policlorurodealuminio.com/default.html>. †59
- [75] C. Ritcher y L. Canepa de Vargas, *Manual de tratamiento de agua. Programa regional HPE/OPS/CEPIS de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano*. Lima: CEPIS, 1992. †60
- [76] K. M. Yao, “Theoretical study of high-rate sedimentation”, *Journal (Water Pollution Control Federation)*, vol. 42, pp. 218- 228, 1970. †60
- [77] C. Henao, *Simulación y evaluación de procesos químicos. Herramientas básicas*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana, 2006 †61, 62, 63



Research

Extracts From *Salvia Officinalis* and *Sambucus Peruviana* H.B.K. Leaves as Scale Inhibitors

Extractos de las Hojas de Salvia Officinalis y Sambucus Peruviana H.B.K. Como Inhibidores de Incrustación

Luis Castillo Campos^{ID}*¹ **Steevenson Barreto**²

¹Universidad de Oriente (UDO), Núcleo de Monagas, Departamento de Ingeniería de Petróleo (Maturín, Venezuela), ²Petróleos de Venezuela (PDVSA), División Punta de Mara (Maturín, Venezuela).

*Correspondence: lcastillo@udo.edu.ve

Recibido: 17/09/2019. Modificado: 20/11/2019. Aceptado: 05/12/2019.

Abstract

Context: The phenomenon of scale formation has become one of the operational problems with the highest frequency of occurrence in the oil industry, and the search for innovative sources of mitigation has proved to be the horizon to which the companies in the area have pointed. This is the reason why in this investigation the anti-fouling effect that the extracts of the *Salvia officinalis* and *Sambucus peruviana* H.B.K leaves was evaluated.

Method: The physicochemical characterization of a production water sample of the Oritupano Oilfield was performed and the extracts were obtained, and then its physical properties were identified. Next, the inhibitory performance of each natural product was determined together with a commercial agent, all through the application of the NACE Standard TM0374-2007, in addition to applying a statistical analysis to visualize the significant differences that could be present between the experimental and commercial efficiencies.

Results: Extracts of *Salvia officinalis* and *Sambucus peruviana* H.B.K used as antiscaling externalized acidic pH results and viscosities below 2 cSt; showing maximum performances of 87,27 % and 90,91 % for solutions based on elderberry and sage respectively and statistical behaviors similar to the referential commercial product.

Conclusions: In quantitative terms, the sage-based product was more effective when evaluated in the Oritupano oilfield production water sample, showing a directly proportional concentration - efficiency behavior, in addition to exposing characteristics more consistent with a Calcium Carbonate scale bioinhibitor, although with a proportion of solids that should be reduced, requiring that this characteristic be improved in the future and the joint action of both extracts can be measured in the prevention of scale, both experimentally and in the field.

Keywords: Oil industry, Production water, Scale bioinhibitor.

Language: Spanish

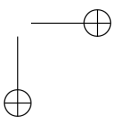
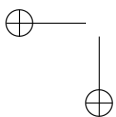
Open access



Cite this paper as: L. Castillo-Campos, and S. Barreto: "Extracts From *Salvia Officinalis* and *Sambucus Peruviana* H.B.K Leaves as Scale Inhibitors", Ingeniería, Vol. 25, Num. 1, pp. 68-89, Jan.-Apr. 2020.

© The authors; reproduction right holder Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.15329>



Resumen

Contexto: El fenómeno de formación de las incrustaciones se ha convertido en uno de los problemas operacionales con mayor frecuencia de ocurrencia en la industria petrolera, y la búsqueda de fuentes innovadoras de mitigación ha resultado ser el horizonte al cual han apuntado las empresas del área. Por ello, en esta investigación se evalúa el efecto antiincrustante que presentaron los extractos de las hojas de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K.

Método: Se realizó la caracterización fisicoquímica de una muestra de agua de producción del Campo Oritupano y se obtuvieron los extractos, para luego ser identificadas sus propiedades físicas. Posterior a ello, se determinó el desempeño inhibitorio de cada producto natural en conjunto con un agente comercial, todo a través de la aplicación de la Norma NACE TM0374-2007, además de aplicar un análisis estadístico para visualizar las diferencias significativas que pudiesen estar presentes entre las eficiencias experimentales y comerciales.

Resultados: Los extractos de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K. empleados como anti-incrustantes exteriorizaron resultados de pH de carácter ácido y viscosidades por debajo de los 2 cSt, mostrando rendimientos máximos de 87,27 % y 90,91 % para las soluciones a base de saúco y salvia respectivamente, y comportamientos estadísticos similares al producto comercial referencial.

Conclusiones: En términos cuantitativos, el prospecto a base de salvia resultó más efectivo al evaluarlo en la muestra de agua de producción del Campo Oritupano, mostrando un comportamiento directamente proporcional concentración-eficiencia, además de exponerse con características más acordes a un bioinhibidor de incrustaciones de carbonato de calcio, aunque con proporción de sólidos que deberían disminuirse aún más, requiriendo que en un futuro se mejore esta característica y se pueda medir la acción conjunta de ambos extractos en la prevención de las incrustaciones, tanto experimentalmente como en campo.

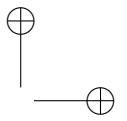
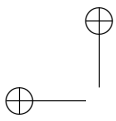
Palabras clave: Agua de producción, Bioinhibidor de incrustaciones, Industria petrolera.

Idioma: Español

1. Introducción

Es de conocimiento colectivo que la industria petrolera, desde su inyección, se ha encargado de la extracción de hidrocarburos hasta su posterior comercialización y venta (petróleo y gas) dirigida hacia los mercados fabriles desarrollados. El combustible fósil, estando contenido inicialmente a miles de pies por debajo de la superficie terrestre, se impulsa gracias al gradiente de presión hacia zonas estratigráficas ideales en porosidad y permeabilidad periférica. Al momento de alcanzar estas condiciones, el hidrocarburo coexiste en el tiempo y espacio con el agua de formación, la cual en la mayoría de los escenarios constituye uno de los mecanismos de producción por excelencia; de acuerdo con [1], generalmente esta se puede definir como salmuera, agua salobre o agua salada, aunque en escasas ocasiones puede encontrarse en condiciones relativamente frescas.

Si bien es cierto que en los yacimientos de hidrocarburos el agua a menudo impulsa la producción primaria e interviene en la secundaria, un alto corte de esta en dichos procesos no se consideraría conveniente, puesto que genera un aumento en los costos de explotación [2]. Una de las consecuencias anexas de la producción excesiva del agua asociada es la corrosión por entes salinos. Estos cuerpos cristalinos, al desplazarse a altas velocidades por las tuberías y redes de distribución, disminuyen la vida media de los equipos de extracción in situ y de tratamientos en superficie [3].



Además de lo anterior, también se presta especial cuidado a la presencia de agua subterránea en la producción, toda vez que naturalmente ella contiene carbonatos de calcio, de magnesio y otras sales, así como también microorganismos y otros elementos en solución. Es por ello que, a nivel de campo, las concentraciones de sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas en un cuerpo de agua y sus alrededores necesitan ser monitoreadas [4], puesto que al momento de entrar en contacto con algún medio de transporte o procesamiento, a nivel de subsuelo o superficie, las sales presentes en el fluido tienden a adherirse a las paredes interiores de equipos y tuberías [5], lo anterior debido a las cargas eléctricas naturales de sus moléculas y a las propiedades de sus estructuras cristalinas. A estos depósitos se les conoce comúnmente como incrustaciones [6] y, junto a los procesos corrosivos, se asocian con los principales problemas generados por la producción conjunta del agua con los hidrocarburos. La relación entre las propiedades del agua determina la capacidad de obstrucción, formación de depósitos y desgaste natural de dichas aguas.

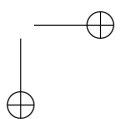
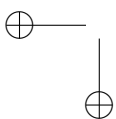
Por su naturaleza, el agua producida requiere de algún tipo de tratamiento para ser acondicionada y posteriormente ser integrada al proceso de inyección o ser dispuesta. Para ello, no debe contener sólidos que puedan causar obstrucción por acumulación —debe mantener un bajo nivel de corrosión—, evitando reparaciones o reemplazos de tuberías y equipos a futuro, así como mantener bajos niveles de contenido de petróleo en suspensión.

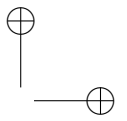
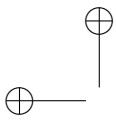
Estos aditivos químicos que conforman el proceso de acondicionamiento del agua producida son aplicados en unidades de tratamiento, en pozos productores de petróleo, pozos inyectoros de aguas efluentes o pozos inyectoros de agua utilizados como método de recuperación secundaria, o hasta en el yacimiento, pues es en estos lugares, dependiendo de la naturaleza de dicha agua, donde se pueden generar incrustaciones o escalas que generalmente son de carbonatos y sulfatos.

Como una manera de prevenir la formación de los depósitos ya expuestos, durante muchos años se han usado los inhibidores de incrustación [7], [8], los cuales generalmente han presentado como base química fosfatos, fosfonatos, ácidos y, más recientemente, polímeros. Además, como su nombre lo indica, su función es atenuar o evitar que las sales minerales, específicamente de carbonatos y sulfatos, lleguen a desestabilizarse en el seno del fluido acuoso, debiendo al mismo tiempo ser compatibles con los demás aditivos usados en campo para el aseguramiento de flujo (desemulsificantes, inhibidores de corrosión, dispersantes de asfaltenos, entre otros). En sintonía con lo previamente especificado y adscrito a los preceptos de conservación del medio ambiente que puntualiza la química verde a través del uso de productos biodegradables, en los últimos años se han desarrollado y empleado inhibidores de incrustaciones a base de polímeros naturales o modificados, proteínas y extractos vegetales [9], [10].

Consecuentemente se han estudiado y evaluado bases naturales (polímeros y extractos) como agentes inhibidores de incrustaciones, es el caso del mucílago de la hoja de *Hibiscus rosa-sinensis* [11]; extracto de *Bistorta Officinalis* [12]; mucílago de *Linum usitatissimum* [13], [14]; extracto de la hoja de tabaco [15]; pectina de *Passiflora edulis* [16], [17]; copolímero a base de quitosán [18]; extracto de *Olea europaea* L [9], entre otros.

Es por ello que la presente investigación estuvo dirigida a evaluar el efecto que tienen los extractos de salvia (*Salvia officinalis*) y saúco (*Sambucus peruviana* H.B.K.) al usarlos como base





de inhibidores de incrustaciones en una muestra de agua de producción proveniente del Campo Oritupano, la cual originalmente fue caracterizada a través de propiedades fisicoquímicas para posteriormente determinar las cualidades físicas de las infusiones previamente obtenidas en unión a un producto comercial. Se finaliza con la evaluación de la eficiencia antiincrustante de las soluciones naturales en la muestra de agua inicialmente señalada mediante la aplicación de la Norma NACE TM0374-2007 [19].

2. Materiales y métodos

La ejecución de la investigación se realizó en los laboratorios de Procesamiento de Hidrocarburos, Yacimientos, y Fluidos de Perforación del Departamento de Ingeniería de Petróleo, Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, donde se llevaron a cabo los procesos de extracción y caracterización inicial de la base natural, así como de los bioinhibidores que se formularon y las muestras de agua de producción.

2.1. Caracterización de la muestra de agua de producción del Campo Oritupano

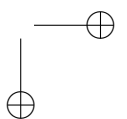
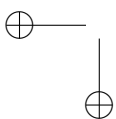
En primer lugar, se obtuvo una muestra de agua de producción procedente del Campo Oritupano para su caracterización fisicoquímica, la cual se realizó a través de la determinación de las siguientes propiedades: densidad de acuerdo con el método ASTM D369 [20], contenido de sólidos disueltos según lo pautado en la práctica COVENIN 2342:86 [21], contenido de sólidos totales y suspendidos a través de la norma COVENIN 2461:87 [22], pH de acuerdo con la norma COVENIN 2462:87 [23], alcalinidad mediante la práctica API RP 13B-1 [24], además del contenido de cloruros y dureza cálcica siguiendo los lineamientos establecidos en las normas COVENIN 3141:1995 [25] y COVENIN 2771:91 [26], respectivamente. Adicionalmente, se determinó el índice de saturación de Langelier (LSI, por sus siglas en inglés) [27] para estimar el grado incrustante, corrosivo o neutro de dicha muestra de agua de producción, a través de la siguiente relación matemática:

$$LSI = pH_A - pH_S \quad (1)$$

Siendo pH_A , pH actual del agua y pH_S , pH de saturación o pH al cual se logra el equilibrio calcocarbónico del agua.

2.2. Caracterización de los inhibidores experimentales a través de los extractos de las hojas de salvia (*Salvia officinalis*) y saúco (*Sambucus peruviana* H.B.K.)

Anterior a la caracterización, fue requerida la materia prima (hojas de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K.), las cuales fueron tomadas directamente de la planta, siendo cuidadosamente higienizadas y secadas bajo sombra durante veinticuatro horas. Posterior a ello, fue considerado (con algunas variaciones) el proceso llevado a cabo por [9] para la extracción, el cual consistió en



secar las hojas en un horno a una temperatura aproximada de 70 °C entre una y dos horas; posteriormente, son molidas y convertidas en polvo a través de una trituradora. Al material pulverizado, previo a la obtención del extracto, se le determinaron dos propiedades físicas fundamentales para evidenciar su comportamiento en cuanto al tamaño de partículas (mediante la Norma ASTM C136-01 [28]) y solubilidad (a través de la ASTM E1148-02 [29]).

Consecutivamente se tomaron tres, cinco y siete gramos del material ya pulverizado y fueron sometidos a un proceso de reflujo en 300 mL de agua destilada a través de un equipo Soxhlet de extracción sólido-líquido durante un tiempo aproximado de tres horas. Posteriormente, la solución producto del reflujo fue filtrada para remover cualquier material sólido o impurezas presentes para la generación definitiva de un aproximado de 300 mL de producto.

Para el desarrollo de los productos antiincrustantes, se utilizaron tres concentraciones diferentes (3, 5 y 7 g), expresando dicha concentración en g/L y añadiéndole 0,2 g de ácido cítrico (que actuaría como agente preservante) por cada 100 mL de muestra a cada concentración precitada. Posteriormente, se caracterizó el inhibidor formulado mediante pruebas fisicoquímicas que permitieron determinar los siguientes parámetros: pH, densidad y viscosidad, además de cloruros, contenido de sólidos totales, disueltos y en suspensión, todos siguiendo los procedimientos establecidos en las normas que se refieren a continuación en la Tabla I.

Tabla I. Pruebas para la caracterización de los extractos de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K.

Pruebas	Normas
Color y apariencia	Apreciación visual
Densidad y gravedad específica	ASTM D369 [20]
Viscosidad	ASTM D445-19 [30]
Sólidos disueltos	COVENIN 2342:86 [21]
Sólidos totales / suspendidos	COVENIN 2461:87 [22]
pH	COVENIN 2462:87 [23]
Alcalinidad	API RP 13B-1 [24]
Dureza cálcica	COVENIN 2771:91 [26]

2.3. Evaluación de la eficiencia de los agentes inhibidores de incrustaciones minerales

Los ensayos de evaluación con respecto a la eficiencia de los inhibidores de incrustaciones formulados a escala de laboratorio se realizaron en estado estático en capilares de vidrio, siguiendo el procedimiento especificado en la norma NACE TM0374-2007 [19]. La prueba tuvo una duración de veinticuatro horas, a una temperatura de 71 ± 1 °C (160 ± 2 °F) y a presión atmosférica.

Dicha norma permitió determinar la capacidad de los productos químicos antiincrustantes de mantener soluble las sales presentes en la muestra de agua de producción, evitando su aglomeración/precipitación, el cual estuvo basado en la obtención del porcentaje de eficiencia con dosis aplicadas en microlitros (μL), empleando los prospectos experimentales a base de salvia y saúco, además de un producto comercial específico.

Una vez transcurridas las veinticuatro horas de calentamiento, la muestra se dejó en reposo hasta que se enfrió a una temperatura de $25 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($77 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$), luego se extrajo la cantidad de muestra suficiente para determinar las concentraciones disueltas de calcio en forma de dureza cálcica. Se obtuvieron los diferentes grados de eficiencias de los químicos antiincrustantes empleados mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{Inhibición} = \frac{C_a - C_b}{C_c - C_b} \times 100 \quad (2)$$

Donde C_a es dureza cálcica en ppm de la muestra tratada después de la precipitación, C_b es dureza cálcica en ppm del blanco después de la precipitación (blanco caliente) y C_c es dureza cálcica en ppm del blanco antes de la precipitación (blanco frío).

De igual forma, y subsiguiente a la aplicación de la Norma NACE TM0374-2007 [19], se determinó el LSI para apreciar la variación en esta estimación de la capacidad incrustante o no del medio líquido sobre el cual se experimentó la evaluación de los extractos empleados como antiincrustantes.

Posteriormente, se realizó un estudio estadístico de acuerdo con los resultados obtenidos en cada una de las pruebas efectuadas, los cuales se encuentran asociados a la efectividad de las formulaciones realizadas en esta etapa. Este análisis se hizo fundamentado en un ANOVA (análisis de varianza) simple, complementado esto con la prueba de múltiples rangos a través del procedimiento de diferencias mínimas significativas (LSD) de Fisher, con la finalidad de discriminar entre las medias involucradas. Los datos considerados para llevar a cabo este análisis fueron las medias de los valores de eficiencia arrojados por la muestra de agua de producción luego de la aplicación de los tratamientos antiincrustantes.

Conjuntamente se realizó un ANOVA multifactorial para evidenciar el efecto que pudiesen tener tanto la concentración (g/300 mL) de salvia o saúco como las dosis empleadas (5,5; 10 y 50 μL) sobre la eficiencia de inhibición de incrustación de cada extracto empleado. Para todo esto se utilizó el programa Statgraphics Centurion XVI.II versión 16.02.0004 con el fin de obtener las tablas correspondientes al procedimiento ANOVA.

3. Resultados y discusión

3.1. Propiedades del agua de producción del Campos Oritupano

En la Tabla II se presentan los resultados de la caracterización fisicoquímica obtenida para una muestra de agua de producción del Campo Oritupano.

Como propiedades resaltantes de la caracterización de esta muestra de agua del Campo Oritupano se evidencia una densidad (1,0292 g/mL) algo más elevada a la densidad estándar del agua, lo que permite asociarla con la cantidad de sólidos totales presentes en dicha muestra, especialmente al contenido de sales disueltas que presentan las aguas y a la cantidad de sólidos que en general se coligan a materiales que se desintegran por el contacto entre el fluido y las rocas en el subsuelo [13], [31], originando esto un aumento en la masa del agua que afecta su densidad.

Tabla II. Caracterización fisicoquímica del agua de producción del Campo Oritupano.

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad (24°C)	g/mL	1,0292
Sólidos totales	ppm	4.000
Sólidos disueltos	ppm	700
Sólidos suspendidos	ppm	3.300
pH	-	9,15
Dureza cálcica	ppm	800
Calcio(Ca ⁺²)	ppm	320
Alcalinidad total	ppm	600
Alcalinidad parcial	ppm	1.000
Bicarbonato, HCO ₃ ⁻	ppm	732
Carbonato, CO ₃ ⁻²	ppm	600
Cloruros	ppm	2.200
Índice de Langelier (LSI)	-	2,84

En cuanto a los sólidos disueltos (700 ppm), a pesar de que se consideran proporcionalmente menores que los suspendidos y menores a los establecidos en el Decreto 883 de 1995 [32] (Norma para la Clasificación y el Control de Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos) de 1.000 ppm, vale la pena acotar que, de ocurrir algún cambio en las condiciones termodinámicas del fluido (un aumento de temperatura, por ejemplo), se podría llegar a generar la formación y posterior precipitación de las sales minerales originalmente solubles. Para la formación de incrustaciones es necesario que existan sales disueltas en el agua en suficiente proporción para que ocurra la coalescencia de partículas y la formación de depósitos minerales al presentarse un aumento de temperatura [33], [34].

Como parte de los iones que se asocian con los compuestos con cierto grado de solubilidad se encuentran los cloruros, los cuales por lo general aumentan la conductividad del agua debido al incremento de la salinidad de la misma. Estos resultaron en 2.200 ppm, cantidad que se considera alta de acuerdo con lo establecido por la *American Public Health Association* (APHA) [35], la cual contempla que el contenido de cloruros para un agua de formación sea menor a 250 ppm, y como máximo valor el de 300 ppm; aunque en salmueras naturales que se encuentren próximas a la saturación de cloruro de sodio, la concentración de ion Cl⁻ puede llegar a casi los 200.000 ppm [36].

En alusión al pH, se evidencia el carácter alcalino (Tabla III) y con tendencia a generar incrustaciones de la muestra de agua de producción en estudio. Al presentar un pH de 9,15 le confiere indicios a la misma de tener inclinación incrustante, toda vez que esto es más propenso en aguas básicas [37], debido a que la mayoría de las sales presentes en el agua disminuyen su solubilidad cuando el pH aumenta; por lo tanto, en medios básicos incrementan su potencial incrustante [31]. Cabe señalar además que para [38], en la mayoría de los campos petroleros las aguas subterráneas presentan un pH que puede variar entre 6 y 8,5 [39].

En el caso particular de la alcalinidad, se exteriorizan valores de alcalinidad parcial (presencia de iones carbonato) de 1.000 ppm y de alcalinidad total (presencia de iones bicarbonato) de 600 ppm, lo cual confirma la presencia de los aniones necesarios para que en conjunto con el catión calcio (Ca⁺²) que resultó en un valor de 320 ppm, propicien la generación de acumulaciones minerales.

De acuerdo con lo señalado por Kevern [41], a esta agua de producción se le puede clasificar dentro del rango de alcalinidad alta, toda vez que, de acuerdo con él, se les considera así a todos los valores de esta propiedad mayores a 150 ppm.

Tabla III. Clasificación del agua de acuerdo al pH. Observatorio Nacional Degradación de Tierras y Desertificación [40].

pH	Clasificación
<4,5	Extremadamente ácido
4,5-5,0	Muy fuertemente ácido
5,1-5,5	Fuertemente ácido
5,6-6,0	Medianamente ácido
6,1-6,5	Ligeramente ácido
6,6-7,3	Neutro
7,4-7,8	Ligeramente básico
7,9-8,4	Medianamente básico
8,5-9,0	Básico
9,1-10,0	Alcalino
>10,0	Fuertemente alcalino

Las aguas duras, por lo general, tienden a ser incrustantes, mientras que las blandas suelen ser agresivas o corrosivas [42]. Es por ello que para terminar de corroborar la naturaleza generadora de incrustaciones minerales de la muestra de agua de producción en estudio, la dureza cálcica con una proporción de 800 ppm resulta en términos de relacionarse a un agua muy dura, de acuerdo con lo que se contempla en *The NALCO Water Handbook* [43]. La dureza de una muestra de agua está definida por la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes en la misma y que es expresada en equivalentes de carbonato de calcio [44]. En cuanto a las aguas, mientras mayor dureza presenten más elevado será su poder incrustante, ya que los compuestos carbonatados se transformarán en cristales del elemento correspondiente, llegando a crear un material resistente que, a nivel operacional, se acumulará en los medios de desplazamiento de los fluidos [11].

Seguidamente, la estimación del LSI, ratifica con su cuantía (2,84) la naturaleza incrustante de la muestra en estudio, lo cual la exhibe como un medio idóneo a través del cual se permitiría evaluar posteriormente los inhibidores orgánicos propuestos en esta disertación.

3.2. Generación y caracterización de los inhibidores experimentales

Como paso previo a la obtención y posterior caracterización de los extractos, se les determinaron los tamaños de partículas y la solubilidad al material pulverizado procedente de las hojas de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K. En la Tabla IV se exponen las distribuciones porcentuales de las dos muestras tamizadas en estudio, indicando de manera precedente que el tamaño de las partículas y su clasificación másica correspondiente se vio afectada por el proceso de molienda, pero evidenciando que para ambas muestras la mayor proporción se ubicó en el tamaño de 589 y 250 micrones, obteniendo una relativa mayor proporción para el caso de la *Salvia officinalis* (2,86 % por encima del *Sambucus peruviana* H.B.K. para los tamaños de 589 y 250 micrones). Además, se

manifestó que, teniendo el mismo volumen de salvia y saúco, el primero resultó con menor masa (menos “pesado”), tal como se aprecia en la Tabla IV.

Tabla IV. Tamaño de partículas de las hojas de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K. pulverizadas

Tamaño (micrones)	<i>Salvia officinalis</i>		<i>Sambucus peruviana</i> H.B.K.	
	Masa (g)	Proporción (%)	Masa (g)	Proporción (%)
589	18	33,77	18,7	25,27
250	25,3	47,47	39,3	53,11
150	4,8	9,01	7,4	10,00
105	1,2	2,25	3,7	5,00
75	2,2	4,13	3,7	5,00
53	1,1	2,06	1	1,35
<53	0,7	1,31	0,2	0,27
Total	53,30 g	100 %	74 g	100 %

Al resultar menos denso el material pulverizado proveniente de las hojas de la salvia que el de saúco, le confirió al primero un carácter menos soluble, como se aprecia en la Tabla V, de lo que se infiere que emplearlo diluido de manera directa en agua no resultaría efectivo.

Tabla V. Solubilidad de las partículas de las hojas de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K. pulverizadas

Propiedad	<i>Salvia officinalis</i>	<i>Sambucus peruviana</i> H.B.K.
Solubilidad (%)	25,6	67,2

Por lo anterior, ambas fuentes naturales fueron sometidas a un proceso de extracción sólido-líquido que, como ya se mencionó en el procedimiento metodológico, se llevó a cabo a través de un equipo Soxhlet durante un tiempo aproximado de tres horas, permitiendo así que se produjese un contacto directo entre el material sólido y el solvente empleado (agua), con aumento de temperatura, para que así se extrajeran los principales componentes activos tanto de la salvia como del saúco. Para [45], [46] y [47], la transferencia de los componentes desde la planta al medio de infusión depende de varios factores, como el tipo de disolvente y su concentración, la relación disolvente/sólido, el número de etapas de extracción, el pH, el tiempo de contacto, la temperatura y el tamaño de partícula de la matriz sólida.

En la Tabla VI y la Tabla VII se muestran los resultados de la caracterización de los extractos empleados posteriormente como inhibidores de incrustación. En ambos casos se manifestó una sustancia de color marrón claro, aumentando la tonalidad dependiendo de la concentración inicial empleada en la extracción. A cada uno se les determinó la concentración real posterior al proceso de filtración para evidenciar la eficiencia de dicho proceso.

Como se aprecia en la Figura 1, estas eficiencias variaron entre 61 % y 73 % para ambas infusiones, lo cual establece que aún quedaron algunas fracciones sólidas de las fuentes naturales inicialmente sometidas al proceso de extracción sólido-líquido; además, se muestra una disminución de la eficiencia de filtrado a medida que aumentó la cantidad de materia vegetal expuesta, lo que a su vez se tradujo en el aumento progresivo de la cantidad de sólidos totales (disueltos y

suspendidos) presentes en los distintos inhibidores registrados (a 3, 5 y 7 g), que de ahora en adelante se mencionarán, para el caso de la *Salvia officinalis*, como SAL (3,5,7) y, para el *Sambucus peruviana* H.B.K., como SAU (3, 5, 7).

Tabla VI. Caracterización del extracto/inhibidor de incrustaciones a base de *Salvia officinalis*

Propiedad	Unidad	Concentración		
		3g/300 mL	5g/300 mL	7g/300 mL
Concentración real	g/L	0,85	1,45	2,30
Color/Apariencia		Líquido marrón		
Densidad (24°C)	g/mL	1,0026	1,0092	1,0158
Sólidos totales	ppm	200	450	500
Sólidos disueltos	ppm	50	150	150
Sólidos suspendidos	ppm	150	300	350
Viscosidad (24 °C)	cSt	1,1024	1,1504	1,1946
pH	-	3,23	3,41	3,53

Tabla VII. Caracterización del extracto/inhibidor de incrustaciones a base de *Sambucus peruviana* H.B.K

Propiedad	Unidad	Concentración		
		3g/300 mL	5g/300 mL	7g/300 mL
Concentración real	g/L	0,80	1,50	2,70
Color/Apariencia		Líquido marrón		
Densidad (24°C)	g/mL	1,0046	1,0185	1,0208
Sólidos totales	ppm	250	400	450
Sólidos disueltos	ppm	50	100	150
Sólidos suspendidos	ppm	200	300	300
Viscosidad (24 °C)	cSt	1,0154	1,0852	1,5412
pH	-	3,34	3,72	3,80

Respecto a la cantidad de sólidos totales ya mencionada, es evidente la relación existente entre estos, que llegan a variar entre 200 y 500 ppm (considerando ambos extractos) y la densidad de cada inhibidor formulado en estudio, esto debido a la correspondencia entre la cantidad de material sólido existente en las muestras y la masa que tendrá cada uno, tal como se aprecia en la Figura 2. Asimismo, se corrobora que, de acuerdo con la estimación inicial de densidad de cada muestra vegetal pulverizada, el saúco (*Sambucus peruviana* H.B.K.) le confiere a los extractos (SAU 3, 5 y 7) una mayor densidad que en el caso del otro espécimen natural.

Cabe resaltar que la cantidad de sólidos (suspendidos y disueltos) resultan sustancialmente más bajos si se comparan con los estudios de [48], los cuales oscilaron entre 5.280 ppm y 26.810 ppm para los inhibidores a base de mucílago de *Hibiscus rosa-sinensis* de 0,5 % hasta 4 % m/V respectivamente; también como en el estudio del inhibidor de incrustaciones a base de pectina deshidratada de *Passiflora edulis*, donde se obtuvieron valores de 1.742, 2.872 y 4.900 ppm para los agentes químicos con concentraciones de 2 %, 4 % y 6 % m/V respectivamente, con tamaños de partículas mayores o iguales a 841 micrones [16]. En ninguno de los casos los aditivos naturales obtenidos fueron sometidos a proceso alguno de filtración que permitiese la remoción de las partículas sólidas presentes en el medio.

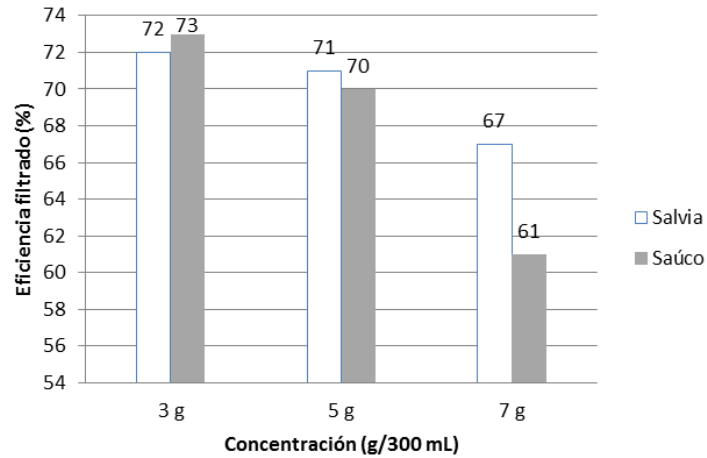


Figura 1. Eficiencias del proceso de filtración de los extractos de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K.

Merece especial mención que desde el punto de vista de la función del inhibidor se busca que el contenido de sólidos totales sea lo más bajo posible, ello a fin de no introducir más coloides en el sistema de producción. Este parámetro no determina directamente la eficiencia del inhibidor, pero sí resulta importante su consideración en tanto se espera una menor cantidad de sólidos involucrados en el sistema para evitar problemas o daños en los equipos [16], [49]. Además de que elevadas concentraciones de sólidos en suspensión son indeseables en el inhibidor de incrustación, ya que este debe ser capaz de disolverse completamente en la muestra de agua para así cumplir eficazmen-

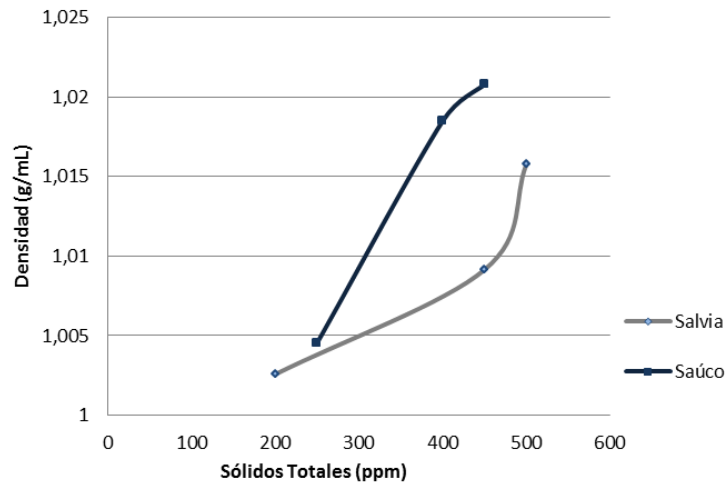


Figura 2. Relación entre densidad y sólidos totales para los extractos de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K.

te su función de impedir la formación de cristales. Al respecto, [50] sugiere que al momento de la aplicación de inhibidores se debe tomar en cuenta la presencia de sólidos en suspensión, ya que estos afectan la eficiencia máxima del producto.

Los valores de viscosidad de los inhibidores aportan una tendencia en ascenso, proporcional a la concentración de cada una de las fuentes naturales empleadas y obtenidas en los extractos, permitiendo una mayor resistencia al flujo para las sustancias obtenidas con concentraciones iniciales de 7 g que con las obtenidas con 3 g. Con valores que oscilan entre 1,1024 y 1,1946 cSt para el inhibidor obtenido de *Salvia officinalis* y entre 1,0154 y 1,5412 cSt para *Sambucus peruviana* H.B.K., resulta perentorio acotar que reflejan cantidades bajas si son comparadas con viscosidades obtenidas por inhibidores a base de polisacáridos naturales, como en el caso de los antiincrustantes a base del hidrogel pectínico de *Passiflora edulis*, donde se obtuvieron valores entre 6,70 y 78 cSt [17], o como para el agente químico formulado con mucílago de la hoja de la planta de *Hibiscus rosasinensis*, en el cual las viscosidades fluctuaron entre 10,24 y 443,31 cSt [48].

La explicación de lo anterior, en cuanto a la diferencia presentada entre las viscosidades de los inhibidores de incrustación a base de los extractos en estudio respecto a los polisacáridos, radica en el hecho de que los extractos provienen (como ya se ha referido) de un proceso de obtención sólido-líquido en el cual se colocó la materia vegetal pulverizada en contacto con un solvente (agua) y de allí se obtuvo un líquido con bajo contenido de sólidos que en gran medida permitieron conferirle más movilidad. Los polisacáridos, por otro lado, al entrar en contacto con el agua destilada (empleada en la formulación del inhibidor), permiten que se generen redes poliméricas entrelazadas que le conceden a los productos una mayor viscosidad, la cual se incrementa a medida que aumenta la concentración de cada agente químico. Para [50], los espesantes como pectinas y mucílagos, con contenido de polisacáridos en su composición, una vez añadidos al agua aumentan la viscosidad de la solución, toda vez que los polímeros tienen la facultad de alterar la viscosidad de un fluido sin producir cambios importantes en las propiedades de este.

Para completar la caracterización de los extractos empleados como inhibidores de incrustación, se determinó el pH a cada formulación. Los seis inhibidores formulados (SAL 3, 5, 7 y SAU 3, 5, 7) resultaron con un pH característico de soluciones ácidas, variando entre 3,23 y 3,80 y ascendiendo a medida que se incrementó la cantidad tanto de salvia como de saúco empleados en la extracción inicial (Figura 3), lo que implica que el aumento de la cantidad de cada una de las fuentes naturales usadas en la obtención de los extractos aportó componentes que permitieron que se elevara en cierta proporción el pH de las soluciones en estudio, a pesar de que cada uno tenía en su contenido una cantidad constante de 0,20 g/100 mL de ácido cítrico. Tal como se aprecia en la Figura 3, los aumentos de pH con el aumento de la concentración de materia natural usada no son tan pronunciados, lo que hace inferir que las posibles cantidades aportadas de compuestos generadores de alcalinidad al sistema no son tan elevadas.

De acuerdo con estudios previamente realizados, se ha encontrado que las proporciones de calcio que pueden aportar tanto la salvia como el saúco están en el orden de 1,8 % [51] y 1,9 % [52] respectivamente. La cantidad de este elemento (aunque baja) al reaccionar con el dióxido de carbono (CO₂) que puede estar presente en el agua destilada usada para la formulación de los inhibidores, estaría generando este ascenso (no tan acentuado) del pH. Asimismo, se tasa en la Figura 4 el

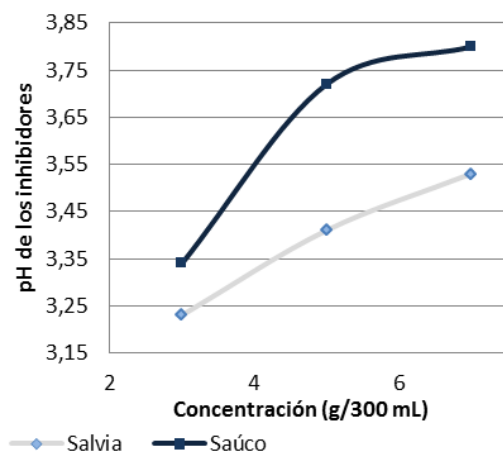


Figura 3. Relación entre el pH y la concentración inicial empleada para los extractos de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K.

carácter relativamente más ácido de los productos a base de salvia, lo que podría conferirle una mejor acción antiincrustante a este que a los agentes a base de saúco. En [53] se evidenció el carácter ácido del extracto de una especie de saúco (*Sambucus nigra* L.), ubicándolo con un pH de 4,08, que no estaría tan alejado del máximo valor (3,80) obtenido para el caso en estudio, y que estaría justificado por el uso del ácido cítrico como preservante en el caso particular.

3.3. Eficiencia experimental de los bioinhibidores de incrustación

A continuación, en la Tabla VIII se establecen los porcentajes de inhibición obtenidos, según la Norma NACE TM0374- 2007 [19], de las pruebas de eficiencia a las cuales fueron sometidos los inhibidores a base de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K. y el producto comercial en las tres concentraciones y tres dosis que fueron planteadas para ser evaluados cada uno en la muestra de agua de producción del Campo Oritupano. El rendimiento del agente a base de *Salvia officinalis* osciló entre 27,27 % y 90,91 %, y para el extracto de *Sambucus peruviana* H.B.K. se presentó entre 21,82 % y 87,27 %.

Como se puede visualizar tanto en la Tabla VIII como en la Figura 4, para cada inhibidor sometido a la prueba la eficiencia de inhibición aumentó al incrementar tanto la concentración de cada fuente natural como la dosificación de cada producto agregada en el agua de producción; lo anterior se debe a que al aumentar la cantidad de inhibidor usado se generó un incremento en la cantidad y capacidad de los compuestos mitigadores, disminuyendo así la tendencia de formación y precipitación de las sales minerales disueltas en el agua de producción.

De la Figura 4 se interpreta el hecho de que los inhibidores a base del extracto de las hojas de *Salvia officinalis* (SAL 3, 5, 7) resultaron con un mejor rendimiento en comparación con el producto originario de la otra materia prima (*Sambucus peruviana* H.B.K.), asociándose esto al potencial de

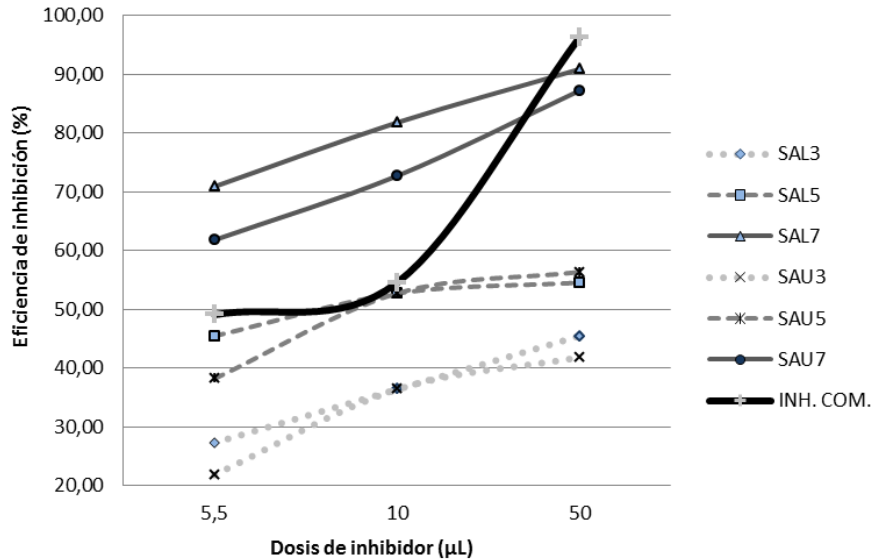


Figura 4. Comparación de las eficiencias de los extractos/inhibidores a base de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K. con el producto comercial.

hidrógeno de carácter más ácido que presentaron los productos de salvia, los cuales permitieron disolver los cristales de carbonato de calcio que se formaron como resultado de la exposición a la elevación de temperatura (71 °C) durante las veinticuatro horas de duración de la prueba, evitando alguna probable nucleación de los referidos cristales de las sales minerales disueltas. En cuanto a la conducta del inhibidor comercial, se distingue (a las dosis de 5,5 y 10 μL) que presenta igual o semejante eficiencia al inhibidor natural SAL5 (en sus tres dosis), pero a su máxima dosis (50 μL), solo se encuentra un aproximado de seis puntos porcentuales por encima del producto SAL7 (a 50 μL). Lo anterior le genera buenas expectativas experimentales al agente a base de las hojas de salvia (*Salvia officinalis*) al ser cotejado con el antiincrustante comercial empleado como patrón.

Tabla VIII. Eficiencias de los extractos/inhibidores de incrustaciones a base de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K. y del producto comercial.

Concentración (g/300 mL)	Dosis (μL)	Eficiencia SAL (%)	Eficiencia SAU (%)
3	5,5	27,27	21,82
	10	36,36	36,36
	50	45,45	41,82
5	5,5	45,45	38,18
	10	52,73	52,73
	50	54,55	56,36
7	5,5	70,91	61,82
	10	81,82	72,73
	50	90,91	87,27
Inhibidor comercial	5,5		49,09
	10		54,55
	50		96,36

Los resultados obtenidos demuestran que los distintos inhibidores formulados a base las hojas de salvia y saúco actuaron eficazmente en el agua de producción del Campo Oritupano, pues mantuvieron los valores de dureza cálcica lo más cercano posible al valor correspondiente al blanco frío. Con base en lo anterior se puede ratificar que los extractos evaluados evitarán la precipitación de sales, impidiendo la aparición de las incrustaciones, además de representar una opción viable por su bajo costo, fácil producción y que al ser un producto natural reducirá en gran medida los daños ocasionados al medio ambiente.

Para efectos de ratificar los resultados obtenidos en las pruebas de eficiencia, se realizó la determinación del LSI para la muestra de agua de producción con las dosificaciones de los productos antiincrustantes (naturales y comercial) y los blancos (frío y caliente), revelando la expresión gráfica en la Figura 5.

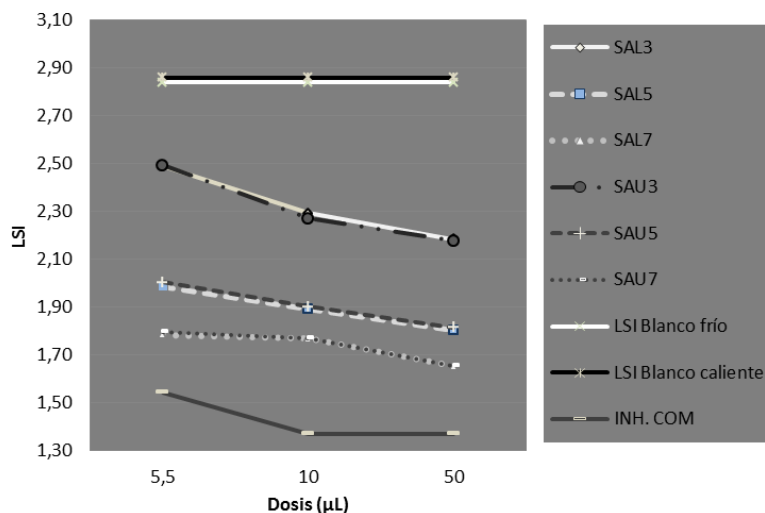


Figura 5. Comparación de los LSI para las muestras de agua con inhibidores experimentales, comercial y blancos (frío y caliente)

La aplicación de los tratamientos antiincrustantes permitió estimar una disminución de los LSI determinados en condición de dosificación, resultando más altos estos decrementos a mayor alícuota agregada para cada uno de los extractos inhibidores. Tal como se expresa en la Figura 6, se alcanza el máximo valor de disminución para SAL7 a 50 µL (41,77 %). Además, se percibió que el inhibidor comercial logró obtener el más elevado descenso del índice de saturación (51,72 %), exteriorizando que en el agua de producción donde se llevó a cabo la evaluación se mantuvo mayor contenido de calcio en solución, pero conservando para todos los casos el carácter incrustante (LSI >0).

Al comparar los resultados de las valoraciones de eficiencias obtenidos para los antiincrustantes ecológicos respecto a otros estudios previos donde se emplearon extractos como bioinhibidores de incrustaciones, se captó lo que a continuación se evalúa.

Del estudio basado en el uso del extracto de *Bistorta officinalis* [12], cuyos resultados relevantes se muestran en la Tabla IX, se aprecia que para las concentraciones de bistorta de 100 y 500 ppm, equivalentes a las dosis de 10 y 50 μL de los productos en estudio, existe un grado de superioridad en cuanto a la eficiencia mostrada por los últimos (salvia y saúco) a su concentración más elevada (SAL7 y SAU7), lo cual pondera a los extractos propios como mejores opciones para efectos de la inhibición de incrustaciones de carbonato de calcio a menores dosis que las empleadas por los autores descritos.

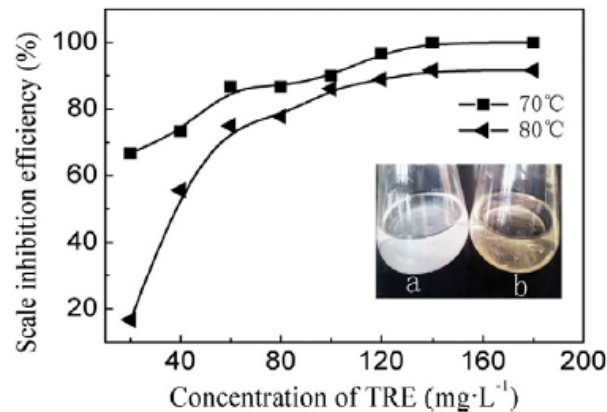


Figura 6. Efecto de la concentración de las hojas de tabaco y temperatura sobre la eficiencia de inhibición de incrustación: (a) depósitos de incrustaciones en blanco, (b) salmuera artificial con 140 ppm de extracto de tabaco. Fuente: [15].

Tabla IX. Resultados de las pruebas de eficiencias del extracto de *Bistorta officinalis* como inhibidor de incrustaciones. Fuente: [12]

Concentración (ppm)	Inhibición de incrustación (%)
0	0,00
100	20,10
200	48,40
500	81,00
1000	99,50

Para el caso de la investigación llevada a cabo por [15], relacionada con el uso del extracto de tabaco como antiincrustante, se muestra seguidamente en la Figura 6 el comportamiento del rendimiento encontrado. Se evidencia que con el incremento de la concentración del extracto de tabaco de 20 a 140 ppm, aumentó la eficiencia de inhibición de las incrustaciones de calcio (sulfato y carbonato), obteniendo eficiencias máximas de 100 % y 91,7 % a las temperaturas de 70 y 80 °C, respectivamente, a 140 ppm.

Comparado con los extractos de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K., se aprecia una cercanía en los resultados obtenidos en estos últimos a la dosis de 10 μL (para SAL7 y SAU7) y los logrados a 100 ppm (para el extracto de tabaco) de aproximadamente el 80 % de eficiencia de inhibición. Por estudios previos se ha encontrado que los inhibidores a base de polifosfonatos

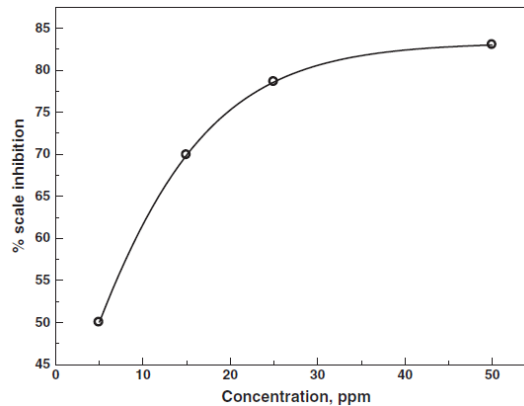


Figura 7. Variación del porcentaje de inhibición de incrustaciones con respecto a la concentración del extracto de hojas de oliva. Fuente: [9].

disminuye su desempeño a temperaturas por encima de los 70 °C [54]; por lo cual, basándose en el estudio de [15] y en el propio, se deduce que las elevadas eficiencias mostradas a las temperaturas de 70 y 80 °C (para el extracto de hojas de tabaco) y a 71 °C (para los extractos de salvia y saúco), pronostican un buen comportamiento de inhibición a unas temperaturas relativamente altas, comparados con los aditivos de origen polifosfonatados.

Respecto a [9], se manifestó que a la máxima concentración del extracto de oliva empleada en el estudio (50 ppm) obtuvieron un 83 % (Figura 7) de inhibición, la cual, comparada con los obtenidos por las soluciones a base de salvia y saúco donde a la concentración superior (7 g/300 mL) para ambas especies, se alcanzaron rendimientos de 90,91 % y 87,27 %, respectivamente, para la dosis equivalente de 50 μ L.

Lo anterior demuestra que después del contraste de resultados se certifica que la propuesta en estudio albergó resultados aceptables, los cuales derivaron con desempeños de igual calibre o superiores en comparación con las disertaciones tomadas como antecedentes (extractos de bistorta, tabaco y oliva) en la mitigación del fenómeno de incrustaciones minerales en sistemas de producción petrolera.

3.4. Análisis estadístico

Los valores tabulados mostrados a continuación corresponden al resultado del análisis de varianza simple. Dicho análisis tiene como objetivo evaluar el comportamiento cuantitativo de las eficiencias obtenidas para cada una de las repeticiones, representadas en este caso por las tres dosificaciones aplicadas para cada concentración de los inhibidores formulados a base de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K., además del inhibidor comercial. Con ello es posible determinar si existen variaciones estadísticamente significativas entre las diferentes conductas encontradas.

Para el caso del ANOVA simple aplicado a la eficiencia del extracto de *Salvia officinalis* (SAL 3, 5, 7) respecto al inhibidor comercial, en la Tabla X se expone que existieron diferencias estadística-

mente significativas (valor-P menor a 0,05). Se aprecia lo indicado en el componente entre grupos de la Tabla X, adjudicado esto al hecho de que no todas las medias de cada producto son iguales entre sí. El mismo procedimiento se aplicó para el inhibidor a base de *Sambucus peruviana* H.B.K., obteniéndose que no hay presencia de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos en estudio (experimentales y comercial), tal como se comprueba en la Tabla ??, con un valor-P relativamente mayor a 0,05.

Tabla X. Análisis de Varianza simple para las eficiencias del inhibidor a base del extracto de *Salvia officinalis* y el producto comercial

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3390,14	3	1130,05	5,17	0,0282
Intra grupos	1749,63	8	218,704		
Total (Corr.)	5139,77	11			

Tabla XI. Análisis de Varianza simple para las eficiencias del inhibidor a base del extracto de *Sambucus peruviana* H.B.K. y el producto comercial

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2990,74	3	996,912	3,87	0,0560
Intra grupos	2062,37	8	257,796		
Total (Corr.)	5053,1	11			

Para verificar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, en la Tabla XII se muestran los resultados de la prueba de múltiples rangos para los inhibidores a base de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K. respecto al producto comercial.

Tabla XII. Prueba de múltiples rangos para las eficiencias de los dos inhibidores en estudio y el producto comercial

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
SAU3	3	33,3333	X
SAL3	3	36,36	X
SAU5	3	49,09	XX
SAL5	3	50,91	XXX
COM	3	66,6667	XXX
SAU7	3	73,94	XX
SAL7	3	81,2133	X

Se exhibe que, al contrastar las medias de cada agente respecto a los otros, los inhibidores a base de salvia y saúco en sus máximas concentraciones presentan diferencias significativas con respecto a sus respectivas bases a menores proporciones, por lo que son estadísticamente similares solo entre ellos mismos (SAL7 y SAU7) y respecto al aditivo comercial.

Una vez obtenidos los resultados, se deduce que los agentes químicos SAL7 y SAU7 (en sus tres dosificaciones) presentaron un comportamiento estadísticamente similar con el agente comercial, lo cual los cataloga como buenos prospectos experimentales a considerar en contextos de la industria

petrolera, ello a pesar de que, en cuantía de rendimientos, el producto a base de salvia resultó con mejor desempeño.

4. Conclusiones

La muestra de agua de producción del Campo Oritupano presentó una dureza elevada característica de aguas subterráneas, además de ostentar las propiedades idóneas para generar incrustaciones como un pH de 9,15 y un LSI positivo. Por otro lado, los extractos de *Salvia officinalis* y *Sambucus peruviana* H.B.K. empleados como antiincrustantes exteriorizaron resultados acordes con un bioinhibidor, con potenciales de hidrógeno de carácter ácido, viscosidades por debajo de los 2 cSt, aunque con proporción de sólidos que deberían disminuirse aún más.

De la evaluación del desempeño de los bioinhibidores de incrustación se obtuvieron conductas ascendentes a medida que aumentó la dosificación y la concentración aplicada de materia vegetal incluida en el proceso inicial de extracción.

El extracto de las hojas de *Salvia officinalis* obtuvo mejor eficiencia (90,91 %) a la concentración y dosis más altas (7 g/300 mL y 50 μ L), generando una opción viable que debería ser evaluada a nivel de campo. Además, los productos a base de y *Sambucus peruviana* H.B.K. a la concentración de 7 g/300 mL (en sus tres dosificaciones) presentaron igual comportamiento estadístico que el producto inhibidor comercial empleado como patrón referencial.

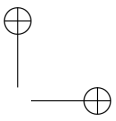
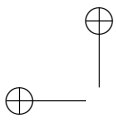
Finalmente, como sugerencia a futuras investigaciones, se plantea obtener los terpenos contenidos en las hojas de la planta de *Salvia officinalis* y estudiar su efecto como dispersantes de asfaltenos.

Referencias

- [1] K. Arnold y M. Stewart, *Surface production operations, design of oil handling systems and facilities*. Houston: Gulf Professional Publishing, 2008. [↑69](#)
- [2] A. B. BinMerhdah, "Inhibition of barium sulfate scale at high-barium formation water", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 90, pp. 124–130, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2012.04.005> [↑69](#)
- [3] M. Abdou *et al.*, "Valor del agua de formación", *Oilfield Review*, vol. 23, n.º 1, pp. 26-39, 2011. [↑69](#)
- [4] K. S. Venkateswarlu, *Water chemistry, industrial and power station water treatment*. Bombay: New Age International Limited Publishers, 1996. [↑70](#)
- [5] M. F.B. Sousa and C. A. Bertran, "New methodology based on static light scattering measurements for evaluation of inhibitors for in bulk CaCO₃ crystallization", *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 420, pp. 57–64, 2014. [10.1016/j.jcis.2014.01.001](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2014.01.001) [↑70](#)
- [6] A. Khormali, A. R. Sharifov, and D. I. Torba, "Increasing efficiency of calcium sulfate scale prevention using a new mixture of phosphonate scale inhibitors during waterflooding", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 164, pp. 245-258, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.01.055> [↑70](#)
- [7] Y. M. Al-Roomi, K. F. Hussain and M. Al-Rifaie, "Performance of inhibitors on CaCO₃ scale deposition in stainless steel and copper pipe surface", *Desalination*, vol. 375, pp. 138–148, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.07.028> [↑70](#)
- [8] A. Rochdi *et al.*, "Inhibitive properties of 2,5-bis(n-methylphenyl)-1,3,4-oxadiazole and biocide on corrosion", *Corrosion Science*, vol. 80, pp. 442–452, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2013.11.067> [↑70](#)

- [9] A. M. Abdel-Gaber, B.A. Abd-El-Nabey, E. Khamis, y D.E. Abd-El-Khalek, "A natural extract as scale and corrosion inhibitor for steel surface in brine solution", *Desalination*, vol. 278, pp. 337-342, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.05.048> ↑70, 71, 84
- [10] Suharso, Buhani, S. Bahri y T. Endaryanto, "Gambier extracts as an inhibitor of calcium carbonate (CaCO₃) scale formation", *Desalination*, vol. 265, pp. 102-106, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.07.038> ↑70
- [11] A. Reyes, J. Ruiz y L. Castillo, "Inhibidor de incrustaciones natural a base del mucílago de la hoja de cayena (*Hibiscus rosa sinensis*)", *Enfoque UTE*, vol. 10, n.º 2, pp. 63-78, 2019. 10.29019/enfoque.v10n2.460 ↑70, 75
- [12] Z. Mohammadi y M. Rahsepar, "The use of green *Bistorta Officinalis* extract for effective inhibition of corrosion and scale formation problems in cooling water system", *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 770, pp. 669-678, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.08.198> ↑70, 83
- [13] P. Mahase y J. Rivas, *Desarrollo de un inhibidor a base de linaza (*Linum Usitatissimum*) que controle la precipitación de incrustaciones a nivel experimental*, Tesis de grado, Departamento de Ingeniería de Petróleo, Universidad de Oriente, Maturín, 2018. ↑70, 73
- [14] J. Aguilera y H. Mencia, *Determinación del rango de temperatura óptimo de un inhibidor de incrustaciones a base de linaza (*Linum usitatissimum*) en muestras de agua de producción del Campo Oritupano a una presión de trabajo de 100 lpc*, Tesis de grado, Departamento de Ingeniería de Petróleo, Universidad de Oriente, Matutín, 2018. ↑70
- [15] H. Wang, M. Gao, Y. Guo, Y. Yang, y R. Hu, "A natural extract of tobacco rob as scale and corrosion inhibitor in artificial seawater", *Desalination*, vol. 398, pp. 198-207, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.07.035> ↑70, 83, 84
- [16] K. Rendón y E. Azocar, *Evaluación de la aplicabilidad de pectina deshidratada a base de parchita (*Passiflora edulis*) como inhibidor de incrustaciones minerales*, Tesis de grado, Departamento de Ingeniería de Petróleo, Universidad de Oriente, Maturín, 2016. ↑70, 77, 78
- [17] A. Fuenmayor y R. Peña, *Evaluación de una pectina natural a base de parchita (*Passiflora edulis*) como inhibidor de incrustaciones en muestras de agua sintética*, Tesis de grado, Departamento de Ingeniería de Petróleo, Universidad de Oriente, Maturín, 2016. ↑70, 79
- [18] X. Guo *et al.*, "Preparation, characterization and scale performance of scale inhibitor copolymer modification with chitosan", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 18, pp. 2177-2183, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2012.06.015> ↑70
- [19] National Association of Corrosion Engineers (NACE), "Laboratory Screening Tests to Determine the Ability of Scale Inhibitors to Prevent the Precipitation of Calcium Sulfate and Calcium Carbonate from Solution", 2007. ↑71, 72, 73, 80
- [20] ASTM International, *ASTM D369: Standard Test Method for Specific Gravity of Creosote Fractions and Residue*. West Conshohocken: ASTM International, 2002. ↑71, 72
- [21] Comisión Venezolana de Normas Industriales, *COVENIN 2342-86 Agua potable. Determinación del residuo filtrable total secado a 180 °C (Sólidos disueltos)*. Caracas: Fondonorma, 1986. ↑71, 72
- [22] Comisión Venezolana de Normas Industriales, *COVENIN 2461-87 Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de sólidos*, Primera ed. Caracas: Fondonorma, 1987. ↑71, 72
- [23] Comisión Venezolana de Normas Industriales, *COVENIN 2462-87 Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación del pH*. Caracas: Fondonorma, 1987. ↑71, 72
- [24] American Petroleum Institute, *API RP 13B-1 Recommended Practice for Field Testing Water-based Drilling Fluids*. Washington: API Publishing Services, 2017. ↑71, 72
- [25] Comisión Venezolana de Normas Industriales, *COVENIN 3141-95 Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de cloruros*. Caracas: Fondonorma, 1995. ↑71
- [26] Comisión Venezolana de Normas Internacionales, *COVENIN 2771-91 Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de dureza*. Caracas: Fondonorma, 1991 ↑71, 72
- [27] W. J. Langelier, "Chemical equilibria in water treatment", *Journal of the American Water Works Association*, vol. 38, n.º 2, pp. 169-178, 1946. [jstor.org/stable/23349196](https://www.jstor.org/stable/23349196) ↑71
- [28] ASTM International, *ASTM C136-01, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. West Conshohocken: ASTM International, 2001 ↑72
- [29] ASTM International, *ASTM E1148-02 Standard Test Method for Measurements of Aqueous Solubility*. West Conshohocken: ASTM International, 2002. ↑72
- [30] ASTM International, *ASTM D445-19, Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque*

- Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)*. West Conshohocken: ASTM International, 2019. ↑72
- [31] R. Arnold et al., “Manejo de la producción de agua: de residuo a recurso”, *Oilfield Review Magazine*, pp. 30-45, 2004. ↑73, 74
- [32] Decreto 883, *Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos*. Caracas, 1995. ↑74
- [33] J. Gal y Y. Fovet, “Mechanisms of scale formation and carbon dioxide partial pressure influence, Part I, elaboration of an experimental method and a scaling model”, *Water Research*, vol. 36, pp. 755-763, 2002. 10.1016/s0043-1354(01)00270-6 ↑74
- [34] Y. M. Al-Roomi y K. F. Hussain, “Potential kinetic model for scaling and scale inhibition mechanism”, *Desalination*, vol. 393, pp. 186-195, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.07.025> ↑74
- [35] American Public Health Association (APHA), *Standard Methods for the examination of water and wastewaters*, Washington: American Public Health Association and American Water Works Association, 2005. ↑74
- [36] J. D. Hem, “Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water”, *US Geological Survey Water-Supply Paper*, pp. 2254- 2263, 1986. ↑74
- [37] C. Patton, *Applied water technology*, Oklahoma: Editorial Campbell Petroleum Series, 1995. ↑74
- [38] E. Rice , R. Baird, A. Eaton y L. Clesceri, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington: American Public Health Association and American Water Works Association, 2012. ↑
- [39] Alberta Health Service, “Interpretation of Chemical Analysis of Drinking Water Recommended Levels”. [En línea]. Disponible en: <http://www.albertahealthservices.ca/eph.asp> ↑74
- [40] Observatorio Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación, “Indicadores”, 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.desertificacion.gob.ar/indicadores/suelo-ph/> ↑75
- [41] N. Kevern, “Alkalinity water, classification systems, Part 1”, Michigan State University, Michigan, U.S.A., 1989. ↑75
- [42] J. Lillo, “Técnicas hidrogeoquímicas”, Tesis de maestría, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, 2007. ↑75
- [43] NALCO, *The NALCO Water Handbook*, México D.F.: Editorial McGraw-Hill, 2004. ↑75
- [44] D. Jenkins y V. Snoeyink, *Química del Agua*. México D.F.: Editorial Limusa, 2003. ↑75
- [45] M.C. Menkiti, C.M. Sgu, and T.K. Udeigwe, “Extraction of oil from *Terminalia catappa* L.: process parameter impacts, kinetics, and thermodynamics”, *Industrial Crops Products*, vol. 77, pp. 713-723, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.08.019> ↑76
- [46] S. Sulaiman, A.R. Abdul Aziz y M.K. Aroua, “Optimization and modeling of extraction of solid coconut waste oil”, *Journal Food Engineering*, vol. 114, pp. 228-234, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.08.025> ↑76
- [47] Q. He, B. Du, y B. Xu, “Extraction optimization of phenolics and antioxidants from black goji berry by accelerated solvent extractor using response surface methodology”, *Applied Sciences*, vol. 8, n.º 10, pp. 1905-1918, 2018. <https://doi.org/10.3390/app8101905> ↑76
- [48] G. Ríos y P. Ruiz, *Determinación de los rangos óptimos de aplicación de un inhibidor de incrustaciones natural a base del mucílago extraído de la hoja de la planta de de cayena (Hibiscus rosa-sinensis)*, Trabajo de grado, Departamento de Ingeniería de Petróleo, Universidad de Oriente, Maturín, 2018. ↑77, 79
- [49] M. Crabtree et al., “La lucha contra las incrustaciones-remoción y prevención”, *Oilfield Review Magazine*, 1999. ↑78
- [50] C. Mata, *Polisacáridos naturales como agentes anti-incrustantes*, Trabajo de grado, Universidad Simón Bolívar (USB), Caracas, 2007. ↑79
- [51] N. Garin et al., “Cambios en la viscosidad del agua con espesantes por la adición de fármacos altamente prescritos en geriatría”, *Nutrición Hospitalaria*, vol. 27, n.º 4, pp. 1298-1303. <http://dx.doi.org/10.3305/nh.2012.27.4.5838> ↑79
- [52] M. Grieve. “Sages.Botanical.com”. [En línea]. Disponible en: <http://www.botanical.com/botanical/mgmh/s/sages-05.html> ↑79
- [53] B. M. Grajales, M. M. Botero y J. F. Ramírez, “Características, manejo, usos y beneficios del saúco (*Sambucus nigra* L.) con énfasis en su implementación en sistemas silvopastoriles del Trópico Alto”, *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 6, n.º 1, pp. 155-168, 2015. <https://doi.org/10.22490/21456453.1271> ↑80
- [54] N. Stanciu et al., “Investigations on binding mechanism of bioactives from elderberry (*Sambucus nigra* L.) by whey proteins for efficient microencapsulation”, *Journal of Food Engineering*, vol. 223, pp. 197-207, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.10.019> ↑84



- [55] A. A. Al-Hamzah y C. M. Fellows, "A comparative study of novel scale inhibitors with commercial scale inhibitors used in seawater desalination", *Desalination*, vol. 359, pp. 22–25, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.12.027> ↑

Luis Castillo Campos

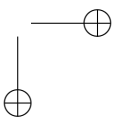
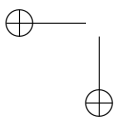
Ingeniero de Petróleo y Magíster Scientiarum en Ciencias Administrativas, Mención Finanzas, ambos títulos de la Universidad de Oriente (UDO), Maturín, estado Monagas, Venezuela. Docente investigador a dedicación exclusiva de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, con dieciséis años de experiencia. Con línea de investigación relacionada con el desarrollo de bioinhibidores de incrustación y editor adjunto de la revista científica *PetroCiencias* de la referida universidad.

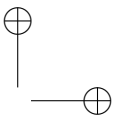
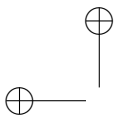
Correo electrónico: lcastillo@udo.edu.ve

Steevenson José Barreto

Ingeniero de Petróleo de la Universidad de Oriente (UDO), Maturín, estado Monagas, Venezuela y maestrante del Programa de Maestría en Ingeniería de Gas de la misma universidad. Ingeniero de Control y Desarrollo de Yacimientos en la Gerencia de Desarrollo de Yacimientos, Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), División Punta de Mata, Venezuela. Con dos años de experiencia en la industria petrolera venezolana en las áreas de fluidos de perforación y well testing. Diagramador de la revista científica *PetroCiencias*.

Correo electrónico: barretosj@pdvsa.com





Instrucciones para los Autores

Introducción

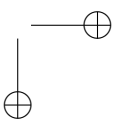
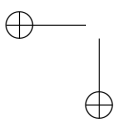
La Revista INGENIERÍA es una publicación de carácter científico con una periodicidad cuatrimestral editada por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. La Revista está dirigida a la comunidad académica, investigadores, egresados, sectores productivos y en general al público interesado en los temas del campo de la Ingeniería. Su principal objetivo es difundir y debatir avances en investigación y desarrollo en las diferentes áreas de la ingeniería a través de la publicación de artículos originales e inéditos, con pertinencia local o internacional.

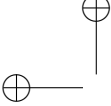
Todo artículo es evaluado de manera doble-ciega por pares revisores antes de ser calificado como candidato para publicar. El Comité Editorial, tomando en cuenta los conceptos emitidos por los evaluadores y el cumplimiento de las políticas editoriales de la Revista, decide la publicación del artículo en una edición futura. Todos los artículos presentados a la revista INGENIERÍA deben ser inéditos. No se publicarán artículos que hayan sido anteriormente publicados o que hubieren sido sometidos por el autor o los autores a otros medios de difusión nacional o internacional para su publicación.

Clasificación de los artículos

La clasificación de un artículo científico dependerá de la naturaleza del nuevo conocimiento que reporte, lo que nos lleva a plantear la siguiente tipificación:

- **Investigación:** son aquellos que abordan una pregunta sobre un aspecto disciplinar teórico o aplicado, usualmente mediante un estudio científico del comportamiento de un fenómeno o una situación bajo ciertas condiciones de control.
- **Metodología:** estudios enfocados en presentar un nuevo método de solución para una categoría particular de problemas, demostrando resultados favorables en comparación con el estado del arte o de la técnica. Son investigaciones específicamente dedicadas a validar las bondades y desventajas del método que proponen o a realizar caracterizaciones comparativas de varios métodos en dominios disímiles o inexplorados.
- **Revisión:** los que presentan análisis críticos, sistemáticos, delimitados y exhaustivos, sobre los avances, tendencias, resultados positivos y negativos, vacíos y futuras rutas de investigación encontrados en el actual estado del arte o de la técnica.
- **Perspectiva:** aquellos que, recurriendo a fuentes bibliográficas originales y con un discurso argumentativo y controversial, cuestionan el actual estado del arte o de la técnica, proponen visiones alternativas a las corrientes de pensamiento dominantes, critican la vanguardia de la disciplina o instigan un viraje hacia tópicos de investigación abandonados o desentendidos por la comunidad científica. Usualmente más que una reflexión personal, buscan establecer una posición colectiva (de comunidad científica), sustentada en una discusión que combina introspectiva, retrospectiva y prospectiva sobre el asunto en cuestión.
- **Reporte de Caso:** los que buscan divulgar un hallazgo novedoso encontrado durante o posterior a un caso particular de desarrollo tecnológico, que eventualmente podría generalizarse mediante una investigación más amplia (aplicada a más casos) y que por lo tanto ameritan ser conocidos por la comunidad para convocarla en tal sentido. Más que





enfatar en el desarrollo tecnológico o innovación per sé, se enfocan en caracterizar el conocimiento descubierto en el caso de estudio respectivo.

- **Editoriales, Cartas al Editor, Artículo Invitado:** son las únicas categorías que no reportan nuevo conocimiento, sino que discuten temas de interés para la Revista, para su línea editorial o para su comunidad, con un carácter de opinión informada.

Para una mayor información de la explicación y/o diferencias de la anterior clasificación los invitamos a visitar el siguiente enlace “Guía breve de clasificación de artículos en INGENIERÍA”.
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/11131/12114>

Procedimiento para el envío de artículos

Los autores deberán enviar al Editor los siguientes documentos mediante la plataforma Open Journal System (OJS) de la Revista:

- Carta de presentación y originalidad del artículo: el formato de la presente carta se puede descargar en el siguiente enlace:

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/5087/11961> (Formato PDF)
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/11486/12242> (Formato Word)
La finalidad de la carta es certificar que el artículo es inédito, que no está sometido a otra publicación y que aceptan las normas de publicación de la Revista.

- El artículo en formato digital utilizando la plantilla y las normas de presentación que se pueden consultar en el siguiente enlace (instrucciones a los autores):

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/4979/11816> (Formato PDF)
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/5233/11815> (Formato Word)
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/9539/10775> (Formato Latex)

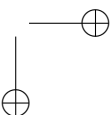
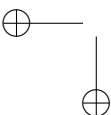
- Los autores relacionarán en el correo de postulación del artículo dos posibles evaluadores que cumplan las siguientes condiciones:

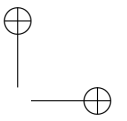
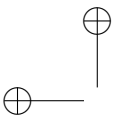
- Debe tener al menos título de maestría.
- Pertener a una institución diferente a la de los autores.
- Haber realizado publicaciones en los últimos tres años.

Nota: Enviar los datos de los contactos de los posibles evaluadores (nombre completo, institución y correo electrónico). Esta información también puede ser enviada a la siguiente dirección electrónica: revista_ing@udistrital.edu.co

- En caso de ser aceptado, los autores del artículo se comprometen a diligenciar el formato de cesión de derechos para publicación. Se puede descargar en el siguiente enlace:
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/5091/6711>

Se puede consultar la guía rápida para autores en la plataforma OJS en el enlace:
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/5540/7070>



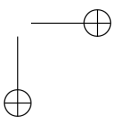
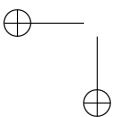


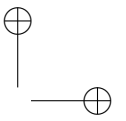
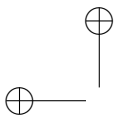
Aspectos a tener en cuenta

- Se considera un artículo largo cuando tiene más de diez (10) páginas con este formato. Por consiguiente se recomienda tener como límite diez (10) páginas para la elaboración de un artículo. El Comité Editorial podría solicitar a los autores reducir el tamaño del artículo cuando lo considere demasiado largo.
- Los resultados de las evaluaciones de los pares árbitros y las modificaciones que requiera el Comité Editorial serán notificados a los autores a través de la plataforma OJS y al correo electrónico del autor de correspondencia. Los autores deberán enviar nuevamente el artículo con las modificaciones sugeridas sin nombres y sin biografías. En general, este intercambio de sugerencias y modificaciones puede llegar a presentarse una, dos o más veces después de presentar el artículo.
- Cuando un artículo no cumple con las condiciones definidas para la revista, el Comité Editorial podría decidir no publicarlo. En este caso, el autor o los autores serán notificados de la decisión.

Derechos de autor

El contenido completo de la licencia Creative Commons, bajo la cual se resguardan los derechos de autor de aquellos que publican en la Revista INGENIERÍA, puede consultarse en: Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0.





Instructions for authors

Aim and scope

INGENIERÍA Journal is a scientific publication with a periodicity published every four months by Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Its main goal is to disseminate and discuss advances in research and development in the different areas of engineering through the publication of original unpublished papers.

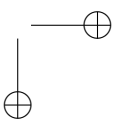
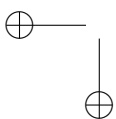
The intended audience of the Journal is the academic community, researchers, graduates, productive sectors and in general the public interested in all engineering disciplines.

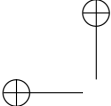
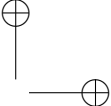
Submitted papers are double-blind peer-reviewed by at least two experts in the field, before being qualified as a candidate to be published. The Editorial Board grounds its acceptance decision on the basis of the recommendations given by the experts and the fulfillment of the editorial policies of the Journal. All papers submitted to INGENIERÍA Journal must be unpublished and not submitted to publication to other journal, although papers previously published in conference proceedings may be considered if substantial extensions are included.

Types of papers

Papers published in INGENIERIA Journal are classified according to the nature of the new knowledge it reports, as follows:

- **Research:** These are papers that address a question about a theoretical or applied disciplinary aspect, usually through a scientific study of the behaviour of a phenomenon or a situation under certain control conditions.
- **Methodology:** These are papers focusing on presenting a new method of solution for a particular category of problems, demonstrating favorable results compared to the state of the art or technique. They are investigations specifically dedicated to validate the advantages and disadvantages of the method proposed or to perform comparative characterisations of several methods in dissimilar or unexplored domains.
- **Review:** These are papers that present critical, systematic, delimited and exhaustive analyzes on the progress, trends, positive and negative results, gaps and future research routes found in the current state of the art or technique.
- **Perspective:** These are papers that, using original bibliographical sources and argumentative and controversial discourse, question the current state of art or technique, propose alternative visions to dominant currents of thought, criticise the vanguard of the discipline or call for the attention towards research topics abandoned or disregarded by the scientific community. Usually more than a personal reflection, they seek to establish a collective (scientific community) position, based on a discussion that combines introspective, retrospective and prospective on the subject in question.
- **Case Report:** These are papers intending to disclose a novel finding found during or after a particular case of technological development, which could eventually be generalised by a more extensive investigation (applied to more cases) and which therefore deserve to be known by the community. In other words, rather than emphasising on technological development or innovation per se, they focus on characterising preliminary knowledge discovered in the respective case study.



- 
- 
- **Editorials:** Letters to the Editor, Guest Article: These are the only contributions that do not report new knowledge, but discuss topics of interest for the Journal, for its editorial line or for its community, with an informed opinion style.

Procedure for the submission of papers

Authors should submit to the Editor the following documents using our Open Journal System (OJS) platform:

- Cover letter and originality statement: a template can be downloaded from:

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reviving/article/view/5087/11961> (PDF Format)

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reviving/article/view/11486/12242> (Word format)

- The manuscript formatted according to the template and style of the instructions to authors:

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reviving/article/view/4979/11816> (PDF Format)

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reviving/article/view/5233/11815> (Word Format)

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reviving/article/view/9539/10775> (Latex Format)

- (Optional) Suggestions of two candidate experts for peer review, complying with:

– Must have a PhD. Degree

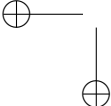
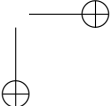
– Must belong to an institution other than the authors’

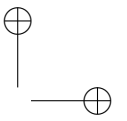
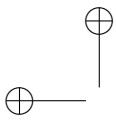
– Have publications in recognised journals in the last two years

- If accepted for publication, the authors must agree with and submit a copyright form that transfers rights for publication. This form can be downloaded from:

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reviving/article/view/5091/6711>

Additional considerations

- Recommended paper length is ten (10) pages. If authors require more pages, they should inform the Editor in advance during the submission process.
 - The result of the review process and the reviewers comments would be notified to the authors through the OJS platform and by email to the correspondence author. The result can be “Major correction”, “Minor corrections” or “Rejected”. When corrections are required, authors should resubmit a corrected anonymous manuscript and a companion document explaining the changes made in reply to what comments. Usually, a submitted manuscript would undertake at least two rounds of review. Statistics of average review and production times and other Journal indicators can be seen at:
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reviving/index>
 - When a submission does not meet the conditions defined for the journal, the Editorial Committee may decide not to publish it. In this case, the authors will be notified of the decision within two (2) weeks from the date of submission.
- 
- 



Copyright and publishing cost

INGENIERÍA Journal distributes the full content of its printed and digital version under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License. No publication costs are charged to the author or author's institutions, nor any payment are made to expert peer reviewers or associated or adjunct editors. INGENIERÍA Journal is funded by Universidad Distrital Francisco José de Caldas, its School of Engineering and its Central Research Office.

Code of good conduct in scientific publishing

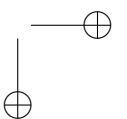
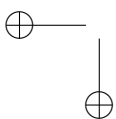
INGENIERÍA Journal advocates and defends the universal principles of good conduct in scientific publication, in particular, those referring to respect for the community, respect for the selfless and voluntary work of peer reviewers and editors, as well as respect to intellectual property. Regarding the latter, INGENIERÍA Journal does not tolerate behaviours related to plagiarism of previously published material and strives to honor to the maximum extent the copyrights and patents and reproduction rights. Likewise, the Journal seeks to observe the moral rights of third parties, in addition it will establish the necessary processes to avoid and to resolve the possible conflicts of interest that can exist in the publications.

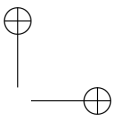
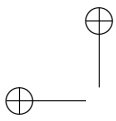
Inappropriate behaviour not tolerated by the journal

1. Wrongly addressed submission intended to other journal different to INGENIERIA Journal.
2. Plagiarism or self-plagiarism.
3. Simultaneous submission of a manuscript to several journals.
4. Unjustified withdraw of a submitted manuscript due to unfavourable reviews.
5. Unjustified abandonment of submission at any stage of the process: verification of submission conditions, peer-review process or layout and final proof adjustments.

Penalties for inappropriate behaviour

1. Official communication sent to the authors indicating the misconduct, requesting a letter of apology addressed to the Editorial Committee, Scientific and/or peer reviewers.
2. Notification sent to the Colombian Network of Engineering Journals (Red Colombiana de Revistas de Ingeniería) reporting the case of misconduct with evidences.
3. Official communication sent to author's affiliated or financing institutions informing about the misconduct.
4. Retraction of the paper in case it has been published, notifying this decision publicly in the editorial pages of the Journal and in an official letter addressed to the entities of institutional affiliation of the authors.
5. Application of a publication veto to the authors in the Journal during a period determined by the Editorial Board according to the seriousness of the misconduct.
6. Notification of the case and the result of the investigation to the competent authorities, in case the good will of the Universidad Distrital FJC or the INGENIERIA Journal is compromised.





Procedure in case of suspicion of plagiarism and duplicate publication

INGENIERIA Journal will follow the guidelines established by the Publications Ethics Committee (COPE) to handle unethical issues or behaviours:

Suspicion of plagiarism in a submitted manuscript

<http://publicationethics.org/files/u7140/plagiarism%20A.pdf>

Suspicion of plagiarism in a published paper

<http://publicationethics.org/files/u7140/plagiarism%20B.0.pdf>

Suspicion of duplicate publication in a submitted manuscript

<http://publicationethics.org/files/u7140/redundant%20publication%20A.pdf>

Suspicion of a duplicate publication in a published paper

<http://publicationethics.org/files/u7140/redundant%20publication%20B.0.pdf>

For more information on non-ethical conduct and/or penalties please see:

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/7784/11818>

