



**REVISTA CIENTÍFICA**

# **DYNAMIKOS**



**NÚMERO 2**



**EDITORIAL  
TEINCO**

**1 DE DICIEMBRE DE 2020**

CORPORACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL  
COLOMBIANA (TEINCO)



**TEINCO**  
Corporación Tecnológica  
Industrial Colombiana

**REVISTA CIENTÍFICA**

# DYNAMIKOS

**Google Scholar**

 **Actualidad Iberoamericana**  
Índice Internacional de Revistas

 **Dialnet**



 **TEINCO**  
Corporación Tecnológica Industrial Colombiana



# REVISTA CIENTÍFICA DYNAMIKOS

JULIO - DICIEMBRE DE 2020

**Mag. Manuel Fernando García García**

Editor

EDITORIAL TEINCO

Av. calle 63 #22-39

Sede 7 de agosto Bogotá D.C.

5714856565- 3124319746

manuel.garcia@teinco.edu.co

## JUNTA DIRECTIVA TEINCO

**William Fernando Sánchez Corredor**

Representante Legal

**Ernesto Parra Herrera**

Secretario General

**Ferney Rodrigo Ortiz Jiménez**

Rector

**Wilson Ferney Molano García**

Vicerrectoría Académica

**Yaneth Lucía Hernández Castellanos**

Vicerrectoría de Gestión

**Manuel Fernando García García**

Dirección División Investigación Tecnológica Aplicada DITA

## COMITÉ CIENTÍFICO

Lic. Luis Alejandro Parra Mora M.Sc

Ing. Sergio Arley Puerto Moreno M.Sc

Ing. Diego Felipe Torres M.Sc

## COMITÉ EDITORIAL

Ferney Rodrigo Ortiz Jiménez

Wilson Ferney Molano García

Manuel Fernando García García

Luis Alejandro Parra Mora

Lady Johanna Herrera Vargas

Heriberto Alvares Bustos

## DIAGRAMACIÓN Y ESTILOS

Dayiry Tatiana Bedoya

Jhonatan Fernando Castro

Thomas Ruiz Bermúdez

Jeisson Guerrero Cruz

Alejandro Díaz Cuevas

Jhoan Sebastian Cuesta Pulido

## FECHA DE ASIGNACIÓN

**25/08/2020**



**TEINCO**  
Corporación Tecnológica  
Industrial Colombiana



# REVISTA CIENTÍFICA **DYNAMIKOS**

**Rodrigo Ortiz Jiménez**  
**Representante del Consejo Directivo**  
**Corporación Tecnológica Industrial Colombiana TEINCO**  
**rodrigoortiz@teinco.edu.co**

Un año después de la declaración del COVID-19 como pandemia, la realidad de este mundo globalizado, de esta aldea global se ha transformado radicalmente; el individualismo, la virtualización y la sumisión son algunas de las consecuencias de vivir por más de un año atemorizados, ocultos en la oscuridad de las casas y cubiertos por un tapabocas que en últimas de a poco fue restringiendo nuestra comunicación.

En este proceso de transformación, la educación, sus instituciones y sus políticas también han tenido que adaptarse, sus escenarios y protagonistas se reinventaron al interior de una realidad confusa y con un horizonte descubierto de brillo y brillantes para los procesos de enseñanza aprendizaje.

Dentro de esta lógica de incertidumbre y confusión, el camino está marcado por la necesidad humana e histórica de seguir adelante, de luchar y vencer las adversidades, de entender que cada problema es una oportunidad de mejora. Por más de 20.000 años el ser humano en su constante proceso de evolución ha sufrido enfermedades, catástrofes, cataclismos y hecatombes, pero de todo eso la humanidad ha sabido reponerse, pararse de nuevo y seguir caminando.

Es la educación la herramienta más poderosa para interpretar y reponerse de las vicisitudes, es la educación la luz al final del camino, es la educación y en ella la investigación la que, por medio de hipótesis, tesis y teorías, presenta alternativas y soluciones a este mundo cuya actualidad está más cerca de la realidad de la “matrix” que de la realidad que veíamos antes al abrir los ojos.

De esta manera los procesos de investigación no pierden ni perderán su relevancia en el actual contexto, al contrario, cada día se hacen más importantes para poder interpretar el mundo en el que vivimos hoy, es por eso que la Corporación Tecnológica Industrial Colombiana no cesa en su carrera por seguir brindando aportes académicos a la sociedad colombiana e internacional. Desde diferentes espacios, acciones y metodologías seguimos aportando en la construcción de país.

En ese sentido y dando continuidad a los procesos investigativos, publicamos el segundo volumen de nuestra revista de investigación **DYNAMIKOS**, que cumpliendo con su espíritu multidisciplinar e incluyente presenta en sus páginas un compilado de disertaciones y propuestas que invita a nuestros lectores a intimar con cada una de sus páginas, a sostener un corto pero eterno romance con el conocimiento y el saber.

# DECLARACIÓN DE ÉTICA Y BUENAS PRÁCTICAS EDITORIALES

La revista *Dynamikos* de la Corporación Tecnológica Industrial Colombiana TEINCO, se rige en buenas prácticas científicas y editoriales por los estándares internacionales publicados por el Comité de Ética en la Publicación COPE, con el objetivo de garantizar la responsabilidad, ética y seriedad en los procesos de la publicación de las contribuciones como en los procedimientos de resolución de conflictos.

El equipo de la editorial TEINCO de la revista científica de investigación *Dynamikos* se asegura que todos los intervinientes: editores, pares evaluadores y autores sigan las normas éticas en todo el proceso editorial.

En cada publicación los actores del proceso se acogen las siguientes principios y guías:

**Para los autores de la revista *Dynamikos*** esta se compromete con la calidad del material que publica, de ofrecerles una clara información sobre los objetivos, normas y políticas editoriales. Los editores tienen la decisión de aceptar o rechazar un material por la relevancia del trabajo, originalidad y pertinencia. La revista tiene la trazabilidad de los procesos y seguimiento de los evaluadores de cada trabajo recibido. Sobre aspectos relacionados con autoría, plagio, publicaciones duplicadas o fragmentadas y resolución de conflictos se siguen las recomendaciones de COPE. Committee On Publication Ethics.

**Los Pares evaluadores de la revista *Dynamikos*** deben declarar conflictos de intereses o inhabilidades y adherirse estrictamente a las políticas del proceso de evaluación de la revista, además de responder las solicitudes de la editorial y enviar evaluaciones a tiempo. Hacer una evaluación metódica y rigurosa, dado el nivel de experticia de los pares evaluadores seleccionados. Los Pares deben respetar la confidencialidad de la información ligada al proceso editorial y en general y para mayores detalles puede acceder al Código de conducta y buenas prácticas para pares evaluadores de revistas científicas de COPE Committee On Publication Ethics.

**El Consejo Editorial de la revista *Dynamikos*** debe garantizar la transparencia de las contribuciones y los procesos de evaluación y publicación, así mismo garantizar la interlocución objetiva y la confidencialidad de todas las partes involucradas en el proceso editorial. La revista debe responder a todas las notificaciones, también garantizar el cumplimiento de las normas de ética de la investigación, la publicación y en todos los procesos científicos y editoriales de la misma. La editorial debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual, sin distinción de género, raza, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, orientación sexual o filosofía y posición política de los autores.

La editorial TEINCO no revelará información sobre un contenido enviado; solamente lo conocerán los autores, los revisores y otros asesores editoriales. Para mayores información se puede acceder al código de conducta y buenas prácticas para editores de revistas científicas desarrollado por COPE Committee on Publication Ethics.

**Normas de Información para los autores:** Los artículos de investigación entregados a la revista *Dynamikos* deben ser originales y dar cuenta exacta de los trabajos realizados, así mismo presentar la discusión objetiva de su significado. Todos los datos deben estar presentados con precisión en el documento. Los artículos deben ser claros, detallados y tener referencias que permitan a otros a replicar el trabajo.

**Retención y acceso a los datos:** Los autores son invitados a proporcionar los datos originales en un documento para revisión editorial, y deben estar preparados para proporcionar acceso público a dichos datos, si es posible, además en todo caso deben estar preparados para mantener dichos datos disponibles un tiempo razonable después de su publicación.

**Originalidad y plagio:** Los autores deben asegurarse de que han escrito obras totalmente originales, si los autores han utilizado el trabajo y/o las palabras de otros, deben asegurarse que estos hayan sido debidamente citados o citadas. El plagio en todas sus formas constituye un comportamiento poco ético, el cual es inaceptable en las publicaciones científicas.

**Debido reconocimiento de las fuentes:** Siempre se debe dar el reconocimiento adecuado al trabajo de otros. Los autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la determinación de la naturaleza del trabajo reportado.

#### **La autoría del documento**

La autoría del documento debe limitarse a aquellos que han hecho una contribución significativa en la concepción, diseño, ejecución o interpretación del estudio que se presenta. Todos los que hayan hecho contribuciones significativas deben aparecer como coautores. Si existen otros profesionales que hayan participado en aspectos sustantivos del proyecto de investigación, deben ser reconocidos y figurar como contribuyentes. Los revisores deben identificar las obras publicadas relevantes que no hayan sido citadas por los autores. Cualquier afirmación, observación, derivación, o argumento que se haya registrado previamente debe ir acompañado de la citación correspondiente. Un revisor también debe llamar a la atención del editor de cualquier similitud sustancial o parcial entre el manuscrito bajo consideración y cualquier otro documento publicado del que tengan conocimiento personal.

#### **Conflictos de intereses**

Todos los autores deben revelar en su manuscrito cualquier conflicto de interés sustantivo financiero u otro tipo de interés que pudiera presentarse en los resultados o interpretación de su manuscrito. Todas las fuentes de apoyo financiero para el proyecto deben tener los créditos que les correspondan. Los materiales inéditos revelados en un manuscrito presentado para su publicación en la revista no deben utilizarse en investigaciones propias de un editor sin el consentimiento expreso y por escrito del autor. La información privilegiada o las ideas obtenidas mediante la revisión por pares deben ser confidenciales y no se utilizarán para beneficio personal.

**Errores fundamentales en las obras publicadas:** Cuando un autor descubre un error significativo o inexactitud en su propio trabajo publicado, es obligación de los autores notificar de inmediato al editor de la revista o al comité editorial y cooperar con el editor para retirar o corregir.

#### **Decisiones Publicación:**

El editor de la Revista Dynamikos, su Política Editorial (arbitrada por pares académicos) y el Comité Editorial, son los responsables de decidir cuál de los artículos presentados a la revista deben publicarse. La aprobación de la obra en cuestión y su importancia para los investigadores y los lectores hacen parte de estas decisiones.

**Participación y cooperación en las investigaciones:** La editorial tomará medidas razonables de respuesta cuando se presenten quejas éticas se en relación con un manuscrito presentado o un artículo publicado, en colaboración con la editorial TEINCO o con La Corporación Tecnológica Industrial Colombiana. Dichas medidas se comunicarán oportunamente al autor del documento y dando proceso a la denuncia respectiva o reclamos, también realizar comunicaciones a las instituciones competentes y organismos de investigación, y si la denuncia se sostiene, la publicación debe hacer la corrección, la retracción, u otra acción para aclarar tal situación.

**Puntualidad:** Cualquier par evaluador seleccionado que no se sienta calificado para revisar la investigación debe informar que le será imposible realizar su revisión en el tiempo establecido.

**Confidencialidad:** Todos los manuscritos recibidos por la revista Dynamikos para su revisión deben ser tratados como documentos confidenciales.

## Economía

### DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL PROCESO PRODUCTIVO Y DRENAJE MINERO EN LA EXPLOTACIÓN DE CARBÓN (SOCHA-BOYACÁ)

10

Paulina Alejandra Vergara Buitrago  
Gestora en investigaciones de la facultad de ingenierías. Fundación Universitaria Navarra, UNINAVARRA

## Ambiental

### ANALYSIS OF THE TEMPORARY DYNAMICS OF THE CLIMATE CONDITIONS OF THE LOS NEVADOS NATURAL NATIONAL PARK

19

David Arrubla Lara  
Ingeniero Geógrafo y Ambiental - Universidad La Gran Colombia

Diego Fernando Hernández Villamil  
Ingeniero Geógrafo y Ambiental - Universidad La Gran Colombia

Luis Miguel Mejía Giraldo  
Profesor Facultad de Ingenierías - Universidad La Gran Colombia

Ximena Cifuentes Wchima  
Decana Facultad de Ingenierías, Líder Grupo de Investigación Gerencia de la Tierra - Universidad la Gran Colombia

## Ambiental

### DESARROLLO DE PELÍCULAS CONDUCTORAS BIOPOLIMÉRICAS A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA

26

Adolfo Antonio Ballestas Núñez  
Biólogo egresado de la Universidad de Sucre

Álvaro Ángel Arrieta Almarío  
Profesor del departamento de Biología y Química, Universidad de Sucre

## Administrativo

### DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE SOSTENIBILIDAD DEL SECTOR HOTELERO EN EL MUNICIPIO DE ARMENIA-QUINDIO (COLOMBIA)

32

Valentina Barahona Campos  
Ingeniera Geógrafa y ambiental de la Facultad de Ingenierías Universidad La Gran Colombia Sede Armenia

Luis Miguel Mejía Giraldo  
Docente Investigador Facultad de Ingenierías, Líder Grupo de Investigación Agroindustrialización GIDA - Universidad La Gran Colombia

Lina María Ríos Pinilla  
Docente investigadora y Líder Facultad de Ingenierías, Líder Grupo de Investigación Eje Cafetero, Ciencia, Ingeniería e Industria. – Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt

Adriana María Zuluaga Monsalve  
Docente investigadora Líder de Investigaciones, Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt.



**Sistemas****ESTRATEGIA Y PROPUESTA DE SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE INTERNET DE LAS COSAS PARA UNA PLATAFORMA DE AGRICULTURA 4.0 MEDIANTE ESTADÍSTICO NUMÉRICO** 40

Jhonatan-Paolo Tovar-Soto

Docente Investigador de la Oficina de Investigación e Innovación - Fundación de Educación Superior San José

Carlos-Francisco Pareja-Figueroa

Investigador del Grupo de investigación EIDOS - Fundación de Educación Superior San José

Luis-Carlos Gutiérrez-Martínez

Investigador del Grupo de investigación EIDOS - Fundación de Educación Superior San José

**Mecatrónica****SISTEMA DE MEDICIÓN DIDÁCTICA SIMULADORA PARA LA PRÁCTICA EN EL CONJUNTO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS** 52

Arthur Eugênio Januário da Silva

Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), Brasil

Wesley Pereira Marcos

Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), Brasil

**Mecatrónica****MODELAMIENTO DEL RÉGIMEN ESTACIONARIO DE UN CONVERTIDOR ELEVADOR DE ALTA GANANCIA CON BAJO ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA** 59

Nicolás-Alejandro López-Varón

Estudiante de Ingeniería Electrónica – Universidad de Ibagué

Oswaldo López-Santos

Profesor del programa de Ingeniería Electrónica - Universidad de Ibagué

**Mecatrónica****IMPLEMENTACIÓN DEL MARCO DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA PARA HOME CARE** 68

Artur Henrique Silva de Carvalho

Estudiante de Engenharia Elétrica, Centro Universitário de Patos de Minas, UNIPAM, Brasil

Gaspar Eugênio Oliveira Ramos

Mestrado em Engenharia Biomédica pela Universidade de Ouro Preto, Brasil

**Mecatrónica****BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL DESARROLLO DE LOS NIÑOS EN EL APRENDIZAJE EN LA EDUCACIÓN INFANTIL** 84

Rita de Kássia Dantas Silva

Graduanda no 10 Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM, Brasil

Thiago Vieira da Silva

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso – UFMG, mestrado e com doutorado em andamento pela Universidade Federal de Uberlândia

**Mecatrónica****ESTUDIO COMPARATIVO DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A TRAVÉS DE LA FERMENTACIÓN EN BATCH USANDO SACCCHAROMYCES****99**

Adolfo León Agatón

Profesor de la Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria los Libertadores

Jennifer Yuliet Balcazar Alarcón

Estudiante de la Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria los Libertadores

**Ciencia y Tecnología****EXTRACCIÓN DE ÁCIDO ANACÁRDICO Y CARDANOL A PARTIR DE ACEITE DE CASCARA DE NUEZ DE MARAÑÓN****105**

Jorge Alberto Ducuara Hernández

Estudiante de pregrado - Universidad de Sucre

Alvaro Angel Arrieta Almario

Profesor de planta del Departamento de Biología y Química - Universidad de Sucre

**Ciencia y Tecnología****LEVANTAMIENTO BIBLIOGRÁFICO DAS TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM PARA RESOLUÇÃO DO SUDOKU****116**

João Marcos de Andrade

Estudiante del Curso de Ingeniería Eléctrica - Centro Universitario de Patos de Minas, UNIPAM, Brasil

Me. Wesley Pereira Marcos

Profesor, Departamento de Ingeniería Eléctrica - Centro Universitario de Patos de Minas, UNIPAM, Brasil

**Ciencia y Tecnología****ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA CAVITACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO INTERNO EN TOBERAS DE INYECCIÓN DIESEL TRANSPARENTES****127**

Oscar-Hernando Venegas-Pereira

Profesor del Programa de Ingeniería Mecánica de la Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, Colombia

**Ciencia y Tecnología****IMPORTANCIA DE LA ADOPCIÓN DEL NIST CYBERSECURITY FRAMEWORK EN LAS ORGANIZACIONES****144**

Luis Eduardo Baquero Rey

Profesor del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, Colombia

Miguel Hernández Bejarano

Profesor del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, Colombia

Gabriel Antonio Rojas Díaz

Estudiante del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, Colombia

# DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL PROCESO PRODUCTIVO Y DRENAJE MINERO EN LA EXPLOTACIÓN DE CARBÓN (SOCHA-BOYACÁ)

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/09/2019 ACEPTADO: 15/03/2020 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/07/2020

### *ENVIRONMENTAL DIAGNOSIS OF THE PRODUCTIVE PROCESS AND MINING DRAINAGE IN COAL EXPLOITATION (SOCHA-BOYACÁ)*

<sup>1</sup> Paulina Alejandra Vergara Buitrago

Como citar este artículo: Vergara, P. (2020) Diagnóstico ambiental del proceso productivo y drenaje minero en la explotación de carbón (Socha- Boyacá) , revista Dynamikos 1 (2). Recuperado de:  
<https://teinco.edu.co/wp-content/uploads/2021/07/Revista-Dinamicos-No2.pdf>

#### RESUMEN

**Introducción:** En los últimos años la minería ha representado unos de los factores más importantes para el crecimiento económico en Colombia, ha llegado a formar una de las tres locomotoras mineras de desarrollo del país, debido a la extraordinaria riqueza mineral presente en el territorio nacional. Esta actividad económica genera impactos sobre los recursos naturales y la salud humana, en los componentes bióticos y abióticos del ecosistema, posicionando al recurso hídrico como uno de los más afectados por la alteración en sus condiciones fisicoquímicas y biológicas, impactando fuentes hídricas. **Metodología:** Este proyecto realizó un diagnóstico ambiental del proceso productivo asociado al drenaje minero en la explotación de carbón de una mina del municipio de Socha (Boyacá), a partir de un estudio descriptivo de la problemática y datos de tipo cuantitativo obtenidos a partir de matrices ambientales y estudios de laboratorio. **Resultados:** Entre las principales problemáticas se observó la pérdida de cobertura vegetal en la zona, activación de procesos erosivos y afectación sobre las propiedades fisicoquímicas del agua. **Discusión y Conclusiones:** El drenaje ácido minero analizado cuenta con características no aptas de acuerdo a lo definido en la normativa ambiental colombiana, por lo cual se hace necesario implementar sistemas de tratamiento para estos vertimientos a fin de evitar la alteración sobre las condiciones fisicoquímicas y biológicas de los cuerpos hídricos en Socha.

**PALABRAS CLAVE:** Carbón, drenaje minero, impacto ambiental, medidas de manejo

#### ABSTRACT

**Introduction:** In recent years, mining has represented one of the most important factors for economic growth in Colombia, it has formed itself as one of the three mining locomotives of development in the country, due to the extraordinary mineral wealth present in the national territory. This economic activity generates impacts on natural resources and human health, on the biotic and abiotic components of the ecosystem, positioning the water resource as one of the most affected by the alteration in its physicochemical and biological conditions, impacting water sources. **Methodology:** This project carried out an environmental diagnosis of the production process associated with mining drainage in coal exploitation in the municipality of Socha (Boyacá), based on a descriptive study of the problem and quantitative data obtained from environmental matrices and Laboratory studies. **Results:** Among the main problems was the loss of vegetation cover in the area, activation of erosive processes and impact on the physicochemical properties of the water. **Discussion and Conclusions:** The acid mining drainage analyzed has unsuitable characteristics according to what is defined in Colombian environmental regulations, for which it is necessary to implement treatment systems for these discharges in order to avoid altering the physicochemical and biological conditions of water bodies in Socha.

**KEYWORDS:** Coal, environmental impact, management measures, mining drainage.

[CV] [ ORCID] Gestora en investigaciones de la facultad de ingenierías. Fundación Universitaria Navarra, UNINAVARRA (Colombia). pa.vergara@uninavarra.edu.co Tr. 17 b N° 32 a 08, Tunja (Boyacá)  
<https://orcid.org/0000-0002-3071-777X> índice h 2

Artículo traducido por Paulina Vergara (Gestora de investigaciones, Fundación Universitaria Navarra)

## 1. INTRODUCCIÓN

La actividad minera, como la mayor parte de las actividades que el hombre realiza para su subsistencia, crea alteraciones en el medio natural, desde las más imperceptibles hasta las que representan claros impactos sobre el medio en que se desarrollan. La minería una de las actividades más antiguas de la humanidad, consiste en la obtención selectiva de minerales a partir de la corteza terrestre (Oyarzun et al., 2011).

Colombia cuenta con una geología que facilita la producción y el desarrollo de la minería, disponiendo de una variada oferta de productos mineros, de gran escala como lo son el carbón y el níquel, y de menor escala como el oro, el platino, las esmeraldas, la caliza, la sal, la roca fosfórica, las arcillas, las arenas silíceas, los minerales de cobre y manganeso, la magnesita, la barita, el yeso y varios tipos de rocas ornamentales (Ministerio de Minas y Energía, 2003).

Sin embargo, es necesario prestar especial atención a la dimensión ambiental de la extracción minera, tener claridad sobre las acciones y mejores prácticas utilizadas por las empresas mineras, especialmente las de gran escala, lo cual permite entablar un diálogo con las comunidades y la sociedad sobre los riesgos de la extracción minera (FEDESARROLLO, 2012).

Aun cuando los impactos ambientales de la minería varían según el tipo de mineral y de mina, se trata de una actividad intrínsecamente insustentable, pues implica la explotación de un recurso no renovable mediante procedimientos destructivos o contaminantes, como la trituración, la molienda, el lavado, clasificación de los minerales, la refinación y la fundición. En la actualidad resulta doblemente destructiva por su gran escala y por la tecnología que ha acrecentado su capacidad productiva (Carrere, 2004).

Según, Wathern (1988), un impacto ambiental es el resultado de un cambio en un parámetro ambiental, que se produce durante un período especificado y dentro de un área definida, como resultado de una actividad en particular, en comparación con la situación que se habría producido si la actividad no se hubiera iniciado.

Cambios en los mercados internacionales del carbón han hecho que la extracción y transformación del mineral se multipliquen, que nuevos frentes de exploración y explotación surjan continuamente y que exista creciente interés asignación/adquisición de títulos mineros y por adelantar trámites de ambiental (Unidad Administrativa Especial de Gestión de Tierras Despojadas y ANM, 2015).

La actividad minera representa una fuente de empleo y riqueza para empresas nacionales e internacionales, pero a la vez constituye una gran amenaza para los ecosistemas estratégicos como el de páramo, un área que cada día gana mayor importancia regional como fuente de agua y vida para la población (Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2008).

La resolución 631 de 2015 establece los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y los cuerpos de alcantarillado. Esta busca reducir y controlar las sustancias contaminantes que llegan a los ríos, embalses, lagunas, cuerpos de agua naturales o artificiales de agua dulce, y al sistema de alcantarillado público, para de esta forma, aportar al mejoramiento de la calidad del agua y trabajar en la recuperación ambiental de las arterias fluviales del país.

Los drenajes ácidos de minas (DAM), son el contaminante ácido y ferruginoso más impactante sobre los efluentes naturales de agua, es por ello que se caracteriza por ser el principal problema ambiental que tiene que enfrentar la minería mundial, debido a la naturaleza del contaminante, su extensión y dificultad de resolución (Pantoja, 2012). El Ministerio de Minas y Energía (2003), define las aguas residuales derivadas de fuentes o procesos industriales como cualquier elemento, sustancia o compuesto en estado líquido proveniente de cualquier actividad que pueda afectar al recurso agua, al suelo o al subsuelo en condiciones naturales. Llamadas también residuos industriales líquidos.

El drenaje de aguas de mina es un lixiviado producido por los estériles acumulados durante la extracción que provoca una alteración de las condiciones físico-químicas del agua. Los drenajes pueden clasificarse en función del pH (Lottermosser, 2007, basado en la clasificación de Morin y Hutt, 1997): Extremadamente ácida ( $\text{pH} < 1$ ). Ejemplos extremos de acidez generados por reacciones de oxidación de sulfuros e hidrólisis. Las rocas están muy enriquecidas en pirita y los materiales amortiguadores de la acidez agotados. Ácida ( $\text{pH} < 5.5$ ). Acidez generada por la oxidación de sulfuros ricos en hierro, comúnmente encontrados en metales básicos, oro y minas de carbón.

La oxidación de la pirita y de otros sulfuros es la fuente principal de hidrogeniones en las aguas de mina. Sin embargo, esta oxidación, además de promover la mencionada acidez, libera metales y sulfatos al agua acelerando el lixiviado de otros elementos. Como consecuencia, este drenaje ácido se asocia con la liberación de sulfato, metales pesados (Fe, Cu, Pb, Zn, Cd, Co, Cr, Ni, Hg), metaloides (As, Sb) y otros elementos (Al, Mn, Si, Ca, Na, K, Mg, Ba). Concretamente, cabe destacar las altas concentraciones de sulfatos ( $> 1000 \text{ mg/l}$ ) y de Fe y Al ( $> 100 \text{ mg/l}$ ), y en menor proporción de Cu, Cr, Ni, Pb y Zn ( $> 10 \text{ mg/l}$ ) (Lottermosser, 2007).

De los distintos tipos de drenajes existentes, el drenaje ácido es el más común. El lixiviado producido es responsable de una disminución del pH y de un incremento en la concentración y contaminación de metales pesados como Fe, Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Hg y As. El drenaje ocurre cuando los sulfuros metálicos (especialmente pirita,  $\text{Fe}_2\text{S}$ ) quedan expuestos a las condiciones físico-químicas existentes en la superficie terrestre, es decir, al aguay al oxígeno atmosférico, dando lugar a una serie de reacciones que generan este drenaje (Paktunc, 1999).

Por tanto, la pirita permanecerá en estado reducido mientras no exista una perturbación que modifique la condición anaeróbica en la que se encuentra en el sustrato (Gray, 1997). Mientras que, si los sulfuros son expuestos en superficie, entonces, son oxidados produciendo un agua ácida cargada de sulfatos, metales pesados y metaloides (Lottermosser, 2007).

Según el último censo minero de las 14.357 unidades de producción minera (UPM) censadas en Colombia, el 18% están ubicadas en Boyacá, siendo el departamento con más UPM en el país (Ministerio de Minas y Energías, 2012). Sin embargo, la operación de la actividad minera carece de estrategias de planificación que permitan el desarrollo sostenible de la misma. Por otro lado, los bajos índices de formalidad para el desarrollo de proyectos disminuyen el potencial de aprovechamiento y valorización de los minerales con los que cuenta el departamento (Suarez, 2018).

La actividad minera produce impactos significativos en el ambiente, uno de los recursos afectados directamente es el hídrico por la contaminación a la cual es expuesto en razón a la inexistencia de un tratamiento efectivo de aguas residuales mineras. En la quebrada el Tirque, el río Sopaga, el río Gachaneca y la quebrada el Salvio que corresponden la cuenca del río Chicamocha en Boyacá se registró elevadas concentraciones de plomo, hierro y, en algunos casos, mercurio y aluminio por encima de los límites permisibles en zonas con influencia de actividades minera (Agudelo et al., 2016).

Las aguas provenientes de la actividad minera son una de las mayores fuentes de contaminación y deterioro de la calidad de estas, por esto se hace importante realizar un análisis de las fuentes hídricas que reciben aguas residuales minerales, estos análisis traerán un beneficio en la parte ambiental, ya que se preverán impactos generados por los metales pesados y otros compuestos presentes en ella, y a su vez determinar la mejor opción de tratamiento para estas aguas teniendo en cuenta que éstas fuentes son abastecedoras del recurso hídrico para las poblaciones.

Las evaluaciones ambientales buscan minimizar los impactos que se generan sobre el medio ambiente y los recursos naturales, con el fin de identificar estrategias como el tratamiento de aguas residuales mineras, a fin de evitar la alteración sobre las propiedades fisicoquímicas del agua, ya que los efluentes mineros son vertidos sobre cuerpos de agua. Razón por la cual, es necesario crear condiciones paisajísticas a través del establecimiento de especies nativas con el propósito de recuperar la cobertura vegetal, brindar hábitat a diferentes especies, y ofrecer un espacio ambientalmente apropiado.

En el departamento de Boyacá, se han generado problemas ambientales relacionados con la contaminación de fuentes hídricas, por lo cual este proyecto estuvo orientado al diagnóstico del proceso productivo y drenaje minero de carbón en una mina del municipio de Socha, partiendo de la identificación de impactos ambientales y posterior caracterización fisicoquímica del drenaje ácido para así poder plantear alternativas de solución, a fin de cumplir la normativa actual y buscar el desarrollo de un proyecto minero ambiental sostenible, que logre la preservación y conservación del medio ambiente.

## 2. METODOLOGÍA

**Material y métodos** El estudio fue realizado en el municipio de Socha, vereda el Mortiño, en una explotación amparada dentro de un contrato de concesión minera y con aprobación de un plan de manejo ambiental.

El enfoque del estudio fue de tipo descriptivo, con datos de tipo cuantitativo. Con el estudio descriptivo se busca conocer las situaciones, características o distribución de un fenómeno en una población en un momento de corte en el tiempo, el caso de estudios que describen la presencia de un determinado factor ambiental (Veiga et al., 2008).

El instrumento técnico utilizado se basó en listas de chequeo y matrices de identificación de impactos ambientales, empleando técnicas de valoración cualitativa (García, 2015), se valora de forma subjetiva, aunque el resultado obtenido sea numérico, una serie de cualidades de los impactos de cada una de las alternativas, asignando valores prefijados según esa cualidad sea alta, media baja, además se empleó técnica de observación directa con el fin de visualizar directamente área de estudio.

**Proceso de caracterización del proyecto minero:**

**Fase I:** Revisión de información en las oficinas de la autoridad ambiental competente Corpoboyacá y la Agencia Nacional Minera, para identificar las características del proyecto minero desde el punto de vista ambiental y minero.

**Fase II:** Visita de campo a fin de evidenciar el proyecto, aplicación de instrumentos de identificación de impactos ambientales.

El instrumento técnico a utilizar para la identificación y evaluación de impactos, se basó en listas de chequeo y matrices de evaluación de impactos ambientales, empleando técnicas de valoración cualitativa y cuantitativa (Conesa, 2010), de igual forma por medio de la observación directa se analizó el área de estudio.

De acuerdo a Toro (2009), en el proceso de construcción de una propuesta metodológica genérica para estudios de impacto ambiental en Colombia incorporó los índices de importancia de la actividad y de importancia de la vulnerabilidad ambiental, permitiendo valorar el impacto ambiental total que puede producir un proyecto en el contexto colombiano. De esta manera, se logra aumentar el nivel de objetividad en el momento de evaluar el impacto que una determinada acción puede causar sobre un determinado factor.

1. Identificación de impactos significativos en una matriz de doble entrada tipo Leopold con las acciones y factores ambientales.

2. Determinación del nivel de significancia del impacto, calificando de manera cualitativa la magnitud y la importancia. **Fase III:** Toma y análisis de muestras de aguas con afectación de vertimiento minero: los análisis fisicoquímicos de las aguas residuales mineras, se llevaron a cabo en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), en el cual se analizaron (pH, color, turbiedad, conductividad, dureza total y hierro total), para lo cual se tomaron 10L de agua residual minera. Además, se toman muestras para ser analizadas por el laboratorio Analizar Laboratorio Físicoquímico Ltda. certificado por el IDEAM, en el cual se analizaron (pH, conductividad, sólidos suspendidos totales, hierro total, sulfatos, DBO5, DQO y grasas y aceites), donde analizo la muestra antes y después del tratamiento minero de tanques, con el fin de identificar la efectividad del este tratamiento.

**Fase IV:** Interpretación de resultados y planteamiento de recomendaciones. En este proceso, se generaron apreciaciones críticas de la experiencia de trabajo y se proponen acciones constructivas al respecto.

### 3. RESULTADOS

A través de las actividades humanas se consume y contamina el agua; con el aumento de la población mundial, se espera que estas actividades se intensifiquen y que la demanda por agua continúe aumentando en las próximas décadas (Rosegrant y Rigler, 2000).

Colombia es uno de los 10 países con mayor disponibilidad de recurso hídrico en el mundo (World Wide Fund for Nature, 2012), sin embargo, el aumento de las actividades económicas y de la población lo ponen en riesgo, especialmente en ciertas regiones áridas y semiáridas, en las cuales se vienen presentando problemas, como la contaminación de aguas superficiales, la disminución en los caudales y el deterioro de las aguas subterráneas (Ministerio de Medio Ambiente e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2010).

La pérdida de la cobertura vegetal, contaminación de suelos, subsidencias y activación de procesos erosivos constituyen impactos identificados en el proyecto minero del municipio de Socha (Tabla 1). Los residuos peligrosos como grasas, solventes y aceites deben ser manejados con especial cuidado para evitar el contacto con fuentes hídricas subterráneas.

Tabla 1. Identificación de impactos ambientales situación actual

| Actividad                                                     | Efecto                                                                                                                    | Impacto                                                                    | Registro fotográfico                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mantenimiento de la maquinaria en el área minería             | Alteración visual del paisaje                                                                                             | Disminución de flora y fauna del lugar                                     | <br>Figura 1. Residuos peligrosos   |
| Generación de residuos (plantas, grasas y aceites, repuestos) | Contaminación suelo                                                                                                       | Pérdida de condiciones de cobertura del lugar                              |                                                                                                                        |
| Extracción del mineral                                        | Inestabilidad del subsuelo<br>Alteraciones geomorfológicas                                                                | Activación de procesos erosivos en superficie<br>Presencia de subsidencias | <br>Figura 2. Residuos de estériles |
| Disposición de estériles                                      | Pérdida de cobertura vegetal y de hábitats terrestres<br>Cambio de las condiciones físico químicas y biológicas del suelo | Desplazamiento de especies faunísticas<br>Pérdida de fertilidad            |                                                                                                                        |

Fuente: Completamente generada por el autor, 2020.

Para la lubricación del malacate se está utilizando aceite quemado, el cual salpica por fuera de la caseta de aislamiento, generando así la disposición inadecuada de un residuo peligroso que produce pérdida de la cobertura vegetal y de fertilidad del suelo. Además, al realizar disposición de estériles generados de la explotación minera, se están ocasionando cambio en las condiciones fisicoquímicas y biológicas.

Con los resultados obtenidos de las matrices de identificación se ponderan los principales impactos encontrados (Tabla 2) y se plantean medidas de manejo ambiental tendientes a prevenir, controlar, mitigar, corregir y/o compensar los impactos ambientales que se generan en las diferentes etapas del proyecto minero (Cely, 2013).

Tabla 2. Matriz de evaluación de impactos ambientales

| Actividad                                                  | Efecto                                                                                                                                  | Impacto                                                                                                                                                                                                  | Registro fotográfico                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Transporte de mineral desde el socavón hacia la superficie | Derriame de grasas y/o aceites<br>Contaminación del suelo por residuos peligrosos<br>Contaminación en el aire<br>Contaminación auditiva | Pérdida de cobertura vegetal<br>Pérdida de fertilidad del suelo<br>Emisión de gases de efecto invernadero de combustión<br>Incremento en decibeles por uso de maquinaria                                 | <br>Figura 3. Aceites del malacate     |
| Vertimientos mineros                                       | Alteración en la calidad de agua de la quebrada el Tirque<br>Contaminación del suelo                                                    | Disminución de oxígeno disuelto en la quebrada<br>Alteración de las propiedades fisicoquímicas del agua<br>Cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo<br>Disminución de la fertilidad del suelo | <br>Figura 4. Tanques de tratamiento  |
| Mantenimiento y limpieza de la mina                        | Alteración visual del paisaje<br>Contaminación del suelo                                                                                | Pérdida de fertilidad del suelo<br>Pérdida de condiciones de cobertura del lugar                                                                                                                         | <br>Figura 5. Residuos de hojas secas |

Fuente: Completamente generada por el autor, 2020.

|                  | FACTOR AMBIENTAL         | IMPACTO AMBIENTAL                                               | Vertimientos mineros |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |             |         |                |                  |
|------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|---------|----------------|------------------|
|                  |                          |                                                                 | I<br>n               | E<br>X | M<br>O | P<br>E | V<br>R | S<br>I | A<br>C | E<br>F | P<br>R | R<br>B | P<br>O | I<br>A<br>P | V<br>ul | Imp<br>P<br>ro | Imp<br>To<br>tal |
| <b>GEOFORMAS</b> | Geomorfología            | Activación de procesos erosivos en su superficie                | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.3    | 20          | 20      | 3.9            | 13.6             |
|                  |                          | Presencia de subsidencias                                       | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.3    | 20          | 20      | 3.9            | 13.6             |
| <b>PAISAJE</b>   | Visibilidad              | Alteración de calidad visual del paisaje                        | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.3    | 20          | 20      | 3.9            | 13.6             |
|                  | Estructura               | Cambio en el relieve                                            | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.3    | 20          | 20      | 3.9            | 13.6             |
|                  | Fisionomía               | Cambio composición floral vegetal original                      | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.3    | 20          | 20      | 3.9            | 13.6             |
| <b>SUELO</b>     | Uso                      | Conflicto de uso del suelo                                      | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.3    | 20          | 20      | 3.9            | 13.6             |
|                  | Fertilidad               | Cambios en las propiedades físico-químicas del suelo            | 4                    | 2      | 2      | 2      | 2      | 2      | 4      | 4      | 2      | 4      | 0.5    | 40          | 40      | 19.0           | 31.6             |
|                  |                          | Disminución de la fertilidad del suelo                          | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.3    | 20          | 20      | 3.9            | 13.6             |
| <b>AGUA</b>      | Caudales                 | Alteración en lo volúmenes de caudal                            | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.3    | 20          | 20      | 3.9            | 13.6             |
|                  | Aguas superficiales      | Disminución de oxígeno disuelto en la quebrada                  | 4                    | 2      | 2      | 2      | 2      | 2      | 4      | 4      | 4      | 4      | 0.5    | 80          | 80      | 20.0           | 56.0             |
|                  | Aguas subterráneas       | Alteración de las propiedades físico-químicas del agua          | 4                    | 2      | 2      | 2      | 2      | 2      | 4      | 4      | 4      | 1      | 0.5    | 80          | 80      | 18.5           | 55.4             |
|                  | Patrones de drenaje      | Alteraciones dinámicas de aguas subterráneas                    | 4                    | 2      | 2      | 2      | 2      | 2      | 4      | 4      | 4      | 4      | 0.5    | 80          | 80      | 20.0           | 56.0             |
| <b>ATMÓSFERA</b> | Calidad del aire         | Emisión de gases de efecto invernadero                          | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0      | 20          | 20      | 0.0            | 12.0             |
|                  | Ruido                    | Incremento de decibeles por uso de maquinaria                   | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0      | 20          | 20      | 0.0            | 12.0             |
| <b>FLORA</b>     | Coberturas vegetales     | Pérdida de condiciones de cobertura del lugar                   | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.3    | 40          | 40      | 3.9            | 25.6             |
|                  | Composición vegetal      | Disminución de flora                                            | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.3    | 20          | 20      | 3.9            | 13.6             |
|                  | Diversidad vegetal       | Perdida de especies vegetales                                   | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.3    | 20          | 20      | 3.9            | 13.6             |
| <b>FAUNA</b>     | Diversidad fauna         | Disminución de fauna                                            | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.3    | 20          | 20      | 3.9            | 13.6             |
|                  | Cadenas alimenticias     | Desplazamiento de especies faunísticas                          | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.3    | 40          | 40      | 3.9            | 25.6             |
|                  | Hábitat                  | Modificación de hábitats                                        | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.3    | 20          | 20      | 3.9            | 13.6             |
|                  | Población                | Desplazamiento de especies faunísticas                          | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.3    | 40          | 40      | 3.9            | 13.6             |
|                  | Hidrofauna               | Alteración de los hábitats acuáticos                            | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.1    | 40          | 40      | 1.3            | 24.5             |
| <b>COMUNIDAD</b> | Población                | Arribo de población flotante                                    | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.1    | 20          | 20      | 1.3            | 12.5             |
|                  | Ocupación del territorio | Alteración de los espacios naturales                            | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.1    | 20          | 20      | 1.3            | 12.5             |
|                  | Bienestar social         | Cambio en las prácticas culturales                              | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.1    | 20          | 20      | 1.3            | 12.5             |
| <b>CULTURA</b>   | Uso y manejo del entorno | Cambio en las condiciones naturales del entorno                 | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.1    | 20          | 20      | 1.3            | 12.5             |
| <b>ECONOMÍA</b>  | Sistemas productivas     | Activación económica en la zona                                 | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.1    | 20          | 20      | 1.3            | 12.5             |
|                  | Sistema extractivos      | Incremento de tráfico y deterioro del bienestar de la población | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.1    | 20          | 20      | 1.3            | 12.5             |
|                  | Empleo                   | Generación de empleo                                            | 1                    | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0.1    | 20          | 20      | 1.3            | 12.5             |

Fuente: Completamente generada por el autor, 2020.

**Tabla 3. Rangos de calificación de los impactos ambientales en la metodología cualitativa**

|  |             |         |
|--|-------------|---------|
|  | Irrelevante | 0<1<25  |
|  | Moderado    | 25<1<50 |
|  | Severo      | 50<175  |
|  | Crítico     | 1<75    |

Fuente: Adaptado de Autor a partir de la referencia, Año de publicación

Los impactos clasificados como severo, están relacionados con el recurso hídrico, disminución de oxígeno disuelto en la quebrada, alteración de las propiedades fisicoquímicas del agua y alteraciones dinámicas de aguas subterráneas. La minería junto a ríos es algo catastrófico para el acuífero, ya que destruye la comunicación hidráulica del sistema río-acuífero-río, al desaparecer las aguas confinadas en la zona donde se desarrolla la explotación (Contraloría General de la República, 2014).

Análisis de laboratorio: Se realizaron análisis de las características fisicoquímicas del efluente minero, los resultados obtenidos se contrastaron con los valores máximos permisibles presentados en la Resolución 2115 de 2007, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano y Resolución 631 de 2015, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

En la Tabla 4 Resultados aguas residuales mineras analizadas en el laboratorio de la escuela de Ingeniería Ambiental de la UPTC (Tabla 4).

**Tabla 4. Características fisicoquímicas agua residual minera**

| Parámetro     | Valores permisibles (Resolución 2115 de 2007) | Muestra | Expresadas como        | Método                                   |
|---------------|-----------------------------------------------|---------|------------------------|------------------------------------------|
| pH            | 6.5 a 9.0                                     | 6.86    | Unidades               | SM 4500-H-B                              |
| Conductividad | 1000                                          | 2730    | (μS/cm)                | 2510 B. Laboratory Method                |
| Hierro        | 0.3                                           | 80      | mg/L Fe                | Espectrofotométrico phenantrolinaEPA W.N |
| Dureza total  | 300                                           | 390     | mg/L CaCO <sub>3</sub> | SM 2340 C.EDTA Método titulométrico      |

(Fuente: Completamente generada por el autor, 2020.)

El valor del potencial de hidrogeno pH, se encuentra dentro del rango establecido por la norma, sin embargo, la conductividad con 1730 μS/cm, el contenido de hierro 79.7 mg/L y dureza total 90 mg/L CaCO<sub>3</sub> se encuentran por fuera del rango permitido en la norma.

Se realizó la prueba de jarras a fin de determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el tratamiento de las aguas residuales mineras, este método permite establecer alternativas químicas relacionadas con las dosis de floculante a emplear.

Para realizar el montaje se empleó el policloruro de aluminio como floculante y la cal para ajustar el pH. La dilución del policloruro de aluminio, se preparó con 10 gr de esté diluidos en agua destilada en un balón volumétrico de 100 ml hasta aforar y cal al 1% de concentración A cada jarra se le agregó 1L de muestra de agua residual sin tratar. Los valores de pH obtenidos en cada una de las jarras se ajustan al rango establecido de (6.5 a 9.0) (Tabla 5).

**Tabla 5. Prueba de jarras**

| Prueba jarras | (ml Cal) | (ml dilución policloruro de Al) | pH   |
|---------------|----------|---------------------------------|------|
| 1             | 2        | 30                              | 6.58 |
| 2             | 3        | 40                              | 6.60 |
| 3             | 3        | 50                              | 6.59 |
| 4             | 3        | 60                              | 6.55 |
| 5             | 3        | 70                              | 6.46 |
| 6             | 3        | 80                              | 6.45 |

Fuente: Completamente generada por el autor, 2020.

Para tratar el agua residual minera generada en el proyecto minero, las dosis de la jarra 6: 3ml Cal y 80 ml de policloruro de Al, constituyen una guía ya que los valores en color fueron de 10.685 UPC, resultado inferior al máximo aceptable establecido por la norma (15 UPC) y la turbiedad próxima al valor máximo permisible de 2 UNT (Tabla 5).

**Tabla 6. Resultados de color y turbiedad en cada jarra**

| Característica | Turbiedad | Color               |
|----------------|-----------|---------------------|
| Cruda          | 146       | 151.06              |
| 1              | 11.3      | 11.7                |
| 2              | 11.2      | 11.09               |
| 3              | 8.03      | 10.48               |
| 4              | 7.7       | 15.37               |
| 5              | 9.07      | 12.31               |
| 6              | 2.05      | 10.65               |
| Unidades       | UNT       | UPC                 |
| Valor máximo   | 2         | 15                  |
| Método         | EPA W.N   | Espectrofotométrico |

Fuente: Completamente generada por el autor, 2020.

Para calcular la concentración de cal diluida que se empleó en la jarra 6, despejamos la concentración de solución diluida en la fórmula de concentración  $C1V1=C2V2$ , donde:

V1= volumen de solución cal

C1=concentración solución original cal

V2= volumen de muestra

C2=concentración solución diluida

$C2 = (C1V1) / V2$

$C2 = (10\text{gr/L} \cdot 0.003\text{L}) / 1\text{L}$

$C2 = 0.03\text{gr/L cal}$

Al medir la concentración de hierro en la jarra 6 se obtuvo un valor de 13mg/L Fe, disminución del 83.75%, comparado con el valor obtenido en el vertimiento minero de 80 mg/L Fe, sin embargo, el valor no cumple con lo definido por la norma.

Estudios realizados en la cuenca carbonífera el Bierzo muestran que las zonas cercanas a los focos de contaminación tienen una concentración mayor de metales que el tramo fluvial tomado como control o punto limpio (Herrero, 2014).

A continuación, se presentan los resultados aguas residuales mineras a la salida de la manguera y después del sistema de tratamiento analizadas en el laboratorio Analizar Laboratorio Físicoquímico Ltda. (Tabla 7).

Tabla 7.

| Parámetro                   | Valores permisibles (R. 2115 de 2007 / R. 613 de 2015*) | Efluente minero | Después del sistema de tratamiento | Expresadas como             | Método                        |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| pH                          | 6.5 a 9.0                                               | 6.65            | 7.5                                | Unidades                    | SM 4500-H+B                   |
| Conductividad               | 1000                                                    | 2160            | 397                                | ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | SM 2510 B                     |
| Hierro total                | 0.3                                                     | 13.7            | 0.2                                | mg/L Fe                     | SM 3500-Fe                    |
| Sólidos suspendidos totales | 50*                                                     | 79              | 9.24                               | SST mg/L                    | SM 2540 D                     |
| Sulfatos                    | 250                                                     | 1166            | 152.83                             | mg/L $\text{SO}_4^{-2}$     | SM 4500- $\text{SO}_4^{-2}$ E |
| DBO <sub>5</sub>            | 50*                                                     | 4               | 2                                  | mg/L $\text{O}_2$           | SM 5210 B                     |
| DQO total                   | 150*                                                    | 23              | 11.89                              | mg/L $\text{O}_2$           | SM 5220 D                     |
| Grasas y aceites            | 10*                                                     | 5.27            | 5.27                               | mg/L AyG                    | mg/L AyG                      |

Fuente: Completamente generada por el autor, 2020

El pH en el vertimiento minero fue de 6.65 Unidades y después del sistema de tratamiento de 7.5 Unidades, aumentando en 0.85 Unidades, que representa un aumento del 12.78%, sin embargo, el valor se encuentra dentro de los rangos establecidos por la norma. Los valores obtenidos para conductividad en el drenaje minero correspondieron a 2160 mS/cm, y después del sistema de tratamiento de 397 mS/cm, se disminuyó 1763 mS/cm, lo cual representa una remoción del 81.62%, cumple con lo definido por la norma de 1000 mS/cm.

El hierro total a la salida de la manguera fue de 13.7 mg/L Fe y después del sistema de tratamiento de 0.2 mg/L Fe, bajo 13.5 mg/L Fe, que representa una remoción del 98.54%, se encuentra dentro de los valores establecidos por la normatividad. Los sólidos suspendidos totales a la salida de la manguera fueron de 79 SST mg/L y después del sistema de tratamiento de 29 SST mg/L, bajaron 50 SST mg/L, que representa una remoción del 63.29%, se encuentra dentro del valor máximo permisible definido.

Los sulfatos a la salida de la manguera fueron de 1166 mg/L  $\text{SO}_4^{-2}$  y después del sistema de tratamiento de 152.83 mg/L  $\text{SO}_4^{-2}$ , disminuyeron 1013.17 mg/L  $\text{SO}_4^{-2}$ , que representa una remoción del 86.89%, se encuentran dentro del valor máximo definido. La DBO<sub>5</sub> del efluente minero fue de 4 mg/LO<sub>2</sub> y posterior al sistema de tratamiento 2 mg/LO<sub>2</sub>, bajo 2 mg/LO<sub>2</sub>, que representa una remoción del 50%, cumple con el valor máximo permisible definido.

La DQO a la salida de la manguera fue de 23 mg/LO<sub>2</sub> y después del sistema de tratamiento de 11.89 mg/LO<sub>2</sub>, bajo 11.11 mg/LO<sub>2</sub>, que representa una remoción del 48.30%, cumple con lo definido por la norma. Para el ensayo de grasas y aceites, el agua de drenaje minero presente en los 2 puntos de muestreo resultados <5.27, cumplen con el valor máximo permisible definido por la norma.

El drenaje ácido del proyecto minero muestra valores por fuera de los límites permisibles con respecto a la norma frente a conductividad, hierro total y sólidos suspendidos totales, razón por la cual se hace necesario complementar el sistema de tanques con un tratamiento físicoquímico, con el fin de no alterar las características de los cuerpos de agua próximos a la mina.

La explotación de minerales frecuentemente origina reacciones químicas. Los que entran en contacto con el agua como la piritita y otros minerales inestables de azufre presentes en los estériles de los yacimientos, generando un proceso acelerado de oxidación, que da como resultado final la acidificación del agua (Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medio Ambiente, 2015). De acuerdo al estudio realizado por Agudelo et al., (2015), en la quebrada el Tirque del municipio de Socha se encontraron niveles elevados de aluminio.

Es de vital importancia atender las afectaciones ambientales que genera la minería de carbón, debido a que muchas de estas pueden ser de carácter irreversible para el medio ambiente, dado que no se le está dando el tiempo necesario a los ecosistemas para recuperarse y volver a su estado inicial, generando que los entes territoriales deban invertir en la recuperación de estos ecosistemas (Leguizamón y Ruiz, 2019).

Los resultados obtenidos en la matriz de identificación de impactos y evaluación de impactos sirven para la realización del manejo ambiental de la mina, cuya ejecución se realiza a través de las fichas que se definen a continuación (Tabla 8), los proyectos mineros adaptarán y precisarán las fichas que considere pertinentes de acuerdo al proceso de gestión ambiental y que consideren mejor implementar.

Tabla 8. Programas de manejo ambiental planteados.

| Programa                                                                                | Nombre del subprograma                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Programa de manejo de suelos                                                            | Subprograma Gestión de Residuos Industriales                                            |
| Programa de manejo del mineral y estériles                                              | Subprograma Manejo de la estabilidad del suelo                                          |
| Programa de manejo de residuos industriales                                             | Subprograma manejo de aguas residuales mineras                                          |
| Programa de manejo del recurso hídrico                                                  | Subprograma de manejo del mineral                                                       |
| Programa de protección y conservación paisajístico, de especies vegetales y faunísticas | Subprograma de protección y conservación paisajístico, especies vegetales y faunísticas |

Fuente: Completamente generada por el autor, 2020.

Estos programas tienen como objetivo, prevenir y controlar los hundimientos del terreno ocasionados por la apertura de túneles y por el deficiente manejo de aguas superficiales y subterráneas, adoptar las medidas de disposición adecuada del mineral extraído en las actividades de explotación, para la prevención, mitigación y corrección de los impactos ambientales asociados e implementar un manejo adecuado de los residuos industriales que se generan del mantenimiento de la maquinaria en el área minería y demás actividades (llantas, grasas y aceites, repuestos).

Así como, garantizar el adecuado manejo de las aguas que han entrado en contacto con los yacimientos de carbón, patios de acopio y estériles, con el fin de prevenir el deterioro que pueda causar al ambiente y cumplir con los parámetros establecidos por la legislación nacional vigente, así como fomentar una cultura de valorización de los servicios ambientales y de la conservación de las áreas protegidas estableciendo mecanismos de control que promuevan el uso racional de las especies vegetales evitando la afectación y uso de bosques naturales.

Los programas de manejo ambiental contienen las medidas agrupadas por fichas, dirigidas a prevenir, controlar, mitigar, corregir y/o compensar los impactos ambientales que se generan en la etapa de explotación del proyecto minero sobre los componentes socioeconómico, geológico, hídrico, paisaje y biótico del área de estudio del proyecto.

Estas fichas consideran las acciones para desarrollar y la tecnología que se debe utilizar, de acuerdo con las interrelaciones de las actividades con el ambiente. Su estructuración tiene en cuenta aspectos como los requisitos legales, los impactos ambientales y su grado de afectación, así como la vinculación de la comunidad para lograr un adecuado manejo de dichos impactos.

Según, Suarez (2018), el departamento de Boyacá posee una gran riqueza ambiental que está inmersa en un proceso creciente de demanda de recursos naturales. Es el caso de los recursos mineros, que marcan uno de los sectores más importantes en la economía del departamento y el país, aun cuando sus sistemas de explotación y aprovechamiento en la mayoría de los casos, carecen de tecnificación y formalidad.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

de las mayores fuentes de contaminación y deterioro de la calidad de estas, por esto se hace importante realizar un análisis de las fuentes hídricas que reciben aguas residuales minerales, estos análisis traerán un beneficio en la parte ambiental, ya que se preverán impactos generados por los metales pesados y otros compuestos presentes en ella, y a su vez determinar la mejor opción de tratamiento para estas aguas teniendo en cuenta que éstas fuentes son abastecedoras del recurso hídrico para las poblaciones.

Se identificaron impactos ambientales en superficie entre los más notorios se encuentran: pérdida de condiciones de cobertura del lugar, activación de procesos erosivos en superficie y alteración de las propiedades fisicoquímicas del agua entre otras. Se presenta el fenómeno subsidencia o hundimiento del suelo debido a las excavaciones de galerías, túneles, extracciones mineras y extracción de agua subterránea realizadas, lo cual ocasiona una pérdida en el volumen del suelo, afectación de los drenajes y cambios en el curso de las corrientes.

El deterioro del recurso hídrico, representa un problema de gran relevancia en la actualidad, teniendo en cuenta que existen diferentes causas que han originado este problema y que estas en la mayoría de los casos no son identificadas a tiempo para poder realizarles algún control, se deben analizar las características del agua contaminada con el fin de tratarlas de manera adecuada.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, a través de la Vicerrectoría de Investigaciones y Extensión, con el proyecto "Análisis del impacto ambiental ocasionado por proceso productivo y drenaje minero en explotación de carbón" Al Grupo de Investigación Sostenibilidad Ambiental, Biodiversidad y Agroecología - UPTC. Así como a los miembros de la comunidad de Socha.

## REFERENCIAS

- Agudelo, C., Quiroz, L., García, J. C., Robledo, R., y García-Ubaque, C. A. (2016). Evaluación de condiciones ambientales: aire, agua y suelos en áreas de actividad minera en Boyacá, Colombia. *Revista de Salud Pública*, 18, 50-60. 10.15446/rsap.v18n1.55384
- Carrere, R. (2004). Minería, impactos sociales y ambientales, Montevideo, MMBT/Oxfam/UICN Recuperado de: [http://wrm.org.uy/es/files/2013/04/Mineria\\_Impactos\\_sociales\\_y\\_ambientales.pdf](http://wrm.org.uy/es/files/2013/04/Mineria_Impactos_sociales_y_ambientales.pdf)
- Castellanos, A., y Ruíz, J. (2019). Impactos ambientales de la minería de carbón sobre el recurso hídrico en el departamento de Boyacá. *Boletín Semillas Ambientales*, 13(2), 24-35.
- Cely, A. (2013). Formulación del plan de manejo ambiental en la mina cochinillos (Samacá – Boyacá). (Trabajo de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C.
- Conesa, V. (2010). Guía metodológica para la evaluación el impacto ambiental, Bilbao, Ediciones Mundi Prensa.
- Contraloría General de la República. (2014). Minería en Colombia: Daños ecológicos y socio-económicos y consideraciones sobre un modelo minero alternativo. Imprenta Nacional de Colombia: Bogotá D.C.
- FEDESARROLLO. (2012). Impacto socioeconómico de la minería en Colombia. Recuperado de: <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/375>
- García, L. (2015). Metodologías para desarrollar estudios de impacto ambiental. Recuperado de: <http://www.gestiopolis.com/metodologias-para-desarrollar-estudios-de-impacto-ambiental/>
- Gray, N. (1997). Environmental impact and remediation of acid mine drainage: a management problem. *Environmental geology*, 30(1-2), 62-71. <https://doi.org/10.1007/s002540050133>
- Herrero Barrero, T. (2014). Impacto de los drenajes ácidos en los ecosistemas acuáticos producidos por la minería del carbón en El Bierzo: bioacumulación de metales pesados y evolución de las comunidades biológicas. (Tesis doctoral). Universidad de León, España.
- Instituto Alexander von Humboldt. (2008). Estudio sobre el estado actual del macizo del páramo de Rabanal en: Proyecto Páramo Andino.
- Lottermoser, B. (2007). Mine Wastes. Characterization, Treatment, Environmental impacts. Second edition. Springer. 304 p. En: Barrero, H. (2014). Impacto de los drenajes ácidos en los ecosistemas acuáticos producidos por la minería del carbón en el bierzo: bioacumulación de metales pesados y evolución de las comunidades biológicas. Universidad de León.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 631 de 2015. Publicado en el Diario Oficial No 49.486 de 18 de abril de 2015. Colombia.
- Ministerio de Medio Ambiente e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). Estudio nacional del agua. Bogotá D.C., Colombia. Pp. 256.
- Ministerio de Minas y Energía. (2003). Glosario Técnico Minero. Recuperado de: <http://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía. (2012). Censo minero departamental (2010-2011). Bogotá D.C.
- Ministerio de Minas y Energía, y Ministerio del Medio Ambiente. (2015). Guía minero ambiental, explotación. Recuperado de: <http://www.simec.gov.co/Portals/0/Documental/1161.pdf>
- Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Resolución 2115 de 2007. Publicado en el Diario Oficial No 46.679 de 4 de julio de 2007. Colombia.
- Morin, K Hutt, N. (2001). Environmental geochemistry of minesite drainage: Practical theory and case studies, Digital Edition MDAG Publishing, British Columbia.
- Oyarzun, R., Higuera, P., y Lillo, J. (2011). Minería ambiental: una introducción a los impactos y su remediación. Manual. Ediciones GEMM-Aula2punto.net. Recuperado de: <https://eprints.ucm.es/14046/>
- Paktunc, A. (1999). Characterization of mine wastes for prediction of acid mine drainage. In *Environmental impacts of mining activities* (pp. 19-40). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Pantoja, E. (2011). Aplicación de la electrocoagulación y floculación sobre el tratamiento del drenaje ácido de minas de carbón (trabajo de pregrado). Universidad del Valle, Cali.
- Rosegrant, M., y Ringler, C. (2000) Impact on food security and rural development of transferring waterout of agriculture, *Water Policy* 1(6): 567-586. En: Cuantificación y análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica agrícola y pecuaria de la cuenca del río Porce (trabajo de maestría) Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Pp. 13.
- Suárez, S. (2018). Zonificación ambiental para la planificación de la operación minera en el Departamento de Boyacá (trabajo de Maestría). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.
- Toro, J. (2009). Análisis constructivo del proceso de evaluación de impacto ambiental en Colombia. Propuestas de mejora (tesis doctoral). Universidad de Granada, Granada, España.
- Unidad Administrativa Especial de Gestión de Tierras Despojadas y Agencia Nacional de Minería. (2015). Cartilla Minera, Bogotá. D.C.
- Veiga de Cabo, J., De la Fuente, E., y Zimmermann, M. (2008). Modelos de estudios en investigación aplicada: conceptos y criterios para el diseño. *Medicina y seguridad del trabajo*, 54(210), 81-88.
- Wathern, P. (1988). Environmental Impact Assessment. Theory and Practice. (P. Wathern, Ed.). London: Taylor and Francis Group. ¿En qué se diferencia un impacto de un aspecto ambiental? Recuperado de: <http://eia-un.blogspot.com/>
- World Wide Fund for Nature. 2012. Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica Bogotá D.C., Colombia. Pp. 48.

# ANALYSIS OF THE TEMPORARY DYNAMICS OF THE CLIMATE CONDITIONS OF THE LOS NEVADOS NATURAL NATIONAL PARK

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/09/2019 ACEPTADO: 15/03/2020 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/07/2020

<sup>1</sup> David Arrubla Lara

<sup>2</sup> Diego Fernando Hernández Villamil

<sup>3</sup> Luis Miguel Mejía Giraldo

<sup>4</sup> Ximena Cifuentes Wchima

Como citar este artículo: Arrubla et al., (2020) Analysis of the temporary dynamics of the climate conditions of the los nevados natural national park, revista Dynamikos 1 (2). Recuperado de: <https://teinco.edu.co/wp-content/uploads/2021/07/Revista-Dinamicos-No2.pdf>

## ABSTRACT

The present research project revolves around the study of the temporal dynamics of the national park Los Nevados, according to the current regulations that legitimize the study zone (Resolution 0393 of September 14, 2017), Los Nevados National Park is geographically located in the Cordillera Central of Colombia with heights between 2. It is located in the departments of Caldas (municipality of Villamaria), Risaralda (municipalities of Santa Rosa de Cabal and Pereira), Quindio (municipality of Salento) and Tolima (municipalities of Ibagué Anzoátegui, Santa Isabel). Murillo, Villahermosa, Casablanca and Herveo). Los Nevados National Park is a strategic area for the Andean region in the production of eco-systemic services, ecological, environmental importance and rich landscape, cultural or archaeological. This study was carried out based on statistical processes specifically geo-statistics, and GIS tools. Descriptive and inferential statistics were implemented in the statistical processes, and dynamic tables for the classification and ordering of data were implemented in the process of organizing climatological data. At the same time, box-plot diagrams were used. This is a standardized method that serves to graphically represent numerical data by means of quartiles and to represent outliers. The GIS tools made it possible to spatialize climatological information by means of deterministic methods (interpolation) and in this way the precipitation and temperature variables could be vectorially represented on a map. It is fundamental to recognize that the knowledge of the behavior of the climatological variables allows to have a wider vision of how the characteristics of the territory or zone of study are. Because the climate of an established place conditions the ecological relationships, biogeochemical cycles and behaviors of the ecosystems. It is for this reason that the multitemporal analysis allows to determine significant changes through the time and in addition opportune decisions will be able to be taken for the reduction of the problematics that influence in the affectation to the natural national park the snow-capped mountains.

**1 [CV] Ingeniero Geógrafo y Ambiental - Universidad La Gran Colombia, UGCA, Colombia - [arrublalardavid@miugca.edu.co](mailto:arrublalardavid@miugca.edu.co)**

**2 [CV] Ingeniero Geógrafo y Ambiental - Universidad La Gran Colombia, UGCA, Colombia - [hernandezvildiego@miugca.edu.co](mailto:hernandezvildiego@miugca.edu.co)**

**3 [CV] Profesor Facultad de Ingenierías - Universidad La Gran Colombia, UGCA, Colombia - [mejiagluismiguel@miugca.edu.co](mailto:mejiagluismiguel@miugca.edu.co)**

**4 [CV] Decana Facultad de Ingenierías, Líder Grupo de Investigación Gerencia de la Tierra - Universidad la Gran Colombia, UGCA, Colombia – [defingenieria@ugca.edu.co](mailto:defingenieria@ugca.edu.co)**

**Traducción de Diego Fernando Hernandez Villamil (Ingeniero Geógrafo Y Ambiental- UGCA)- David Arrubla Lara Ingeniero Geógrafo Y Ambiental- UGCA)**

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo gira en torno al análisis de las condiciones climáticas de los diferentes nevados (paramillo del Quindío, santa Isabel, nevado del Ruiz y nevado del Tolima). El análisis temporal permite establecer características ambientales de la zona de estudio. Por medio de datos históricos que son suministrados por diferentes entidades nacionales, que manejan información climatológica.

Los datos suministrados permiten establecer modelos de prevención y sistemas de alertas tempranas en la región. Los departamentos de Quindío, Tolima, caldas y Risaralda, cuentan con diferentes formas de relieve, en estas se resaltan los diferentes orógenos (montañas) que sobre pasan los 4500 msnm, estas características biofísicas generan que el departamento contenga diferentes condiciones atmosféricas en los diferentes municipios. La intervención humana ha generado que en la región del eje cafetero se halla modificando estas condiciones atmosféricas, hasta tal punto que se evidencian en cambios biológicos, geográficos, topográficos, entre otros.

Es importante estudiar las condiciones atmosféricas para establecer los cambios significativos en los nevados y así mismo realizar modelamientos a futuro que nos permitan observar los cambios a corto plazo. Estos cambios se verán reflejados en las condiciones climáticas.

El problema del cambio climático ha generado que en el planeta se estén desapareciendo las pequeñas unidades de criosfera que existen en el planeta, los nevados del Tolima y santa Isabel son el ejemplo preciso de este fenómeno, la temperatura en el planeta se incrementa en valores significativos, generando que otras variables relacionadas como humedad, precipitación, radiación solar, se vean involucradas en este fenómeno llamado cambio climático.

## 2. MÉTODO

El presente estudio posee un carácter de enfoque de investigación empírico-analítico, en el cual se utilizaron variables asociadas al clima. Estas son la precipitación y la temperatura, generan características en la zona bajo estudio y condicionan las relaciones de la variabilidad climática como por ejemplo los fenómenos atmosféricos, biodiversidad, servicios eco-sistémicos entre otros. El análisis de las condiciones desde los años 1985 hasta 2015 de la zona de estudio.

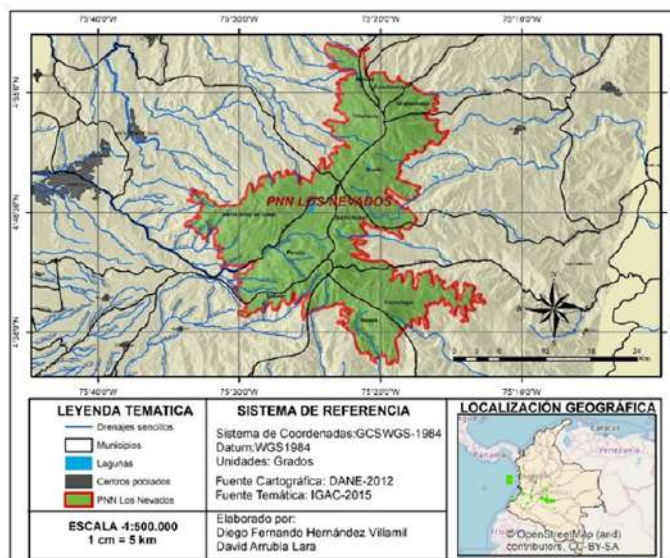
### 2.1 Estrategias metodológicas

El método de investigación a utilizar en el presente trabajo de grado es de carácter experimental, con base en el comportamiento de las variables bajo estudio, pueden tener diversos comportamientos como aumento, disminución o estabilización de las mismas, para los años 1985 hasta 2015 de la zona de estudio.

### 2.2 Población y muestra

**Area de estudio:** El parque nacional natural los nevados se encuentra localizado en las coordenadas latitud  $4^{\circ} 48' 0''$  N y longitud  $75^{\circ} 22' 0''$  W, sobre la cordillera central de la región andina de Colombia. Esta zona de estudio limita con cuatro departamentos al norte con Caldas, al sur con Tolima y Quindio, al occidente con Risaralda y al oriente con Tolima. El parque alberga diversos ecosistemas estratégicos como bosques andinos, paramos y nevados, y cuencas hidrográficas, de la cuales se pueden nombrar la cuenca del río Quindio, cuenca del río Otun, cuenca del río Totarito, cuenca del río Combeima entre otras que se encuentran ubicadas allí (ilustración 1).

**Ilustración 1. Mapa área de estudio Parque Nacional Natural Los Nevados y sus límites territoriales.**

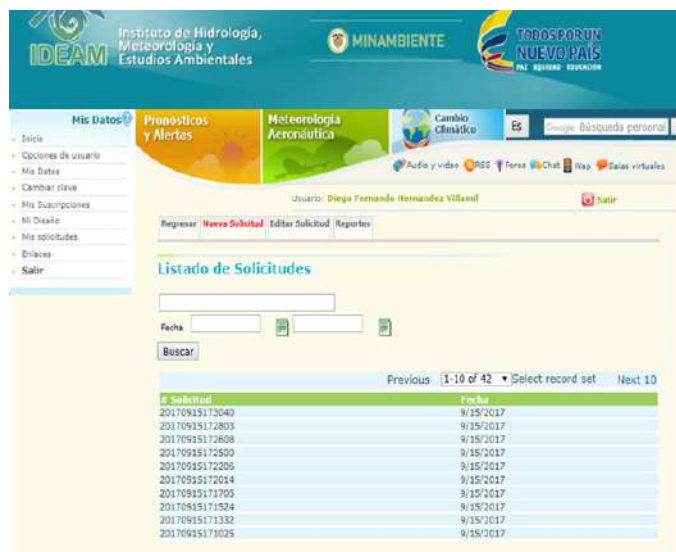


**Fuente: los autores (2018). Datos: elaborado a partir de imagen satelital ALOS PALSAR-2010; DANE 2012, IGAC 2015**

La fuente primaria de información son los datos climatológicos suministrados por el IDEAM y las fuentes secundarias son los documentos técnicos como fundamentos de climatología de la universidad de la rioja del año 2012, Glaciares de Colombia, más que montañas con hielo del IDEAM 2012, Glaciares de Colombia del IDEAM 2012 y algunas publicaciones del sistema de áreas protegidas de Colombia, brindo información normativa y temática de los parques nacionales.

Instrumentos de recogida de información se solicita la información del IDEAM en las bases de datos que posee la entidad, en la cual se encuentra en una plataforma libre pero que requiere un previo registro. La plataforma es la siguiente.

**Ilustración 2. Listado de Solicitud de Información de las estaciones del IDEAM**



**Fuente: IDEAM, 2018**

Una vez obtenidos los datos, se procede a organizar los datos climatológicos de la siguiente forma:

- Código de la estación
- Coordenadas longitud y latitud
- Tipo de estación (Climatológica principal, Climatológica ordinaria, Pluviométrica, Pluviográfica)
- Nombre de la estación
- Municipio al que pertenece la estación
- Departamento al que pertenece la estación
- Año de la toma de registro del dato
- Mes de la toma de registro del dato
- Variable que mide la estación (Temperatura y precipitación)

Nota: se recibieron 12 estaciones distribuidas alrededor del Parque Nacional Natural Los Nevados

Ilustración 3. Clasificación de las estaciones organizadas

|    | A               | B        | C        | D             | E       | F         | G            | H               | I   | J             |
|----|-----------------|----------|----------|---------------|---------|-----------|--------------|-----------------|-----|---------------|
| 1  | Código_estacion | X        | Y        | Tipo_Estacion | Nombre  | Municipio | Departamento | AÑO             | MES | PRECIPITACION |
| 2  | 21250110        | -75.1733 | 4.870556 | Pluviométrica | Murillo | Murillo   | Tolima       | 1981 ENERO      | 57  |               |
| 3  |                 |          |          |               |         |           |              | 1981 FEBRERO    | 94  |               |
| 4  |                 |          |          |               |         |           |              | 1981 MARZO      | 94  |               |
| 5  |                 |          |          |               |         |           |              | 1981 ABRIL      | 276 |               |
| 6  |                 |          |          |               |         |           |              | 1981 MAYO       | 374 |               |
| 7  |                 |          |          |               |         |           |              | 1981 JUNIO      | 299 |               |
| 8  |                 |          |          |               |         |           |              | 1981 JULIO      | 100 |               |
| 9  |                 |          |          |               |         |           |              | 1981 AGOSTO     | 143 |               |
| 10 |                 |          |          |               |         |           |              | 1981 SEPTIEMBRE | 150 |               |
| 11 |                 |          |          |               |         |           |              | 1981 OCTUBRE    | 163 |               |
| 12 |                 |          |          |               |         |           |              | 1981 NOVIEMBRE  | 186 |               |
| 13 |                 |          |          |               |         |           |              | 1981 DICIEMBRE  | 50  |               |
| 14 |                 |          |          |               |         |           |              | VR_ANUA 1986    |     |               |
| 15 |                 |          |          |               |         |           |              | 1982 ENERO      | 113 |               |
| 16 |                 |          |          |               |         |           |              | 1982 FEBRERO    | 132 |               |
| 17 |                 |          |          |               |         |           |              | 1982 MARZO      | 104 |               |
| 18 |                 |          |          |               |         |           |              | 1982 ABRIL      | 325 |               |
| 19 |                 |          |          |               |         |           |              | 1982 MAYO       | 222 |               |
| 20 |                 |          |          |               |         |           |              | 1982 JUNIO      | 30  |               |
| 21 |                 |          |          |               |         |           |              | 1982 JULIO      | 47  |               |
| 22 |                 |          |          |               |         |           |              | 1982 AGOSTO     | 11  |               |
| 23 |                 |          |          |               |         |           |              | 1982 SEPTIEMBRE | 142 |               |

Fuente: Los Autores, 2018

Posterior a esto, se crearon tablas dinámicas para tener una mejor visualización de los datos.

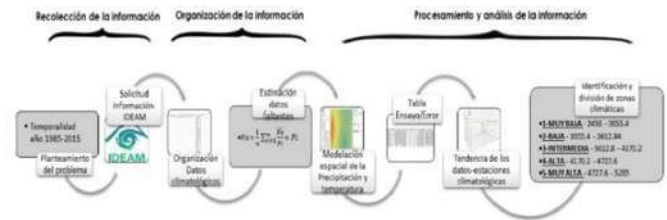
Tabla 1. Tabla Dinámica de Estimación de Datos Faltantes

| AÑO  | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
|------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| 1985 | 6.5   | 6.9     | 7.1   | 7.3   | 7.6  | 7.6   | 6.4   | 6.7    | 6.9        | 6.8     | 6.4       | 8.1       |
| 1986 | 7.7   | 7.5     | 7.9   | 8.4   | 8.7  | 7.5   | 7.4   | 7.6    | 7.5        | 7.4     | 7.6       | 7.8       |
| 1987 | 8.1   | 8.1     | 8.6   | 8.6   | 8.9  | 8.9   | 8.5   | 8.0    | 8.2        | 7.8     | 8.3       | 8.7       |
| 1988 | 8.0   | 8.2     | 8.2   | 8.3   | 8.5  | 8.1   | 7.5   | 7.2    | 7.0        | 6.8     | 6.8       | 6.8       |
| 1989 | 17.6  | 17.8    | 17.3  | 17.7  | 17.6 | 17.8  | 17.9  | 18.3   | 17.4       | 17.5    | 17.9      | 17.6      |
| 1990 | 17.6  | 17.4    | 17.9  | 17.6  | 17.9 | 17.8  | 17.8  | 17.8   | 17.9       | 17.1    | 17.0      | 17.1      |
| 1991 | 17.1  | 17.4    | 17.3  | 17.2  | 17.0 | 17.4  | 17.3  | 17.2   | 17.1       | 16.3    | 16.4      | 16.8      |
| 1992 | 17.1  | 17.4    | 17.3  | 17.2  | 17.3 | 17.2  | 17.3  | 17.4   | 16.9       | 16.7    | 16.8      | 16.8      |
| 1993 | 16.3  | 16.6    | 16.6  | 16.6  | 16.7 | 16.6  | 16.7  | 16.8   | 16.2       | 16.3    | 16.2      | 16.8      |
| 1994 | 16.5  | 16.6    | 16.8  | 16.9  | 16.7 | 17.1  | 17.0  | 16.9   | 17.0       | 16.6    | 16.1      | 16.8      |
| 1995 | 17.0  | 17.5    | 17.0  | 16.9  | 16.8 | 16.8  | 16.7  | 16.4   | 16.7       | 16.1    | 16.5      | 16.1      |
| 1996 | 16.0  | 6.8     | 16.5  | 16.4  | 16.6 | 16.6  | 16.8  | 16.9   | 16.5       | 16.4    | 16.5      | 16.4      |
| 1997 | 16.3  | 16.9    | 17.1  | 17.1  | 17.4 | 17.5  | 18.1  | 18.7   | 17.2       | 17.3    | 16.8      | 17.7      |
| 1998 | 18.8  | 18.4    | 18.1  | 18.3  | 17.9 | 17.4  | 17.1  | 17.1   | 16.6       | 16.5    | 16.8      | 16.3      |
| 1999 | 16.4  | 16.0    | 16.4  | 16.7  | 16.8 | 16.5  | 16.9  | 16.8   | 16.2       | 15.9    | 16.8      | 16.3      |
| 2000 | 15.8  | 16.1    | 16.4  | 16.8  | 16.7 | 16.8  | 16.0  | 17.4   | 16.0       | 16.6    | 16.6      | 16.4      |
| 2001 | 16.3  | 17.0    | 16.7  | 17.5  | 17.0 | 17.1  | 16.8  | 18.1   | 16.5       | 17.3    | 16.8      | 17.1      |
| 2002 | 17.4  | 17.8    | 17.6  | 16.8  | 17.5 | 17.3  | 17.8  | 18.0   | 17.9       | 17.2    | 16.8      | 17.3      |
| 2003 | 17.9  | 17.5    | 17.3  | 17.2  | 17.4 | 16.8  | 17.4  | 16.9   | 17.1       | 16.7    | 16.8      | 16.9      |
| 2004 | 16.8  | 17.4    | 18.3  | 17.4  | 17.6 | 17.8  | 17.0  | 18.1   | 16.7       | 16.7    | 17.2      | 17.0      |
| 2005 | 17.3  | 18.1    | 17.8  | 18.1  | 17.7 | 17.3  | 17.8  | 17.7   | 18.1       | 16.7    | 17.0      | 16.6      |
| 2006 | 17.1  | 17.4    | 17.3  | 17.2  | 17.3 | 17.2  | 17.3  | 17.4   | 16.9       | 16.7    | 16.8      | 16.8      |
| 2007 | 18.2  | 17.8    | 17.7  | 17.6  | 17.6 | 17.6  | 18.1  | 17.3   | 7.6        | 7.3     | 7.5       | 6.9       |
| 2008 | 17.1  | 6.9     | 16.8  | 17.1  | 17.4 | 17.1  | 16.8  | 16.6   | 16.6       | 16.7    | 16.7      | 16.7      |
| 2009 | 16.7  | 16.9    | 16.9  | 17.2  | 17.5 | 17.3  | 17.9  | 17.7   | 18.2       | 17.3    | 17.3      | 17.3      |
| 2010 | 18.0  | 18.7    | 18.4  | 17.8  | 17.8 | 17.3  | 8.0   | 8.3    | 7.7        | 8.0     | 7.3       | 7.5       |
| 2011 | 7.5   | 7.3     | 7.3   | 7.8   | 8.8  | 8.3   | 7.8   | 8.1    | 7.8        | 7.4     | 7.6       | 7.6       |
| 2012 | 7.0   | 7.2     | 7.7   | 7.8   | 8.0  | 8.3   | 8.0   | 7.9    | 8.1        | 7.8     | 8.3       | 7.9       |
| 2013 | 7.6   | 7.9     | 8.3   | 8.4   | 8.3  | 8.5   | 7.8   | 7.7    | 7.8        | 7.6     | 7.4       | 7.8       |
| 2014 | 7.6   | 7.7     | 7.8   | 8.3   | 8.4  | 8.5   | 8.4   | 7.7    | 7.9        | 7.7     | 7.7       | 7.8       |
| 2015 | 7.3   | 7.6     | 7.7   | 8.0   | 8.3  | 8.1   | 7.7   | 7.7    | 7.6        | 7.5     | 7.5       | 7.6       |

Fuente: Los Autores, 2018

## 2.3 Procedimiento

Ilustración 4. Grafico del diseño metodológico.



Fuente: Los Autores, 2018

## 3. RESULTADOS

Cuando se realiza el análisis de la dinámica climática, se aprecia una serie de fluctuaciones que no definen claramente un patrón con respecto al comportamiento del clima en el año 1986 a 1988, dado que pasa de aumento de las precipitaciones, contrastando a su vez en el año 1990 a 1992 el clima cambia y disminuyen los volúmenes de precipitación (Grafica 1).

Grafica 1. Gráfico de precipitación 1985-2015, en milímetros mm en un intervalo de 30 años



Fuente: Los Autores, 2018

Grafica 2. Gráfico de temperatura 1985-2015, representa el comportamiento de la variable temperatura medida en grados centígrados en un intervalo de 30.



Fuente: Los Autores, 2018

Con respecto a la temperatura, desde los años 1996 tuvo un aumento significativo hasta alcanzar sus máximos en 2009, desde los años 1996 hasta 2010, donde la temperatura no disminuyó y tendiendo a estabilizarse para el año 2011, respectivamente.

**Tabla 2. Resumen de la precipitación de 1985 a 2015**

| Años | Mínimo (mm) | Mediana (mm) | Media (mm) | Máxima (mm) |
|------|-------------|--------------|------------|-------------|
| 1985 | 484.5       | 1377.8       | 1538.6     | 2508.0      |
| 1990 | 873.3       | 1350.5       | 1623.8     | 2855.0      |
| 1995 | 927.9       | 1587.7       | 1819.9     | 3075.9      |
| 2000 | 1118.7      | 1877.7       | 2103.9     | 3863.7      |
| 2005 | 633.2       | 1857.9       | 1891.8     | 3011.3      |
| 2010 | 902.4       | 1797.4       | 2046.7     | 3651.0      |
| 2015 | 289.5       | 1265.7       | 1302.7     | 1972.0      |

Fuente: Los Autores, 2018

En cuanto a la precipitación, la tabla 1 está representada en intervalos de cada 5 años con el fin de que se aprecien mejor las variaciones de la variable a través del tiempo, teniendo como año de referencia a 1985, donde la precipitación media fue de 1538.6 milímetros, por consiguiente, se puede decir que después de 30 años en el 2015 se precipitaron 1302.7 milímetros. Quiere decir que hubo una disminución de precipitación de 235.9 milímetros.

**Tabla 3. Resumen de la temperatura de 1985 a 2015**

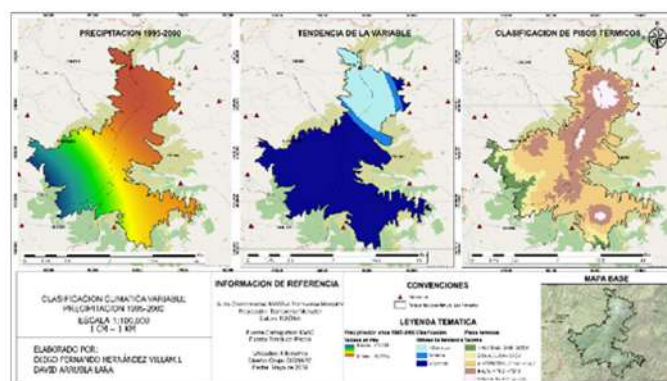
| Años | Mínimo (mm) | Mediana (mm) | Media (mm) | Máxima (mm) |
|------|-------------|--------------|------------|-------------|
| 1985 | 4.25        | 6.75         | 7.29       | 11.42       |
| 1990 | 4.60        | 10.52        | 10.79      | 17.53       |
| 1995 | 4.60        | 10.52        | 10.79      | 17.53       |
| 2000 | 4.28        | 10.53        | 10.46      | 16.52       |
| 2005 | 5.13        | 11.32        | 11.32      | 17.52       |
| 2010 | 4.97        | 10.64        | 9.82       | 13.02       |
| 2015 | 4.68        | 7.40         | 7.99       | 12.47       |

Fuente: Los Autores, 2018

La temperatura en la tabla 2 está representada en intervalos de cada 5 años con el fin de que se aprecien mejor las variaciones de la variable a través del tiempo, se presentan algunas medidas de tendencia central. Como año de referencia se tiene el año 1985, la temperatura media fue 7.29 °C, por consiguiente, se puede decir que después de 30 años en el 2015 se registró una temperatura de 7.99 °C. Quiere decir que hubo una disminución de precipitación de 0.7 °C.

A continuación, se presentarán los intervalos de años más importantes, debido a la tendencia de la variable que fue modificada y alterada por los fenómenos ENSO dependientes de las regulaciones atmosféricas que propicia el océano pacífico de acuerdo con los reportes del emisor elaborado por el banco de la república en el año 2014 se identificaron fenómenos ENSO como: Fenómeno del niño débiles 1995-2000/ 2000-2010, fenómenos del niño moderados 2000-2005 y fenómeno del niño fuertes 2010-2015. En los siguientes mapas se pueden evidenciar las variaciones de las variables de precipitación y temperatura, a su vez la tendencia que tuvo en su determinado momento y la clasificación correspondiente.

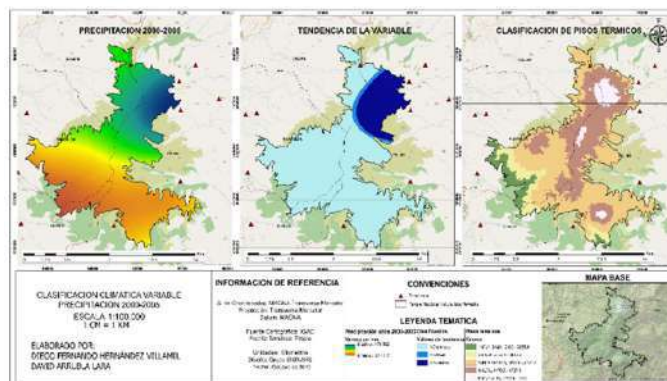
**Ilustración 5. Mapa de Precipitación; Tendencia y Clasificación de 1995 al 2000**



Datos: elaborado a partir del interpolador Kriging y el geoprocementamiento reclasificación; Fuente: Los Autores (2018).

En la clasificación climática hay un aumento en los años de 1995 a 2000 se puede apreciar un aumento de la precipitación en las zonas muy bajas y las zonas bajas; también se puede ver como en la zona intermedia tiende a aumentar. En las zonas altas y muy altas que sería el lugar de los glaciares el patrón es a disminuir.

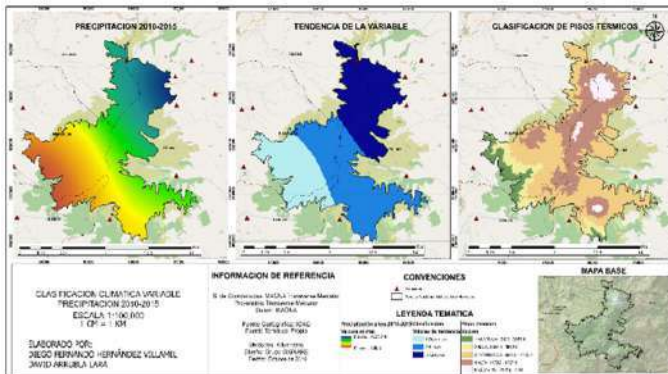
**Ilustración 6. Mapa de Precipitación; Tendencia y Clasificación del 2000 al 2005**



Datos: elaborado a partir del interpolador Kriging y el geoprocementamiento reclasificación; Fuente: Los Autores (2018).

En la clasificación climática hay un aumento en los años de 2000 al 2005, se puede apreciar un aumento de la precipitación en las zonas muy bajas y las zonas bajas; también se puede ver como en la zona intermedia tiende a estabilizarse. En las zonas altas y muy altas que esta sería el lugar de los glaciares el patrón es aumentar.

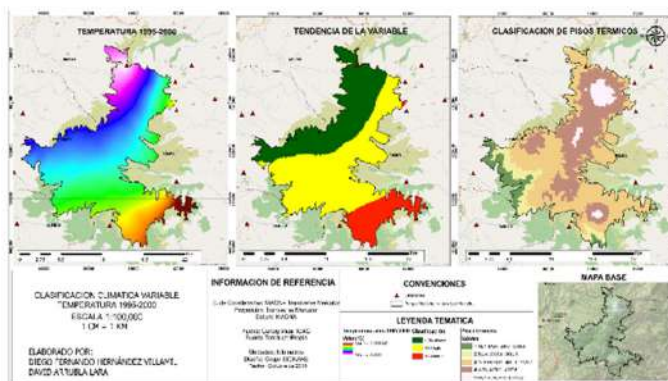
**Ilustración 7. Mapa de Precipitación; Tendencia y Clasificación del 2010 al 2015**



Datos: elaborado a partir del interpolador Kriging y el geoprocementamiento reclasificación; Fuente: Los Autores (2018).

Para los años de 2010-2015 se observa como en las distintas zonas la tendencia es aumentar, pero en diferentes intervalos de precipitación (milímetros- mm). Las zonas bajas tienden a aumentar entre 68.400024 - 191.192505 milímetros, las zonas intermedias se encuentran en intervalos que varían desde los 191.192505 - 255.918457 milímetros. Finalmente, las zonas muy altas se encuentran en una tendencia que disminuye desde los 255.918457 - 314.523071 milímetros.

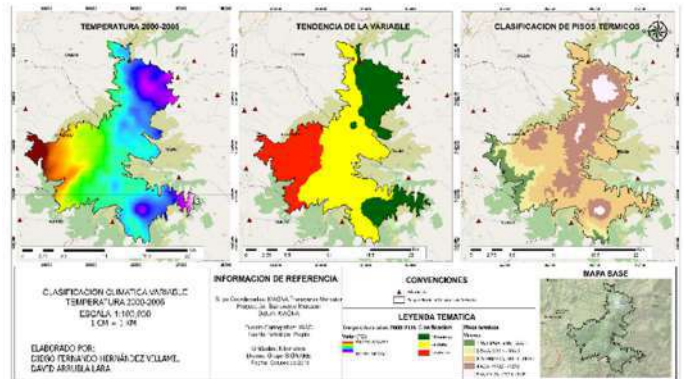
**Ilustración 8. Mapa de Temperatura; Tendencia y Clasificación de 1995 al 2000**



Datos: elaborado a partir del interpolador Kriging y el geoprocementamiento reclasificación; Fuente: Los Autores (2018).

Para los años de 1995 a 2000 se observa como en las distintas zonas la tendencia es a disminuir, pero en diferentes intervalos de temperatura (Grados °C). Las zonas bajas tienden a disminuir entre -0.144657 - -0.095956 grados Celsius, las zonas intermedias se encuentran en intervalos que varían desde los -0.2083 - -0.144657 grados Celsius. Finalmente, las zonas muy altas se encuentran en una tendencia que disminuye desde los -0.144657 - -0.095956 grados Celsius.

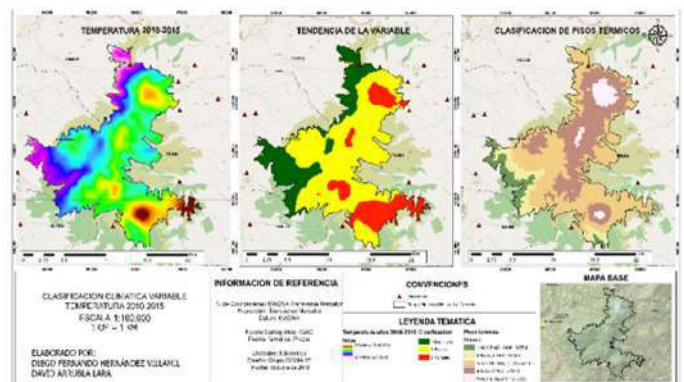
**Ilustración 9. Mapa de Temperatura; Tendencia y Clasificación del 2000 al 2005**



Datos: elaborado a partir del interpolador Kriging y el geoprocementamiento reclasificación; Fuente: Los Autores (2018).

Para los años de 2000 – 2005 se observa como en las distintas zonas la tendencia es a aumentar, pero en diferentes intervalos de temperatura (Grados °C). Las zonas bajas tienden a aumentar entre 0.891041 - 0.962414 grados Celsius, las zonas intermedias se encuentran en intervalos que varían desde los 0.859093 - 0.891041 grados Celsius. Finalmente, las zonas muy altas se encuentran en una tendencia que disminuye desde los 0.803341 - 0.859093 grados Celsius.

**Ilustración 10. Mapa de Temperatura; Tendencia y Clasificación del 2010 al 2015**



Datos: elaborado a partir del interpolador Kriging y el geoprocementamiento reclasificación; Fuente: Los Autores (2018).

Para los años de 2010-2015 se observa como en las distintas zonas la tendencia es a disminuir, pero en diferentes intervalos de temperatura (Grados °C). Las zonas bajas tienden a disminuir entre -3.138781 - -2.323298° Celsius, las zonas intermedias se encuentran en intervalos que varían desde los -2.323298 - -1.808706° Celsius. Finalmente, las zonas muy altas se encuentran en una tendencia que disminuye desde los -1.808706 - -0.363583° Celsius.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

- Las condiciones de la variable temperatura y Precipitación para el Parque Nacional Natural los Nevados presenta diversos comportamientos, de manera que las condiciones medioambientales del lugar configuran las tendencias de la variable, produciendo que en algunos años la Temperatura y la Precipitación se encuentre en aumento, estable o disminución.

- El patrón de cambio del Parque Nacional Natural los Nevados es versátil en el tiempo. las diferentes estaciones climatológicas que se encuentran distribuidas alrededor de la zona, se registraron datos significativos que pueden dar indicios de cambios en la temperatura como, por ejemplo:

Cambios en la variable cada 2 a 3 años aproximadamente (variaciones desde -0.8 a 0.5 °C), quiere decir que se aumenta en ese intervalo, pero así mismo disminuye o se estabiliza.

Para el caso de la precipitación presenta el mismo patrón de cambio en el tiempo, variaciones de volúmenes de precipitación desde los -600 hasta los 800 milímetros.

- De acuerdo con el análisis elaborado en base a procesos estadísticos y espaciales, se puede decir que la variable de temperatura aumento de 0.5 – 0.7 °C aproximadamente, en 30 años.

- Las precipitaciones disminuyeron entre 500-1000 mm aproximadamente en 30 años.

- La zona muy baja del PNNN tiene grandes volúmenes de precipitación donde superan los 2000 mm anuales, a su vez presenta las temperaturas más altas entre 10 – 15° C.

- La zona intermedia del PNNN cuenta con volúmenes de precipitación que varían desde los 1500 – 2000 mm anuales, a su vez presenta temperaturas entre 5-10 °C.

- La zona más alta del PNNN cuenta con volúmenes de precipitación que rodean los 1500 mm anuales, a su vez presenta las temperaturas más bajas entre 0-5 °C.

- Se puede apreciar un aumento de las temperaturas desde el año 1990 hasta el 2005, para la clasificación de la temperatura, subiendo hasta 1,3°.

- Los años donde más aumento de temperatura fueron del 2000 – 2005, provocado por un fenómeno del niño aumentando casi un grado con respecto a los años 1995 – 2000.

- Los años donde más disminución de la precipitación fueron del año 2010 – 2015, aproximadamente 600 mm.

- El Parque Nacional Natural Los Nevados tiene condiciones en donde existen aumentos, disminuciones o estabilizaciones de las variables climatológicas



## REFERENCIAS

- Adam, J.C., Hamlet, A.F., Lettenmaier, D.P., 2009. Implications of global climate change for snowmelt hydrology in the twenty-first century. *Hydrol. Process.* 23, 962–972.
- Emery, X. (2013). *Geoestadística*. Facultad de ciencias físicas y matemáticas universidad de Chile.
- Banco de la república. 2014. *REPORTES DEL EMISOR* (182). s.l. : Banco de la república, 2014.
- Beebee, R.A., Manga, M., 2004. Variation in the relationship between snowmelt runoff in Oregon and ENSO and PDO. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 40, 1011–1024.
- Benavides Ballesteros, Henry Oswaldo y León Aristizabal, Gloria Esperanza. 2007. 2007. *INFORMACIÓN TECNICA SOBRE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO*.
- Brown, J.A.H., Milner, F.C., 1989. Aspects of the meteorology and hydrology of the Australian Alps. In: Good, R. (Ed.), *The Scientific Significance of the Australian Alps*, Proceedings of the First Fenner Conference, Australian Alps Liaison Committee, Canberra, pp. 297–329 (Chapter 17).
- Diaz, H.F., Eischeid, J.K., Duncan, C., Bradley, R.S., 2003. Variability of freezing levels, melting season indicators, and snowcover for selected high-elevation and continental regions in the last 50 years. *Climatic Change* 59, 33–52.
- Dingman, L.S., 1981. Elevation: a major influence on the hydrology of New Hampshire and Vermont, USA. *Hydrol. Sci. Bull.* 26, 399–413.
- García, María Claudia, y otros. 2012. *Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia*. [ed.] IDEAM. Bogotá : s.n., 2012, Scielo.
- Green, K., Pickering, C.M., 2009. The decline of snowpatches in the Snowy Mountains: importance of climate warming, variable snow and wind. *Arctic, Antarctic, Alpine Res.* 41, 212–218.
- Hennessy, K., Whetton, P., Smith, I., Bathols, J., Hutchinson, M., Sharples, J., 2003. *The Impact of Climate Change on Snow Conditions in Australia*.
- Consultancy Report for the Victorian Dept of Sustainability and Environment, NSW National Parks and Wildlife Service, Australian Greenhouse Office and the Australian Ski Areas Association. CSIRO Atmospheric Research, Aspendale, Australia.
- Hunsaker, C.T., Whitaker, T.W., Bales, R.C., 2012. Snowmelt runoff and water yield along elevation and temperature gradients in California's southern Sierra Nevada. *J. Am. Water Res. Assoc.* 48, 667–678.
- IDEAM. 2014. *CAMBIO CLIMATICO*. 2014, págs. 1-2.
- IDEAM. 2014. *GLACIARES EN COLOMBIA*. 2014, pág. 1.
- IPCC, 2013. Summary for policymakers. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Stocker.
- Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Nicholls, N., 2005. Climate variability, climate change and the Australian snow season. *Aust. Meteorol. Mag.* 54, 177–185.
- Quijano Angarita, Álvaro Clemente y Morales Gaitán, Yeimy Lorena. 2014.
- Cambio climático: Un análisis temporal del retroceso glaciar de los nevados del Ruiz, Tolima y Santa Isabel, 1987-2014.. 2014, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- Rosenzweig, C., Karoly, D., Vicarelli, M., Neofotis, P., Wu, Q., Casassa, G., Menzel, A., Root, T.L., Estrella, N., Seguin, B., Tryjanowski, P., Liu, C., Rawlins, S., Imeson, A., 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature* 453, 353–357.
- Singh, P., Bengtsson, L., 2003. Effect of warmer climate on the depletion of snow-covered area in the Satluj basin in the western Himalayan region. *Hydrol. Sci. J.* 48, 413–425. <http://orcid.org/0000-0002-9639-3747>.
- Ingeniero Agrónomo, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Profesor Asociado Universidad La Gran Colombia, Armenia Colombia.
- mejagluismiguel@miugca.edu.co. <https://orcid.org/0000-0003-2940-0115>. Grupo de Investigación Agroindustrialización GIDA.
- Ingeniera Agroindustrial, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Decana Facultad de Ingenierías Universidad La Gran Colombia, Armenia Colombia. [defingenieria@ugca.edu.co](mailto:defingenieria@ugca.edu.co). Grupo de Investigación Gerencia de la Tierra.

# DESARROLLO DE PELÍCULAS CONDUCTORAS BIOPOLIMÉRICAS A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/09/2019 ACEPTADO: 15/03/2020 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/07/2020

### DEVELOPMENT OF BIOPOLYMERIC CONDUCTIVE FILMS FROM CASSAVA STARCH

<sup>1</sup> Adolfo Antonio Ballestas Núñez

<sup>2</sup> Álvaro Ángel Arrieta Almario

Como citar este artículo: Ballestas, A; Arrieta, A, (2020) Desarrollo de películas conductoras biopoliméricas a partir de almidón de yuca, revista Dynamikos 1 (2). Recuperado de: <https://teinco.edu.co/wp-content/uploads/2021/07/Revista-Dinamicos-No2.pdf>

## RESUMEN

Se elaboró un biopolímero conductor a base de almidón de yuca obtenido del tubérculo de la yuca, óxido de grafeno derivado del mesocarpo del coco, y plastificantes. El almidón de yuca fue obtenido a partir del pelado, rayado, tamizado y secado del tubérculo de la yuca, mientras el óxido de grafeno se obtuvo a partir de la incineración del mesocarpo del coco, obtención de carbón, y posterior oxidación química empleando ácido sulfúrico y permanganato de potasio, además de la adición de perclorato de Litio y plastificantes, glicerol, glutaraldehído y polietilenglicol. La capacidad conductora del biopolímero se evaluó mediante la fabricación de biopelículas elaboradas a pH 5 y 9, y a concentraciones de óxido de grafeno de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50% y 1.75%, se emplearon 2 biopelículas por concentración de óxido de grafeno y pH, las biopelículas fueron analizadas mediante voltametría cíclica en Potenciostato/ Galvanostato PARSTAT 2263 Power Suite Software. La caracterización del almidón y el óxido de grafeno se realizó mediante FTIR y Espectroscopía Raman respectivamente. A pH 5 se favoreció el proceso de reducción en las biopelículas y una disminución de la corriente eléctrica con el aumento de la concentración de óxido de grafeno, mientras que a pH 9 se favoreció el proceso de oxidación y un aumento de la corriente eléctrica con el aumento de la concentración de óxido de grafeno. La densidad de carga propia del óxido de grafeno, pH de elaboración e interacciones iónicas presentes en las biopelículas elaboradas, determinaron la capacidad de donación o atrapamiento electrónico de las biopelículas. Se elaboró un biopolímero conductor a base de almidón de yuca obtenido del tubérculo de la yuca, óxido de grafeno derivado del mesocarpo del coco, y plastificantes. Metodología. El almidón de yuca fue obtenido a partir del pelado, rayado, tamizado y secado del tubérculo de la yuca, mientras el óxido de grafeno se obtuvo a partir de la incineración del mesocarpo del coco, obtención de carbón, y posterior oxidación química empleando ácido sulfúrico y permanganato de potasio, además de la adición de perclorato de Litio y plastificantes, glicerol, glutaraldehído y polietilenglicol. La capacidad conductora del biopolímero se evaluó mediante la fabricación de biopelículas elaboradas a pH 5 y 9, y a concentraciones de óxido de grafeno de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50% y 1.75%, se emplearon 2 biopelículas por concentración de óxido de grafeno y pH, las biopelículas fueron analizadas mediante voltametría cíclica en Potenciostato/Galvanostato PARSTAT 2263 Power Suite Software. La caracterización del almidón y el óxido de grafeno se realizó mediante FTIR y Espectroscopía Raman respectivamente. Resultados. A pH 5 se favoreció el proceso de reducción en las biopelículas y una disminución de la corriente eléctrica con el aumento de la concentración de óxido de grafeno, mientras que a pH 9 se favoreció el proceso de oxidación y un aumento de la corriente eléctrica con el aumento de la concentración de óxido de grafeno. Discusión. La densidad de carga propia del óxido de grafeno, pH de elaboración e interacciones iónicas presentes en las biopelículas elaboradas, determinaron la capacidad de donación o atrapamiento electrónico de las biopelículas. Conclusiones. Se logró fabricar un biopolímero a base de almidón de yuca, óxido de grafeno obtenido del mesocarpo del coco, y plastificantes, capaz de conducir energía eléctrica.

**PALABRAS CLAVE:** Biopolímero, almidón, tubérculo, grafeno, mesocarpo.

<sup>1</sup> Biólogo egresado de la Universidad de Sucre, UDS, Colombia – [adolfoaballestas1996@hotmail.com](mailto:adolfoaballestas1996@hotmail.com)

<sup>2</sup> profesor del departamento de Biología y Química, Universidad de Sucre, UDS, Colombia – [alvaroarrieta@unisucra.edu.co](mailto:alvaroarrieta@unisucra.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

El almidón de yuca es materia prima en la presente investigación, capaz de producir materiales poliméricos y, dada su constitución, puede ser transformado en material termoplástico mediante la ruptura de su estructura granular empleando plastificantes (Qiao et al., 2017; Matignon et al., 2017). Las biopelículas formadas por dicho material no son conductoras de electricidad; sin embargo, investigaciones recientes se han enfocado en la capacidad de conducción de bioplásticos y sales iónicas en matrices constituidas por biopelículas de almidón, produciendo nuevos enfoques investigativos y aplicaciones.

El almidón basa su aprovechamiento en su abundancia, siendo el segundo polímero mas abundante en el planeta después de la celulosa, altamente renovable, económico y biodegradable (Arrieta et al., 2018). Las propiedades químicas y eléctricas de las biopelículas pueden modificarse mediante adición de compuestos o de sus propiedades físicas, favoreciendo la transmisión de energía eléctrica, tal es el caso del perclorato de litio ( $\text{LiClO}_4$ ) y el óxido de grafeno reducido (OGr) (Marcano et al., 2010; Chaparro et al., 2014).

El grafeno es una estructura bidimensional finísima, aproximadamente  $3.35 \text{ \AA}$  ( $3.35 \times 10^{-11} \text{ m}$ ), 1000 veces mas delgado que el cabello de menor grosor que pueda encontrarse, con una resistividad de  $0.96 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ , menor que la del cobre ( $1.7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ ), y menor que la resistividad de la plata ( $1.5 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ ), con una facilidad de transporte de carga mayor que los materiales anteriormente mencionados (Ren et al., 2018). Actualmente, los polímeros son amplia y extensamente empleados debido a su facilidad de ser moldeados, impermeables, baja densidad, resistencia a la corrosión y bajo costo, sin embargo, su alta estabilidad y baja biodegradabilidad los convierten en contaminantes y en un muy serio problema ambiental.

Su degradación puede tardar hasta 500 años, no siendo real, debido a la formación de microplásticos que, no siendo evidentes, se acumulan en los ecosistemas afectando a todos los organismos que allí habiten (Segura et al., 2007), incluido el hombre (Hahladakis et al., 2018). La Organización de las Naciones Unidas (ONU) advierte que millones de teléfonos móviles, cámaras digitales, ordenadores, tabletas y otros dispositivos electrónicos elaborados con plásticos terminan cada año en la basura, y, que para el año 2018, se produjeron unos 50 millones de toneladas de desechos plásticos, a comparación de 10 millones de toneladas producidas en el año 2000, con una media de 7 kg producidos por persona por año en todo el planeta.

Los cálculos prevén un aumento de un tercio del valor enunciado para el año 2018 durante los siguientes 3 años, asimismo, muchos aparatos electrónicos contienen metales pesados altamente bioacumulables en la cadena trófica y potencialmente tóxicos, metales como el plomo, mercurio, cadmio y zinc, significativos como fuentes de contaminación a largo plazo. Por otro lado, la producción de polímeros de origen petroquímico, conductores y semiconductores, dejan una huella contaminante latente desde su extracción hasta su disposición final, con una cantidad reciclada diminuta a comparación de la cantidad desechada (Casey et al., 2019). El presente estudio tuvo como objetivo el desarrollo de biopelículas conductoras empleando almidón de yuca (AY), óxido de grafeno (OG) obtenido a partir del mesocarpo del coco, y plastificantes, fomentando el uso de biopolímeros degradables, rentables, económicos y asequibles, como posibles alternativas al uso de materiales contaminantes y de residuos sólidos.

## 2. MÉTODOS

### 2.1 ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

El presente estudio es de tipo experimental, dada la manipulación de una o más variables independientes, medición del efecto de la variable independiente sobre la(s) variable(s) dependiente(s) y validación interna de la situación experimental.

#### 2.1.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Material vegetal, tubérculos específicamente, raíces frescas obtenidas en el mercado local de la ciudad de Sincelejo de la especie *Manihot esculenta* Crantz. El mesocarpo de coco fue obtenido de cocos frescos (*Cocos nucifera*) adquiridos en el mercado local de la misma ciudad. Los plastificantes empleados fueron provistos por el laboratorio del Grupo de Investigación en Conservación del Recurso Hídrico y Aguas (CHRIA) de la Universidad de Sucre.

#### 2.1.3. INSTRUMENTOS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

Se empleó un espectrofotómetro SPECTRUM 100 de Reflectancia Total Atenuada (ATR) para la caracterización del AY obtenido, y un espectrómetro MicroRaman Horiba Jobin Yvon para la obtención del espectro Raman empleado en la caracterización del OG. Además, se utilizó un potenciómetro/galvanostato PARSTAT 2263 Power Suite Software durante el proceso de voltametría cíclica y posterior obtención de espectros oxido-reducción (redox) para su análisis.

#### 2.1.4. PROCEDIMIENTO

##### 2.1.4.1. EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA

Se partió de 1 kg de tubérculo de yuca (raíz fresca), la corteza fue retirada mediante pelado, para posterior rallado y lavado empleando 1.5 L de agua bidestilada, luego se filtró en tela muselina, permitiendo la sedimentación del almidón, dejándola en reposo durante 24 h. El sedimento fue lavado 5 veces empleando 150 mL de agua bidestilada por lavado, posteriormente se introdujo en horno a  $75^\circ\text{C}$  durante 24 h y se tamizó a  $150 \mu\text{m}$  (Arrieta et al., 2014). Se determinó el rendimiento de extracción del almidón con la ecuación.

$$\%R_{\text{almidón}} = 100 \left( \frac{m_{\text{almidón}}}{m_{\text{raíz}}} \right)$$

##### 2.1.4.2. EXTRACCIÓN DE ÓXIDO DE GRAFENO A PARTIR DEL MESOCARPO DEL COCO

Inicialmente, se fragmentaron 130 g de mesocarpo de coco a partículas de 1 mm, estas fueron tamizadas y depositadas en recipiente de teflón e introducidas en mufla a  $1200^\circ\text{C}$  durante 4 h para obtención de carbón. Posterior obtención de carbón, este se tamizó a  $160 \mu\text{m}$ . El proceso de oxidación empleado fue el planteado por Hummers con modificaciones (Rodríguez, 2008); para ello se pesaron 5 g de carbón y fueron disueltos en 70 mL de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) al 10%, se le adicionaron 10 g de permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ), y se sometió a calentamiento a  $35 \pm 5^\circ\text{C}$  y agitación constante a 2000 rpm durante 2 h.

Se agregaron, gota a gota, 140 mL de agua bidestilada con aumento progresivo de la temperatura hasta  $84^\circ\text{C}$ , luego, se suspendió el calentamiento dejando la solución en agitación constante durante 15 min. Seguidamente, se adicionaron 10 mL de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) a 30% dejándola en reposo durante 40 min; transcurrido este tiempo, la mezcla fue lavada y centrifugada a 1500 rpm durante 3 min.

La muestra obtenida se disolvió en 140 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado más 18 g de KMnO<sub>4</sub> en agitación constante por 2 h. Al finalizar, se agregaron 275 mL de agua bidestilada y agitación constante durante 15 min, luego, 20 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y se dejó en reposo. El sólido obtenido se lavó y centrifugó con 1 L de solución acuosa 1:10 de ácido clorhídrico (HCl) durante 5 min, y, finalmente, se secó en horno a 60 °C por 24 h. El rendimiento de OG (%ROG) se calculó como

$$\%R_{OG} = 100 \left( \frac{m_{OG}}{m_{mesocarpio}} \right)$$

### 2.1.4.3. ELABORACIÓN DE BIOPELÍCULAS CON ALMIDÓN DE YUCA, ÓXIDO DE GRAFENO Y PLASTIFICANTES

Se fabricaron un total de 32 biopelículas, 16 a pH 5 y 16 a pH 9, el ajuste del pH fue realizado empleando alícuotas de agua ultra pura, HCl e hidróxido de sodio (NaOH), para pH ácido y básico respectivamente. Para la fabricación de las biopelículas se ajustó un volumen de 500 mL de agua ultra pura, empleando 15 mL por biopelícula. A cada preparación se le adicionaron 1 g de AY y se sometió a calentamiento a 75±5 °C durante 15 min, luego, se le añadió OG resultando en concentraciones de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50% y 1.75% (2 biopelículas por concentración de OG y pH).

Posteriormente se adicionó 1 g de LiClO<sub>4</sub>, al llegar a 30 °C se añadieron los plastificantes, glicerol (1 mL), glutaraldehído (1.5 mL), y polietilenglicol (0.5 mL). La mezcla se calentó a 75 °C con agitación constante durante 15 min, al finalizar, se depositó en recipientes de teflón, e introducidos estos en horno a 75 °C por 48 h. Posteriormente fueron extraídas y caracterizadas (Arrieta et al., 2014).

### 2.1.4.4. CARACTERIZACIÓN ESPECTROSCÓPICA DEL ALMIDÓN DE YUCA Y ÓXIDO DE GRAFENO, Y CARACTERIZACIÓN ELECTROQUÍMICA DE LAS BIOPELÍCULAS FABRICADAS

El AY se caracterizó mediante Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier empleando el método oficial de la Association of Official Analytical Chemist (AOAC) (Arrieta et al., 2014), mientras el OG fue caracterizado mediante Espectroscopía Raman (Aguirre, 2015). La caracterización del AY empleó un espectrofotómetro SPECTRUM 100 ATR, se utilizó 1 cm<sup>2</sup> del polímero colocándolo en el portamuestra, los espectros fueron obtenidos a 25 °C entre 4000 – 700 cm<sup>-1</sup>, resolución espectral de 4 cm<sup>-1</sup> y se promediaron sobre 100 barridos (Arrieta et al., 2018). La Espectroscopía Raman se realizó en espectrómetro MicroRaman Horriba Jobin Yvon, con fuente de excitación láser y detector de 1024 píxeles, CCD de alta sensibilidad, acoplado a un microscopio Olympus BX41TF de resolución espectral < 1 µm.

El análisis Raman se realizó en el Grupo de Investigaciones Interdisciplinar de Nanotecnología Aplicada de la Universidad de Concepción, Chile. La caracterización electroquímica de las biopelículas empleó un potencióstato/galvanostato PARSTAT 2263 Power Suite Software. Se utilizó una celda para medidas en sólidos, consistía en dos electrodos de acero inoxidable adheridos a placas de acrílico, las muestras se recortaron en cuadrados de 1×1 cm y dispuestas en la celda en forma de Sándwich. Los potenciales se midieron usando como referencial el electrodo de circuito abierto. Se empleó voltametría cíclica, con un rango de barrido de -2 a 2 V, y velocidad de barrido de 50 mV s<sup>-1</sup> rms.

### 2.1.4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se determinaron los coeficientes de variación (CV) de los promedios de valores de corriente obtenidos (2 valores de corriente, anódica y catódica, por biopelícula, pH y concentración de OG), asumiendo como representativos aquellos CV menores al 18% (Lara, 2015).

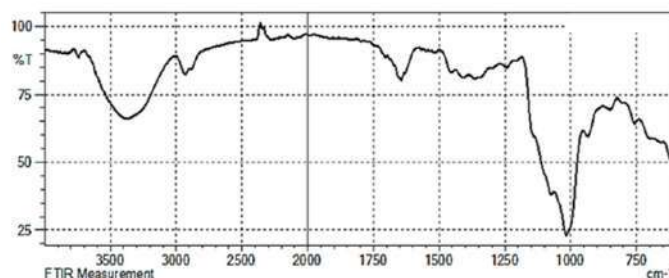
## 3. RESULTADOS

Los rendimientos de extracción obtenidos fueron de 10.1% y 3.10% para el AY y el OG respectivamente. El rendimiento de extracción del OG se considera bajo, aun así, el mesocarpio de coco puede emplearse como abono y fertilizante para especies vegetales y degradadores de materia orgánica.

### 3.1. CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE YUCA MEDIANTE FTIR

Los rendimientos de extracción obtenidos fueron de 10.1% y 3.10% para el AY y el OG respectivamente. El rendimiento de extracción del OG se considera bajo, aun así, el mesocarpio de coco puede emplearse como abono y fertilizante para especies vegetales y degradadores de materia orgánica.

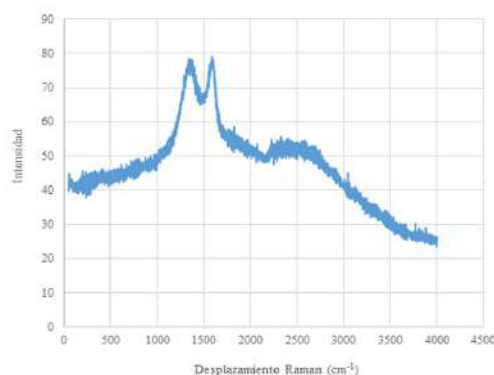
Gráfica 1. Espectro FTIR de AY. Adaptado de autor a partir de...



En el espectro obtenido (gráfica 1), se observaron las bandas características del almidón, bandas entre los rangos 1020 – 1030 cm<sup>-1</sup> correspondientes a vibraciones de C-O del anillo de anhidroglucosa (C-O-C), y vibraciones del grupo C-O de grupos C-O-H. Bandas entre los 1400 – 1450 cm<sup>-1</sup> del enlace O-H, banda en 1646 cm<sup>-1</sup> de moléculas de agua residuales en la biopelícula, 2840 – 3000 cm<sup>-1</sup> vibraciones de enlaces C-H, y entre 3300 – 3500 cm<sup>-1</sup> del grupo hidroxilo.

### 3.2. CARACTERIZACIÓN DE ÓXIDO DE GRAFENO MEDIANTE ESPECTROSCOPÍA RAMAN

Gráfica 2. Espectro Raman de OG. Fuente: completamente generada por el autor, 2019.



En el espectro Raman (gráfica 2) de OG, se evidenciaron las bandas: D a  $1320\text{ cm}^{-1}$ , G a  $1584\text{ cm}^{-1}$ , ambas características de la estructura del OG obtenido a partir de grafito (éste obtenido en la fabricación de carbón).

### 3.3. BIOPELÍCULAS FABRICADAS A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA, ÓXIDO DE GRAFENO Y PLASTIFICANTES

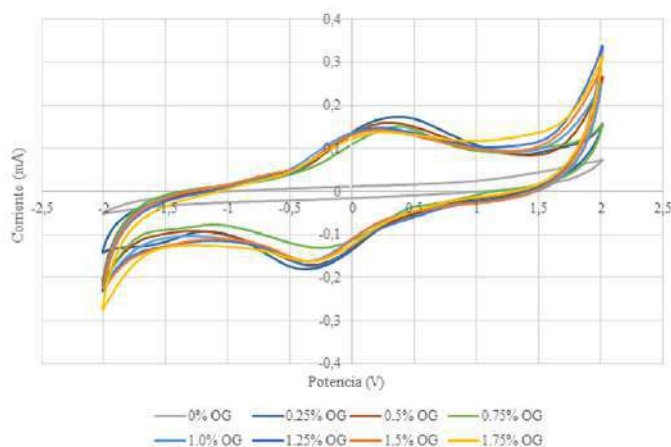
Ilustración 1. Biopelículas fabricadas a pH 5, de izquierda a derecha, a concentraciones de OG de 0%, 1.00%, y 1.50%. Fuente: completamente generada por el autor, 2019.



Las biopelículas se tornaron mas oscuras con el aumento de la concentración de OG. Fueron resistentes a la tracción manual, movimiento, de textura consistente y suave, su apariencia inicial fue traslúcida, con el paso de los días se tornó amarillenta y opaca con exudados acuoso y viscoso.

### 3.4. ESPECTROS DE VOLTAMETRÍA CÍCLICA DE LAS BIOPELÍCULAS FABRICADAS

Gráfica 3. Espectros de voltametría cíclica de biopelículas de AY y OG a concentraciones de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50% y 1.75%, fabricadas a pH 5. Fuente: completamente generada por el autor.



Gráfica 4. Espectros de voltametría cíclica de biopelículas de AY y OG a concentraciones de 0%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25%, 1.50% y 1.75%, fabricadas a pH 9. Fuente: completamente generada por el autor.

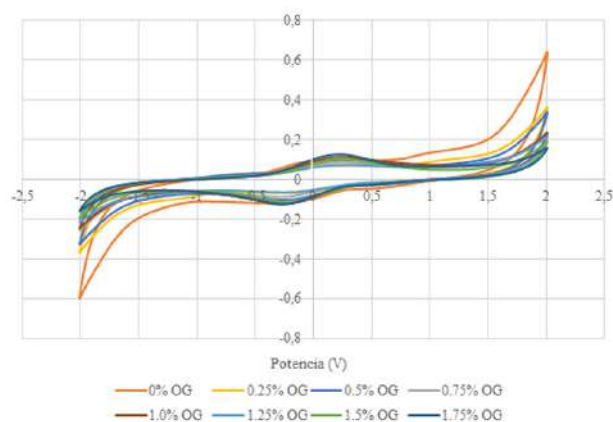


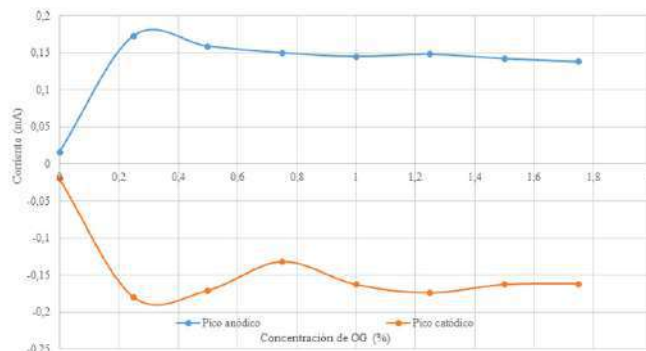
Tabla 1. Valores De Corriente De Picos Anódicos ( $I_{pa}$ ) Y Catódicos ( $I_{pc}$ ), Relaciones De Corriente De Picos Anódicos Y Catódicos ( $I_{pa}/I_{pc}$ ), Y, Potenciales De Picos Anódicos ( $E_{pa}$ ) Y Catódicos ( $E_{pc}$ ), Según Concentración De OG A pH 5 Y pH 9. Todos Los Promedios De Valores De Corriente De Pico Anódica Y Catódica Obtuvieron CV <15%.

| %OG  | $I_{pa}$ | $I_{pc}$ | $I_{a}/I_{c}$ | $E_{pa}$ | $E_{pc}$ |
|------|----------|----------|---------------|----------|----------|
| pH 5 |          |          |               |          |          |
| 0    | 0.016    | -0.020   | 0.800         | 0.48     | -0.48    |
| 0.25 | 0.173    | -0.180   | 0.961         | 0.33     | -0.39    |
| 0.50 | 0.159    | -0.171   | 0.930         | 0.30     | -0.30    |
| 0.75 | 0.150    | -0.132   | 1.136         | 0.36     | -0.24    |
| 1.00 | 0.145    | -0.163   | 0.890         | 0.20     | -0.36    |
| 1.25 | 0.148    | -0.174   | 0.851         | 0.21     | -0.33    |
| 1.50 | 0.142    | -0.163   | 0.871         | 0.20     | -0.32    |
| 1.75 | 0.138    | -0.162   | 0.852         | 0.24     | -0.33    |

| %OG  | $I_{pa}$ | $I_{pc}$ | $I_{a}/I_{c}$ | $E_{pa}$ | $E_{pc}$ |
|------|----------|----------|---------------|----------|----------|
| pH 5 |          |          |               |          |          |
| 0    | 0.097    | -0.120   | 0.808         | 0.27     | -0.33    |
| 0.25 | 0.071    | -0.069   | 1.029         | 0.27     | -0.24    |
| 0.50 | 0.101    | -0.103   | 0.981         | 0.24     | -0.24    |
| 0.75 | 0.089    | -0.086   | 1.035         | 0.24     | -0.27    |
| 1.00 | 0.113    | -0.122   | 0.926         | 0.24     | -0.27    |
| 1.25 | 0.071    | -0.067   | 1.060         | 0.30     | -0.24    |
| 1.50 | 0.107    | -0.112   | 0.955         | 0.24     | -0.21    |
| 1.75 | 0.128    | -0.125   | 1.024         | 0.21     | -0.24    |

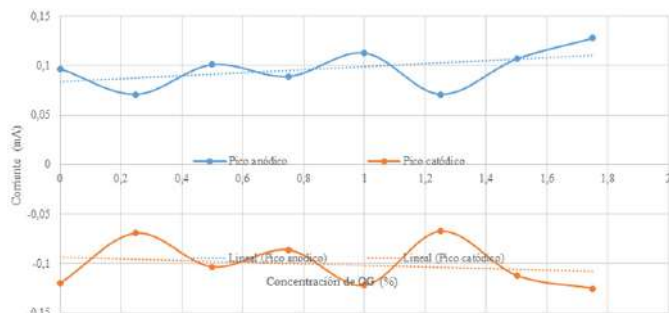
Fuente: completamente generada por el autor, 2019.

Gráfica 5. Valores de corriente de picos anódicos y catódicos según concentración de OG a pH 5. Fuente: completamente generada por el autor.



En la gráfica 5, a pH 5, se observó un máximo de corriente anódica de 0.173 mA a 0.25% de OG con una disminución de la corriente proporcional a la concentración de OG, hasta de un 80%, tal es el caso de 1.75% de OG con 0.138 mA. El menor valor de corriente anódica se observó a 0% de OG y corriente de -0.016 mA. Los valores de corriente catódica obtuvieron un mínimo de -0.180 mA a 0.25% de OG, y un aumento de corriente proporcional a la concentración del aditivo. Las ecuaciones lineales de valores de corriente de picos anódicos y catódicos fueron  $y = -0.014x + 0.0163$  ( $R^2 = 0.859$ ), e  $y = 0.004x - 0.168$  ( $R^2 = 0.020$ ), respectivamente.

**Gráfica 6. Valores de corriente de picos anódicos y catódicos según concentración de OG a pH 9. Fuente: completamente generada por el autor.**



Se evidenció un máximo de corriente en el pico anódico de 0.128 mA y un mínimo de corriente catódica de -0.125 mA. Además, el comportamiento de la corriente eléctrica de picos anódicos y catódicos fue de tipo senoidal que, con ayuda de líneas de tendencia, pudo establecerse un comportamiento más evidente de la corriente anódica y catódica con el aumento de la concentración de OG.

Se denotó un aumento de la corriente de picos anódicos y una disminución en los catódicos con el aumento de la concentración de OG. Las ecuaciones de tendencia lineal fueron, para picos anódicos de  $y = 0.016x + 0.083$ , y para los catódicos  $y = -0.009x - 0.093$ , ambas ecuaciones con valores  $R^2$  cercanos a 0.200.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A pH 5 se denotaron valores de corriente a 0% de OG en el pico anódico de 0.016 y catódico de -0.02 mA, el valor de corriente de mayor valor absoluto fue la del pico catódico, y una diferencia entre éstos de 4 milésimas, favoreciendo al proceso de reducción en la biopelícula de forma muy tenue. A concentraciones de OG mayores a 0.50% la pendiente de valores de corriente picos anódicos fue de 0.014 y de -0.004 para los picos catódicos, indicando una disminución más notable de corriente anódica que aumento de la catódica con el aumento de la concentración de OG; lo anterior evidencia favorecimiento del proceso de reducción en la biopelícula. Esto puede denotarse en los cocientes de valores de corriente de picos anódicos y catódicos, valores menores a 1, con corrientes anódicas hasta un 20% menores que los valores de corriente catódica. La cercanía a 1 de los cocientes también denotó reversibilidad de los procesos redox analizados en la biopelícula.

A pH 9 se denotó una disminución de los valores de corriente anódica y disminución de la catódica con el aumento de la concentración de OG, comportamiento contrario al de pH 5. Los valores de corriente anódica fueron hasta un 60% mayores que los valores de corriente catódica. A 0% de OG, los valores de corriente de pico anódico y catódico fueron de 0.097 mA y de -0.120 mA respectivamente, favoreciendo en un 10.17% al proceso de reducción. Los valores de corriente anódica y catódica a pH 9 y 0% de OG, fueron 2.21 y 6 veces los valores obtenidos a pH 5 y 0% de OG, respectivamente, mostrando una mayor actividad electroquímica a pH 9. En el mismo pH se evidenció una alternancia en el favorecimiento de procesos de oxidación-reducción, el de oxidación en las concentraciones de 0.25%, 0.75%, 1.25% y 1.75% de OG, mientras el proceso de reducción se vio favorecido a 0%, 0.50%, 1.00% y 1.50% de OG. Aun así, los valores de corriente de picos catódicos obtuvieron una pendiente de tendencia lineal  $\sim 1.8$  veces el valor de la pendiente de picos anódicos, favoreciendo al proceso de oxidación. Igualmente, los cocientes de valores de corriente de picos anódicos y catódicos, fueron cercanos a 1, indicando reversibilidad en el proceso redox.

Por ende, se plantea, que el pH juega un rol importante en el movimiento de especies iónicas y en el conjunto de transportadores de carga del sistema, también puede regular el estado de ionización del OG dada su conformación físico-química (Chaparro et al., 2014), y el de los compuestos que conforman la matriz de la biopelícula (AY y plastificantes). Altos valores de pH favorecen la desprotonación de los grupos funcionales del OG, aumentando su densidad de carga negativa y el número de especies reductoras, además de los valores de corriente de picos anódicos sobre los catódicos con el aumento de la concentración de OG. A bajos valores de pH los iones  $H^+$  pueden competir con otros cationes en la matriz del biopolímero, como grupos hidroxilados de los plastificantes y del AY, además, el OG posee abundantes hidrógenos de la forma (OG)-H aumentando la densidad de carga positiva de la biopelícula y favoreciendo el proceso de reducción, adquisición de electrones.

Claramente la fabricación de las biopelículas a pH 5 tiene un efecto negativo sobre la transmisión de corriente, nótese los cocientes entre valores de corriente de picos anódicos y catódicos a 0% de OG entre pH 5 y 9, donde este último alcanza valores de corriente de hasta 6 veces los valores de corriente en picos anódicos y catódicos a pH 5. El OG está cargado negativamente, la fabricación de las biopelículas a pH 5 puede producir una neutralización de las cargas negativas del OG debido a la abundancia de las cargas positivas adicionadas en la fabricación y establecimiento del pH de las biopelículas. Además, la interacción iónica dada por los iones  $H^+$  a pH 5 y la densidad de carga negativa del OG, puede aumentar conforme aumenta la concentración de OG, dejando menores especies oxidantes disponibles para reducirse.

\*Este capítulo es resultado del trabajo de grado, realizado como requerimiento para la obtención del título de Biólogo otorgado por la Universidad de Sucre (pregrado), que contó con la participación y financiación del Grupo de Investigación CHRIA, y personal.



## REFERENCIAS



- Aguirre, F. (2015). Síntesis y caracterización de capas conductoras de Oxido de grafeno (GO): propiedades vibracionales bajo condiciones extremas de presión y temperatura. Trabajo final de Máster: Facultad de Ciencias de la Universidad de Cantabria, pp. 50.
- Arrieta, A., Jaramillo, A. (2014). Bioplásticos eléctricamente conductores de almidón de yuca. *Revista Colombiana de Materiales*, (5):42-49.
- Arrieta, Á., Durango, L., Arizal, E. (2018). Estudio de las propiedades absorbentes de un biopolímero a base de almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Espacios*, 39(53):1-15.
- Casey, K., Lichrou, M., Fitzpatrick, C. (2019). Treasured trash? A consumer perspective on small Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) divestment in Ireland. *Resources, Conservation and Recycling*, 145:179-189.
- Chaparro, C., Cabanzo, R., Mejía, E. (2014). Estudio de la absorción de azul de metileno sobre óxido de grafeno. *Revista Colombiana de Materiales*, 5:131-139.
- Hahladakis, J., Velis, C., Weber, R., Lacovidou, E., Purnell, P. (2018). An overview of chemical additives present in plastics: migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of hazardous materials*, 344(2018):179-199.
- Lara, A. (2015). Evaluación de la residualidad de plaguicidas en papa (*Solanum tuberosum*) cultivada en Ventaquemada (Boyacá). Trabajo final de Máster: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UTPC, pp. 105.
- Marcano, D., Kosynkin, D., Berlin, J., Sinitskii, A., Sun, Z., Slesarev, A., Tour, J. (2010). Improved Synthesis of Graphene Oxide. *American Chemical Society*, 4(8):4806-4814.
- Matignon, A., Tecante, A. (2017). Starch retrogradation: From starch components to cereal products. *Food Hydrocolloids*, 68:43-52.
- Qiao, D., Yu, L., Bao, X., Zhang, B., Jiang, F. (2017). Understanding the microstructure and absorption rate of starch-based superabsorbent polymers prepared under high starch concentration. *Carbohydrate polymers*, 175:141-148.
- Ren, S., Rong, P., Yu, Q. (2018). Preparations, properties and applications of graphene in functional devices: A concise review. *Ceramics International*, 44(11):11940-11955.
- Rodríguez, C., Kharissova, O. (2008). Propiedades y aplicaciones del grafeno. *Ingenierías*, 11(38):17-23.
- Segura, D., Noguez, R.,
- Espín, G. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. *Biotecnología*, 14(23):361-371

# DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE SOSTENIBILIDAD DEL SECTOR HOTELERO EN EL MUNICIPIO DE ARMENIA-QUINDIO (COLOMBIA)

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/09/2019 ACEPTADO: 15/03/2020 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/07/2020

### DETERMINATION OF THE SUSTAINABILITY FACTORS OF THE HOTEL SECTOR IN THE MUNICIPALITY OF ARMENIA - QUINDIO (COLOMBIA)

<sup>1</sup> Valentina Barahona Campos

<sup>2</sup> Luis Miguel Mejía Giraldo

<sup>3</sup> Lina María Rios Pinilla

<sup>4</sup> Adriana María Zuluaga Monsalve

Como citar este artículo: Barahona et al., (2020) Determinación de los factores de sostenibilidad del sector hotelero en el municipio de Armenia- Quindio (colombia), revista Dynamikos 1 (2). Recuperado de: <https://teinco.edu.co/wp-content/uploads/2021/07/Revista-Dinamicos-No2.pdf>

## RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación se basa principalmente en analizar los factores de sostenibilidad en el sector hotelero en el municipio de Armenia, dentro del marco que abarca la dimensión social, económica y ambiental que se ven involucrados en dichos componentes. De esta forma, se busca identificar los avances que se han alcanzado en la industria hotelera frente al cumplimiento de la normatividad vigente que brinda dirección hacia la sostenibilidad. Para el desarrollo del proyecto, en primer lugar, se realizan encuestas en algunos alojamientos turísticos ubicados en la zona urbana de Armenia, y con base a los datos recopilados se busca reconocer el impacto que tienen las actividades que se desarrollan en los alojamientos en cuanto a los elementos sobresalientes de la dimensión de recursos turísticos actuales, socioeconómicos y sostenibilidad ambiental que se presentan en los establecimientos a través de un análisis estadístico utilizando el software Statgraphics. En segundo lugar, se realiza un análisis de Inercia y Descomposición de valores Chi<sup>2</sup> cuadrado con el objetivo de identificar que variable(s) presenta(n) mayor correlación con las demás variables estudiadas. Posteriormente, conociendo la(s) variable(s) del punto anterior, se comprende que debe(n) fortalecerse, prosiguiéndose a brindar alternativas de solución por medio de medidas que pueden ser ejecutadas por los establecimientos hoteleros, siendo orientados a una sostenibilidad ambiental dentro del establecimiento y a nivel corporativo.

**PALABRAS CLAVE:** Recursos naturales, desarrollo sostenible, desarrollo corporativo, servicio de hotelería, gestión.

## ABSTRACT

The following research work is mainly based on analyzing the sustainability factors in the hotel sector in the municipality of Armenia, within the framework that encompasses the social, economic and environmental dimension involved in these components. In this way, it seeks to identify the advances that have been made in the hotel industry in the face of compliance with current regulations that provide direction towards sustainability. For the development of the project, in the first place, surveys are carried out in some tourist accommodation located in the urban area of Armenia, and based on the data collected, it is sought to recognize the impact that the activities carried out in the accommodation have in terms of Outstanding elements of the dimension of current tourist resources, socioeconomic and environmental sustainability that are presented in the establishments through a statistical analysis using the Statgraphics software. Second, an analysis of Inertia and Decomposition of Chi-squared values is carried out in order to identify which variable (s) presents / displays the highest correlation with the other variables studied. Subsequently, knowing the variable (s) of the previous point, it is understood that it must be strengthened, continuing to provide alternative solutions through measures that can be executed by hotel establishments being oriented towards environmental sustainability within the establishment and at the corporate level.

**KEYWORDS:** Natural resources, sustainable development, corporate development, hotel service, management.

- 1[CV] Ingeniera Geógrafa y ambiental de la Facultad de Ingenierías Universidad La Gran Colombia Sede Armenia, UGC, Colombia – barahonacamvalentina@miugca.edu.co – <https://orcid.org/0000-0002-9150-6255>
- 2 [CV] Docente Investigador Facultad de Ingenierías, Líder Grupo de Investigación Agroindustrialización GIDA - Universidad La Gran Colombia, UGCA, Colombia – mejiaagluismiguel@miugca.edu.co- <https://orcid.org/0000-0003-2940-0115>.
- 3 [CV] Docente investigadora y Líder Facultad de Ingenierías, Líder Grupo de Investigación Eje Cafetero, Ciencia, Ingeniería e Industria. – Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt - linarios87@cue.edu.co - <http://orcid.org/0000-0001-7330-1013>
- 4 [CV] Docente investigadora Líder de Investigaciones, Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt. azuluga@cue.edu.co Traducción de Luis Miguel Mejía Giraldo (Ingeniero Agrónomo – M. Sc. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente - UGCA) - <https://orcid.org/0000-0001-5524-3059>

## RESUMO

O seguinte trabalho de investigação baseia-se principalmente na análise dos fatores de sustentabilidade no setor hoteleiro no município da Arménia, no quadro que engloba a dimensão social, económica e ambiental envolvida nestes componentes. Dessa forma, busca identificar os avanços que vêm ocorrendo na indústria hoteleira frente ao cumprimento das normas vigentes que direcionam para a sustentabilidade.

Para o desenvolvimento do projeto, em primeiro lugar, são realizados inquéritos em alguns alojamentos turísticos localizados na zona urbana da Arménia e, com base nos dados recolhidos, procura-se reconhecer o impacto que as actividades desenvolvidas no alojamento têm ao nível do Elementos destacados da dimensão dos recursos turísticos atuais, da sustentabilidade socioeconómica e ambiental que se apresentam nos estabelecimentos através de uma análise estatística no software Statgraphics. Em segundo lugar, é realizada uma análise de Inércia e Decomposição dos valores do Qui-quadrado para identificar qual (is) variável (is) apresenta / exhibe a maior correlação com as demais variáveis estudadas. Posteriormente, conhecendo a (s) variável (es) do ponto anterior, entende-se que a mesma deve ser reforçada, continuando a fornecer soluções alternativas através de medidas que possam ser executadas pelos estabelecimentos hoteleiros orientados para a sustentabilidade ambiental dentro do estabelecimento e no nível corporativo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Recursos naturais, desenvolvimento sustentável, desenvolvimento corporativo, hotelaria, gestão.

## SUMARIO:

[El sumario va en un sólo párrafo, a punto y seguido, con un punto después de cada número. Todos los epígrafes del sumario han de ir numerados en caracteres arábigos.]

Sumario: 1. Introducción. 2 Método. 2.1.1. Estrategias metodológicas. 2.1.2. Población y muestra. 2.1.3. Instrumentos de recogida de información. 2.1.4. Procedimiento. 3. Resultados. 4. Discusión y conclusiones. 5. Referencia bibliográficas.

Contents: 1. Introduction. 2 Method 2.1.1. Methodological strategies. 2.1.2. Population and sample. 2.1.3. Information collection instruments. 2.1.4. Process. 3. Results. 4. Discussion and conclusions. 5. Bibliographic reference.

## 1. INTRODUCCIÓN

La actividad turística con el paso de los años se está posicionando dentro sector económico de algunas ciudades del mundo, involucrando directamente la sostenibilidad del planeta. Es por ello, que se tiene proyectado que el turismo continuara creciendo y fortaleciéndose como una de las actividades más importantes tanto a nivel mundial como en los destinos turísticos. SNV, Rainforest Alliance &Counterpart International, (2016).

Con base a lo anterior, se resalta la importancia de que en los distintos destinos turísticos se direccionen hacia un turismo sostenible, que según la Organización Mundial de Turismo este es definido como “aquel que satisface las necesidades presentes de los turistas y de las regiones donde se lleva a cabo el turismo, a la vez que protege y mejora las oportunidades para el futuro” citado por SNV, Rainforest Alliance &Counterpart International, (2016).

Acerca de la actividad turística en el departamento del Quindío, inicia en la década de los años 90 después de que se diera la crisis del café, esta situación obligo a que la economía se orientara.

En este sentido, el departamento del Quindío se ha logrado convertir en un destino turístico llamativo para los visitantes debido a permite el desarrollo de aspectos de ocio, culturales y de negocios, entre otros; brindándole a los turistas distintas tipologías de turismo como ecoturismo, agroturismo, aventura, turismo rural etc; así como también contando con riqueza en paisajes, en especies de fauna y flora, a su vez, proporcionando acceso a servicios característicos del turismo

así como lo son los parques temáticos, servicios deportivos y recreativos. Contando también con servicios hoteleros, centros comerciales, servicios de transporte aéreo y terrestre para la movilidad y comodidad de los visitantes que llegan al Quindío.

Retomando lo anterior es por ello que, se escogió la ciudad de Armenia del departamento del Quindío conocida como “Ciudad Milagro”, que toma gran importancia debido a que es uno de los municipios que presentan mayor demanda a nivel turístico y hotelero en el departamento.

En la primera fase se inicia con la ejecución de encuestas en algunos hoteles ubicados en la zona urbana del municipio. Posteriormente, se prosigue con el procesamiento de la información con ayuda del software Statgraphics Stratus dando como resultados los primeros análisis estadísticos del diagnóstico que describe la situación que se evidencia en las dimensiones (recursos turísticos actuales, estructura socioeconómica y sostenibilidad ambiental), evidenciando la dinámica del sector y los posibles escenarios prospectivos de demanda. A continuación, se continua con el análisis de la determinación de la(s) variable(s) significativa(s) en la sostenibilidad del sector hotelero por cual se hace uso nuevamente del software Statgraphics aplicándose la técnica de Inercia y Decomposición Chi-cuadrado y por último se brindan las posibles alternativas de solución frente al fortalecimiento de la(s) variable(s) ambiental(es).

## 2. MÉTODO

área de estudio comprende el municipio de Armenia-Quindío, Colombia; este limita al norte con los municipios de Circasia y Salento, al oeste con el municipio de Montenegro, al este con Calarcá y al sur con Tebaida.

El trabajo tiene un enfoque empírico-analítico, soportado en el análisis de las variables de la sostenibilidad (ambiental, social y económica) en el sector hotelero del municipio de Armenia, que serán claves para lograr identificar aspectos relevantes en el área de estudio frente a una gestión adecuada de los distintos recursos desde los alojamientos de servicio turístico en la ciudad.

Se da inicio al desarrollo del proyecto mediante el conocimiento de la base de datos de los alojamientos hoteleros presentes en el municipio con un total de 138 establecimientos, 87 alojamientos en sector urbano y 51 en la parte rural, información obtenida de la alcaldía de Armenia. Posteriormente se decide trabajar con los establecimientos pertenecientes al área urbana, por cuestiones de movilidad para la ejecución de encuestas que serían aplicadas a algunos alojamientos.

Para determinar el número de alojamientos hoteleros que serían encuestados, cuya fórmula básica se da en distribución normal como se observa a continuación como lo plantean Mejía (2009) y Mejía (2013):

$$n = \frac{\left( Z \frac{\alpha}{2} \right)^2 * P * Q}{\varepsilon^2}$$

Dónde:

Se basa en la Distribución Normal Standard a nivel medio de significancia, debido que el proyecto se realiza de manera exploratorio, lo que permite entender que posee una confiabilidad de 95% y cuyo valor de tabla de distribución normal es 1,96.

P: Se trata de los Casos de Interés, se comienza desde un 50% de casos que se pueden presentar, lo que se entiende como una probabilidad de (0,5) Giraldo, (2013) de tener condiciones de sostenibilidad hotelera dentro del municipio de Armenia.

Q: Representa los casos de no interés, es decir, el 50% restante (0,5) de los casos que anteriormente no se tuvieron presentes Mejía (2013).

La ficha técnica se presenta a continuación:

| Tipo de Muestreo        | Aleatorio Simple |
|-------------------------|------------------|
| Nivel de confiabilidad  | 95%              |
| Error Máximo Permisible | 10%              |
| Tamaño de Muestra       | 29 Alojamientos  |

Tabla 1. Ficha técnica de muestreo Fuente: Autoría propia, (2019).

Con base al muestreo, se evidencio que se debían encuestar a 29 alojamientos.

Se prosigue aplicar las encuestas en algunos alojamientos de la zona urbana, la cual evalúa a través de un análisis estadístico descriptivo aspectos tales como (recursos turísticos actuales, estructura socioeconómica y sostenibilidad ambiental) haciendo uso del software Statgraphics stratus, con la información obtenida se puede conocer la dinámica del sector y los escenarios que podrían llegar a presentarse a través de la demanda.

A continuación, se realiza un análisis estadístico denominado análisis de Inercia y Descomposición de valores Chi-cuadrado véase tabla 2, el cual permite observar que variable(s) de las dimensiones tienen mayor correlación unas con las otras y de acuerdo a esto se identifica que variable(s) a nivel ambiental presenta(n) esta situación.

Como siguiente fase, se prosigue a brindar alternativas de solución que permitan lograr una sostenibilidad en el sector a nivel energético.

Para brindar las alternativas teniendo presente a la (AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGIA, 2003) publicado en la Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Establecimientos Hoteleros de la Comunidad Valenciana define que:

“Por otra parte, la distribución del consumo energético, entre energía eléctrica y energía térmica, demandada por un hotel, depende de varios factores: del tipo de hotel, de su situación, categoría, los servicios que ofrece, etc.” (p.28).

Por lo anterior, se decide seleccionar tres hoteles de los encuestados que mostraran diferencias en tipos y cantidades de servicios que se ofrecen a los turistas, así como también por ser alojamientos que por su tiempo de funcionamiento han aportado significativamente al sector económico del municipio.

A estos tres establecimientos se diseña y se aplica una nueva encuesta bajo la metodología Gestión Ambiental Rentable GAR-BGE focalizándola en el tema energético, esta actividad permite que se pueda realizar un acercamiento a las necesidades y requerimientos energéticos que son usados para cada establecimiento, y de las distintas áreas en el hotel (habitaciones, pasillos, baños, entre otros). Adicionalmente, las medidas que se presentan se realizan de acuerdo a cada tipo de alojamiento y además se brindan recomendaciones que podrían ser tomadas en cualquier hotel, para disminuir el consumo energético.

### 3. RESULTADOS

Para la identificación de los aspectos económicos, sociales y ambientales de mayor relevancia en el sector hotelero se apreció lo siguiente:

#### 3.1 IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS RELEVANTES DE LA DIMENSIÓN DE RECURSOS TURÍSTICOS ACTUALES

De acuerdo al análisis descriptivo realizado se encontraron algunos aspectos tales como:

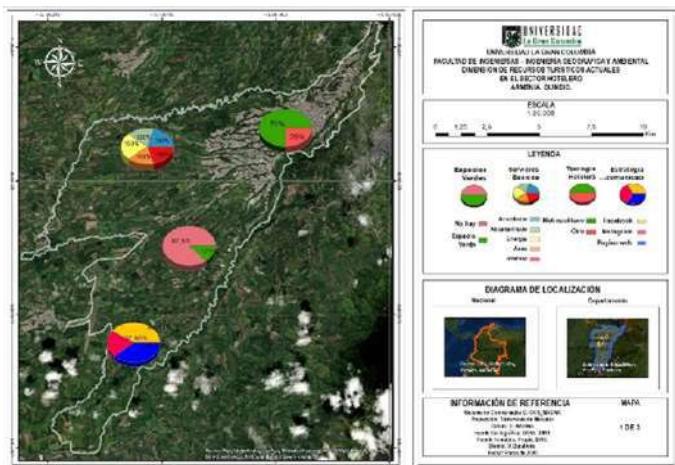
Los alojamientos hoteleros encuestados presentan una cobertura del 100% en los servicios básicos (acueducto, alcantarillado, energía, aseo e internet), lo que permite que los turistas puedan contar con la comodidad de estos servicios y por otro lado, este cumplimiento hace que sea una opción favorable al momento en que los turistas deseen escoger el alojamiento.

Las estrategias de comunicación más utilizadas en el sector hotelero son de acuerdo a la encuesta: facebook con 83,33%, seguido por página web con un 79,17% y por último instagram con 37,50%, es oportuno nombrar, que estas estrategias permiten que los turistas puedan conocer los servicios que se prestan, realizar reservas, entre otros.

Un 87,50% de los alojamientos encuestados no cuentan con espacios verdes (jardines, parques, zonas de bosque, entre otras), esta característica se debe a que los alojamientos pertenecen al área urbana del municipio, por lo que en su mayoría son infraestructuras que no cuentan con el espacio suficiente para tener zonas verdes.

Se observa que el 75 % de los señores hoteleros consideran que Armenia tiene una tipología de turismo metropolitano. Esto se debe a que, la mayoría de los alojamientos consideran que el hotel es visitado por cuestiones de trabajo y porque su ubicación es en la ciudad.

Figura 1. Mapa de recursos turísticos actuales.



Fuente: Los Autores (2019)

#### 3.2 IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS RELEVANTES DE LA DIMENSIÓN SOCIO-ECONÓMICA

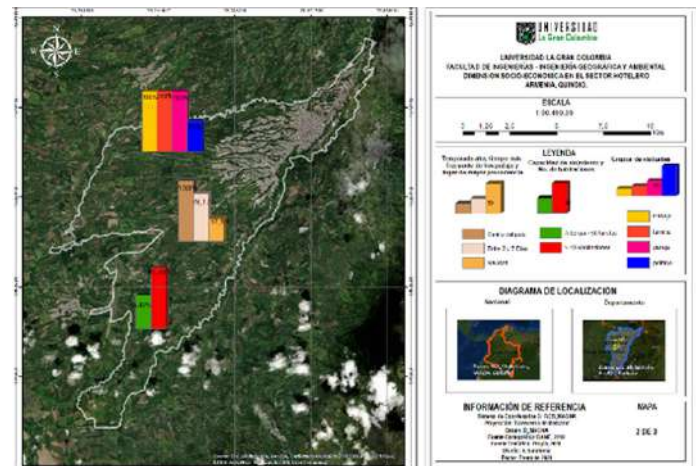
En la identificación de la información socio-economica se obtiene que:

Los diferentes grupos por los que suelen ser visitados los alojamientos, teniendo presente que las variables que se midieron (grupo de trabajo, familiares, parejas y políticos) se analizan en un rango de 0-100%, se obtuvo que el 100% de los hoteles tienen la presencia de grupos de trabajo, así como por grupos familiares y de parejas, aunque también se aprecia que un 50% perteneciente al grupo político. Se logra observar que, el principal motivo de visita de turistas es por cuestiones de trabajo.

Se evidencio que un 100% de los turistas provienen de la zona centro del país lo que significa que es la zona más influyente en la parte turística en Armenia, especialmente esta población viene por temas de trabajo a la ciudad, se observa además que un 79,17% de los turistas suelen hospedarse entre 2 y 7 días. Por otro lado, la temporada en que se evidencia una mayor cantidad de turistas es en la fin de año (navidad) con un 37,50%, por lo que suele ser una temporada alta donde las tarifas suben.

El 45,83% de los establecimientos tienen la capacidad de albergar a más de 50 turistas y el 83,33% posee más de 10 habitaciones, lo que es un aspecto positivo debido a que por su magnitud puede albergar a más huéspedes y por ende poder recibir mayor número de ingresos.

Figura 2. Mapa de estructura socio-económica.



Fuente: Los Autores (2019)

#### 3.3 IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS RELEVANTES DE LA DIMENSIÓN DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

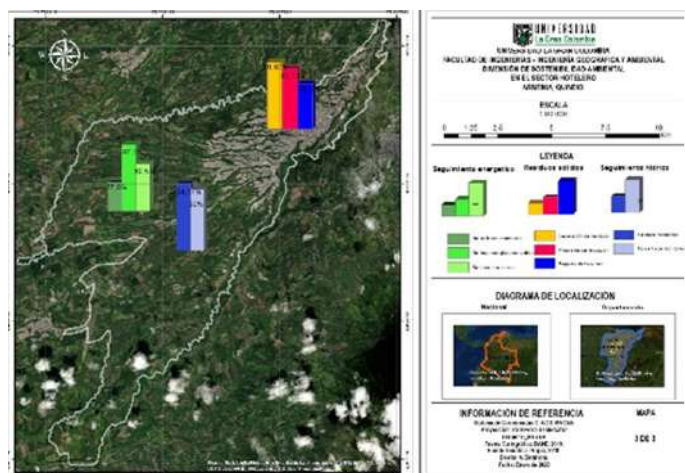
El 87,50 % de los establecimientos turísticos no cuentan con energías renovables, lo que significa que las energías alternativas aún no se encuentran como una opción para algunos de los establecimientos como fuentes para el abastecimiento de estos.

El 91,67% de los alojamientos realizan separación de residuos sólidos, el 83,33% implementan programas para reducir la generación de los residuos sólidos y el 62,50% realizan un registro de volumen total de desechos producidos. Se identifica que la mayoría de los establecimientos tienen presente su responsabilidad frente al manejo y control de los residuos sólidos que producen.

En el tema energético el 62,50% de los encuestados realizan un monitoreo del consumo de energía, el 54,17% de los establecimientos realizan una vez al mes monitoreo y el 37,5% no realiza monitoreo. Estas medidas permiten que los establecimientos puedan conocer sobre su consumo de energía y realizar acciones que orienten a una gestión energética.

En cuanto al monitoreo del agua se tiene que el 54,17% de los encuestados realizan monitoreo de cantidad de agua, el 41,67% realizan una vez al mes un registro del volumen del agua consumida, y el 50% no realiza control de monitoreo del recurso. Es oportuno, resaltar que al realizar el monitoreo se puede detectar falencias y buscar las alternativas que orienten hacia un uso adecuado y a la conservación del agua.

Figura 3. Mapa de sostenibilidad ambiental.

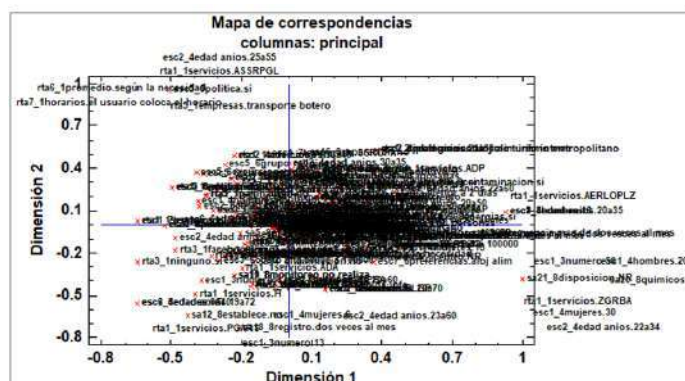


Fuente: Los Autores (2019)

### 3.4 DETERMINACIÓN DE VARIABLES SIGNIFICATIVAS DE SOSTENIBILIDAD EN DICHA INDUSTRIA HOTELERA

Desde el contexto estadístico, se realizó el Análisis de Inercia y Descomposición Chi-cuadrado, encontrándose a través del mapa de correspondencias, en el cual se observa la correlación que se presentan entre las variables estudiadas pertenecientes a cada dimensión (recursos turísticos actuales, sostenibilidad ambiental y estructura socio- económica).

Figura 4. Mapa de correspondencias.



Fuente: Los Autores (2019)

Tabla 2. Contribuciones de categorías

|    |                                         |       |     |       |       |
|----|-----------------------------------------|-------|-----|-------|-------|
| 2  | sa11_8monitoreo.no realiza              | 0.768 | 0.0 | 0.005 | -     |
| 19 |                                         |       | 04  |       | 0.127 |
| 3  | sa11_8monitoreo.mad.de dos veces al mes | 0.669 | 0.0 | 0.007 | 0.7   |
| 20 |                                         |       | 02  |       | 38    |
| 2  | sa11_8monitoreo.no realiza              | 0.768 | 0.0 | 0.005 | -     |
| 21 |                                         |       | 04  |       | 0.127 |
| 2  | sa11_8monitoreo.una vez al mes          | 0.653 | 0.0 | 0.003 | -     |
| 22 |                                         |       | 07  |       | 0.044 |
| 2  | sa12_Bestablece.no                      | 0.444 | 0.0 | 0.005 | -     |
| 23 |                                         |       | 01  |       | 0.430 |
| 2  | sa12_Bestablece.si                      | 0.466 | 0.0 | 0.000 | 0.0   |
| 24 |                                         |       | 12  |       | 32    |
| 2  | sa13_Benergias.no                       | 0.592 | 0.0 | 0.001 | -     |
| 25 |                                         |       | 11  |       | 0.125 |
| 2  | sa13_Benergias.si                       | 0.597 | 0.0 | 0.006 | 0.6   |
| 26 |                                         |       | 02  |       | 00    |
| 2  | sa14_Biluminacion.no                    | 0.217 | 0.0 | 0.004 | -     |
| 27 |                                         |       | 03  |       | 0.149 |
| 2  | sa14_Biluminacion.si                    | 0.234 | 0.0 | 0.001 | 0.0   |
| 28 |                                         |       | 11  |       | 31    |
| 2  | sa15_Reducir.no                         | 0.289 | 0.0 | 0.004 | -     |
| 29 |                                         |       | 03  |       | 0.255 |
| 2  | sa15_Reducir.si                         | 0.297 | 0.0 | 0.001 | 0.0   |
| 30 |                                         |       | 10  |       | 67    |

Fuente: Los Autores (2019)

Una vez se identifica que el recurso energético es aquel al cual se le debe prestar mayor atención dentro del sector hotelero se prosiguió a brindar alternativas de mejoramiento que puedan contribuir a un fortalecimiento dentro del sector, aspecto abordado en la discusión respectivamente.

### 3.5 ACCIONES QUE PUEDEN FORTALECERSE DENTRO DEL ALOJAMIENTO HOTELERO A NIVEL ENERGÉTICO

Con base en lo anteriormente expuesto y en aras de determinar su potencial de aplicación en el contexto hotelero, se apreciaron y definieron una serie de estrategias tendientes a la sostenibilidad corporativa y para ello se seleccionaron tres alojamientos hoteleros de los que se encuestaron anteriormente, que presentan distintas características de acuerdo al tema de los servicios que ofrecen a los turistas.

Para contextualizar un poco el alojamiento 1 se ubica en el sector norte de la ciudad, se caracteriza por ser un alojamiento de alta envergadura y por su actualización y cumplimiento constante en el tema ambiental. A continuación, se presentan algunas características del alojamiento (ver tabla 3):

Tabla 3. Información del alojamiento 1.

| INSTALACIONES Y SERVICIOS | Habitaciones, Restaurantes, Recepción, Ascensor, Locales Para Alquilar, Salones de Eventos, Oficinas, Parqueadero, Lavandería, Cocina, Zona Humedad (Piscina, Sauna, Jacuzzi, Turco y Gimnasio) |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| APLICACIONES ENERGÉTICAS  | iluminación, aire acondicionado, conectar aparatos y electrodomesticos, calentador de agua (habitaciones y piscina) electricidad para el ascensor.                                              |
| ENERGÍAS                  | electricidad, solar, gas                                                                                                                                                                        |
| CONSUMO (kWh/mes)         | En los ultimos tres meses:<br>Mayo: 34.443<br>Junio:35.254<br>Julio: 33.948                                                                                                                     |
| COSTE (pesos)             | Mayo: 17.520.284<br>Junio: 20.241.748<br>Julio: 17.966.270                                                                                                                                      |

Fuente: Los Autores (2019)

El alojamiento 2 se caracteriza por encontrarse en la zona céntrica de la ciudad y tener una infraestructura de menor envergadura a continuación se presentan algunas características del alojamiento (ver tabla 4):

Tabla 4. Información del alojamiento 2.

| INSTALACIONES Y SERVICIOS | Habitaciones, Restaurantes, Recepción, Ascensor, Locales Para Alquilar, Salones de Eventos, Oficinas, Parqueadero, Lavandería, Cocina, Zona Humedad (Piscina, Sauna, Jacuzzi, Turco y Gimnasio) |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| APLICACIONES ENERGÉTICAS  | iluminación, aire acondicionado conectar aparatos y electrodomesticos calentador de agua (habitaciones)                                                                                         |
| ENERGÍAS                  | Electricidad, Gas                                                                                                                                                                               |
| CONSUMO (kWh/mes)         | En los ultimos tres meses:<br>Mayo: 489.73<br>Junio: 494.77<br>Julio: 481.54                                                                                                                    |
| COSTE (pesos)             | Mayo: 3.187.000<br>Junio: 3.067.570<br>Julio: 2.819.710                                                                                                                                         |

Fuente: Los Autores (2019)

El alojamiento 3 se reconoce por tener una trayectoria hotelera en el municipio de Armenia, además se encuentra ubicado en la zona centro de la ciudad. (Véase tabla 5).

Tabla 5. Información del alojamiento 3.

| INSTALACIONES Y SERVICIOS | Habitaciones, Restaurantes, Recepción, Ascensor, Locales Para Alquilar, Salones de Eventos, Oficinas, Parqueadero, Lavandería, Cocina, Zona Humedad (Piscina, Sauna, Jacuzzi, Turco y Gimnasio) |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| APLICACIONES ENERGÉTICAS  | Iluminación, conectar aparatos y electrodomesticos, calentador de agua (habitaciones) electricidad para el ascensor                                                                             |
| ENERGÍAS                  | Electricidad, Gas                                                                                                                                                                               |
| CONSUMO (kWh/mes)         | En los ultimos tres meses:<br>Mayo:<br>Junio:<br>Julio:                                                                                                                                         |
| COSTE (pesos)             | Mayo:<br>Junio:<br>Julio:                                                                                                                                                                       |

Fuente: Los Autores (2019)

acciones que pueden fortalecerse dentro del alojamiento hotelero a nivel energético. Con base al instrumento aplicado de la encuesta bajo la metodología Gestión Ambiental Rentable GAR-BGE, se logra identificar algunas alternativas que pueden brindarse para fortalecer la gestión energética dentro de los alojamientos encuestados del municipio de Armenia.

#### Alojamiento 1

A continuación, se proponen algunas alternativas de acuerdo a algunas áreas en donde debe fortalecerse la gestión del recurso en el hotel y que además contribuyen a una disminución del consumo de energía dentro del establecimiento:

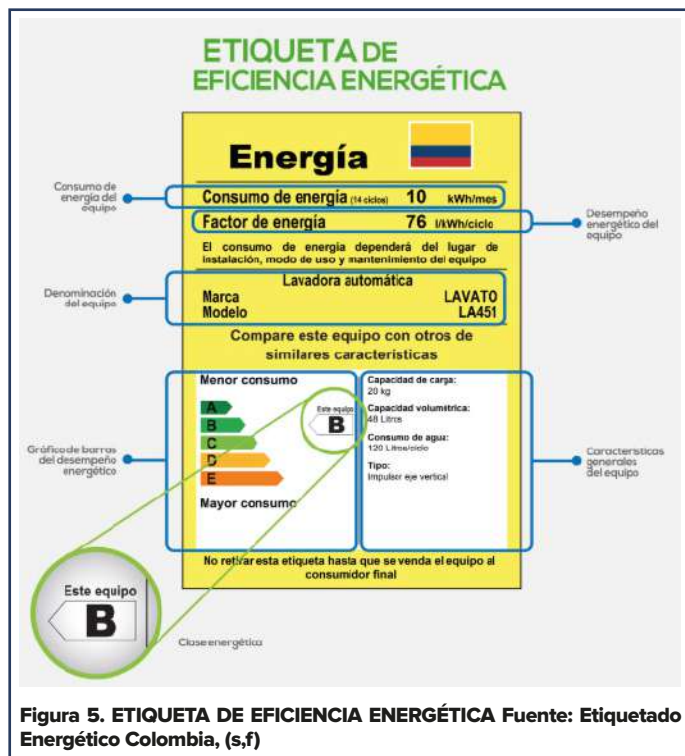
| SERVICIO DE AIRE ACONDICIONADO                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alternativa<br>Se recomienda que el personal del establecimiento y los turistas mantengan el aire acondicionado entre una temperatura de 23 y 25 °C. Consejo Nacional de Energía, (2017).                                                              |
| SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN                                                                                                                                                                                                                               |
| Alternativa<br>Plantar más especies vegetales en materos<br>Muros vivos para ambientes interiores pasivos. Acosta, (2011).                                                                                                                             |
| SISTEMA DE ILUMINACIÓN                                                                                                                                                                                                                                 |
| Alternativa<br>Se recomienda colocar mas detectores de movimiento en otras áreas del hotel así como: los pasillos, la zona de las escaleras, depositos, entre otros. Lo que permitira que se de iluminación en zonas que son transitadas por turistas. |
| SERVICIO DE COCINA (REFRIGERACIÓN)                                                                                                                                                                                                                     |
| Alternativa<br>Se recomienda colocar en los refrigeradores, neveras y otros electrodomesticos, recordatorios de las medidas que deben de tomarse con estos aparatos electronicos para generar el menor consumo energético.                             |

#### Alojamiento 2

A continuación, se presentan las medidas que se brindan para el alojamiento 2 teniendo presente las áreas que se pueden fortalecer para una disminución del consumo de energía.

| SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alternativa<br>Plantar más especies vegetales en materos. Muros vivos para ambientes interiores pasivos. Acosta, (2011).                                                                                                                                                                                                         |
| SISTEMA DE ILUMINACIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Alternativa<br>Se recomienda colocar mas detectores de movimiento en otras áreas del hotel así como: los pasillos, la zona de las escaleras, depositos, entre otros. Lo que permitira que se de iluminación en zonas que son transitadas por turistas.                                                                           |
| SISTEMA DE COCINA (REFRIGERACIÓN)                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Alternativa<br>Se recomienda colocar en los refrigeradores, neveras y otros electrodomesticos, recordatorios de las medidas que deben de tomarse con estos aparatos electronicos para generar el menor consumo energético.                                                                                                       |
| RECOMENDACIONES AL COMPRAR NUEVOS EQUIPOS                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Alternativa<br>Se le recomienda al alojamiento hotelero que al realizar compra de nuevos equipos electrónicos verifique la etiqueta de eficiencia energética que presenta la información de consumo e indicador de desempeño energético, a que clasificación de desempeño pertenece y a las características técnicas del equipo. |

#### Alojamiento 3



#### SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

Alternativa  
Plantar más especies vegetales en muros.  
Muros vivos para ambientes interiores pasivos. Acosta, (2011).

#### SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Se recomienda al establecimiento el considerar realizar el cambio de los vidrios de las ventanas para que permitan el paso de mayor iluminación. Por ejemplo: Cristal flotado claro: este como material de construcción ofrece diversas funciones como visibilidad, iluminación natural y protección del exterior. Vitromart, (2011).

Se recomienda al alojamiento colocar mas detectores de movimiento en otras áreas del hotel transitadas así como, los otros pasillos del hotel, la zona de las escaleras, depositos, en baños y salones comunales, entre otros.

#### SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Alternativa  
Se recomienda colocar en la nevera recordatorio de las medidas que deben de tomarse con estos aparatos electronicos para generar el menor consumo energetico.  
Mantener limpia la nevera: aunque sea una vez al año.  
Mantener limpio el congelador, debido a que el hielo actúa como un tipo de aislante que hace que se pierda hasta el 30% de la energía.

#### RECOMENDACIONES AL COMPRAR NUEVOS EQUIPOS

Se le recomienda al alojamiento hotelero que al realizar compra de nuevos equipos electrónicos verifique la etiqueta de eficiencia energética que presenta la información de consumo e indicador de desempeño energético, a que clasificación de desempeño pertenece y a las características técnicas del equipo.

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4. Discusión y Conclusiones

El municipio de Armenia no cumple en su totalidad con las características perteneciente a la tipología hotelera metropolitana, sin embargo, es la que más se acerca al tipo de turismo que se presenta.

El gobierno local debe iniciar con medidas para incentivar la participación de los alojamientos hoteleros en la gestión adecuada del recurso energético, incluyendo incentivos económicos.

Los alojamientos hoteleros tienen conocimiento de algunas medidas para el ahorro energético, pero algunas no las ponen en práctica, sin embargo, es fundamental que los establecimientos comiencen a invertir en máquinas, equipos, tecnología y a realizar prácticas que contribuya al ahorro en el consumo del recurso.

Se identifica en el municipio de Armenia específicamente en la zona urbana predomina un turismo de negocios donde se evidencia que un 100% de los turistas que visitan los alojamientos provienen por grupos de trabajo, suelen hospedarse en un 79,17% la mayoría de los huéspedes entre 2-7 días y la tarifa en temporada alta de los hoteles encuestados en un 50% deducen que tienen un costo mayor a 100.000 pesos por noche.

En la dimensión de sostenibilidad ambiental se logra identificar que de los alojamientos que fueron encuestados solo el 12,50% de los alojamientos cuentan con espacios verdes (parques, jardines, zonas de bosque, entre otros), y el 87,50% de los establecimientos no cuentan con alguna energía alternativa para abastecer el consumo energético.



## REFERENCIAS



- **Á. C. Acosta. SISTEMAS VEGETALES VERTICALES, 2011.**
- **AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGIA. “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Establecimientos Hoteleros de la Comunidad Valenciana”, 2003.**
- **Etiquetado Energetico Colombia. (s,f). Etiquetado Energetico Colombia. [online]. Available: <http://www.etiquetaenergetica.gov.co/equiposeficientes/view/minisite1.html>.**
- **Mejía, L.M. (2013). Analisis de las condiciones de sostenibilidad del sector productor del plátano del departamento del Quindío bajo el contexto del Reporte Inicial Global (GRI), 2013.**
- **Mejía, L.M (2009). Análisis Estadístico de Sistemas Ecológicos. [https://www.ugc.edu.co/sede/armenia/files/editorial/analisis\\_estadistico\\_de\\_sistemas\\_ecologicos.pdf](https://www.ugc.edu.co/sede/armenia/files/editorial/analisis_estadistico_de_sistemas_ecologicos.pdf)**
- **SNV. Rainforest Alliance. Counterpart International. “Guía de Buenas Practicas de Turismo Sotenible para Comunidades en Latinoamerica”, 2016.**
- **Vitromart. (2011,01). Vitromart. [online]. Available: [http://www.vitromart.net/documentos/folleto/Arquitectonico/Manual%20de%20usos%20y%20aplicaciones\\_catalogoproductos.pdf](http://www.vitromart.net/documentos/folleto/Arquitectonico/Manual%20de%20usos%20y%20aplicaciones_catalogoproductos.pdf)**

# ESTRATEGIA Y PROPUESTA DE SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE INTERNET DE LAS COSAS PARA UNA PLATAFORMA DE AGRICULTURA 4.0 MEDIANTE ESTADÍSTICO NUMÉRICO

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/09/2019 ACEPTADO: 15/03/2020 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/07/2020

### STRATEGY AND PROPOSAL FOR THE SELECTION OF INTERNET TECHNOLOGIES OF THINGS FOR AN AGRICULTURE 4.0 PLATFORM THROUGH NUMERICAL STATISTICS

<sup>1</sup> Jhonatan Paolo Tovar Soto, <sup>2</sup> Carlos Francisco Pareja Figueredo, <sup>3</sup> Luis Carlos Gutiérrez Martínez

Como citar este artículo: Tovar et al., (2020) Estrategia y propuesta de selección de tecnologías de internet de las cosas para una plataforma de agricultura 4.0 mediante estadístico numérico, revista Dynamikos 1 (2). Recuperado de: <https://teinco.edu.co/wp-content/uploads/2021/07/Revista-Dinamicos-No2.pdf>

#### RESUMEN

Para el año 2015, las Naciones Unidas establecieron la agenda definida hasta el 2030 llamada Objetivos de Desarrollo Sostenible, en donde el objetivo 9 -Industria, innovación e infraestructuras- plantea que existe un alto potencial de inclusión de tecnologías para fortalecer los agronegocios, debido a que en los países en desarrollo tan sólo el 30% de la producción en el sector agrícola posee procesos industriales. Metodología. El trabajo parte de una investigación aplicada de tipo tecnológico, que se dividió en 5 fases: revisión de tecnologías, identificación de características, análisis de estadísticas y agrupamientos de probabilidades, y finalmente, selección de tecnologías para la plataforma. Análisis. Por lo anterior, este proyecto explora un análisis de decisión para identificar las mejores tecnologías de bajo costo para una red de Internet de las Cosas, mediante puntuaciones asociadas a cada tecnología, e identificando funciones matemáticas para con el fin de definir las probabilidades, acorde a comportamientos de tipo lineal, exponencial y parte entera. Resultados. Por último, se establecieron gráficos de agrupamiento y probabilidades finales, con el fin de establecer cuales tecnologías tienen los mejores puntajes, y son adecuadas para una aplicación de bajo costo en agricultura. Así mismo, se postula una plataforma de agricultura 4.0 con las tecnologías elegidas, que permite potenciar la labor de los pequeños y medianos productores del campo. Conclusiones. La estrategia de selección resulta ser una herramienta útil para elegir tecnologías y potenciar una plataforma para mejorar el análisis y la producción de cultivos de pequeños y medianos productores del campo, a través de tecnologías de bajo costo.

**PALABRAS CLAVE:** Agricultura sostenible, Estadística descriptiva, Industria 4.0, Tecnologías de bajo costo.

#### ABSTRACT

For the year 2015, the United Nations established the agenda defined until 2030 called Sustainable Development Goals, where goal 9 -Industry, innovation and infrastructure- states that there is a high potential for inclusion of technologies to strengthen agribusiness, because in developing countries only 30% of production in the agricultural sector has industrial processes. Methodology. The work starts with applied research of a technological scope, which was divided into five phases: review of technologies, identification of characteristics, analysis of statistics and probability groupings, and finally, selection of technologies for the platform. Analysis. Therefore, this project explores a decision analysis to identify the best low-cost technologies for an Internet of Things network, through scores associated to each technology, and identifying mathematical functions in order to define probabilities, according to linear, exponential and part integer behaviors. Results. Finally, grouping and final probability graphs were established to establish which technologies have the best scores and are suitable for low-cost application in agriculture. IICA is also proposing an agricultural 4.0 platform with the technologies selected, which will make it possible to enhance the work of small and medium-scale producers in the field. Conclusions. The selection strategy is a useful tool for choosing technologies and promoting a platform for improving the analysis and production of crops by small and medium-scale farmers using low-cost technologies.

[CV] Docente Investigador de la Oficina de Investigación e Innovación - Fundación de Educación Superior San José, FESSJ, Colombia – [jtovar@usanjose.edu.co](mailto:jtovar@usanjose.edu.co)

[CV] Investigador del Grupo de investigación EIDOS - Fundación de Educación Superior San José, FESSJ, Colombia – [cpareja@usanjose.edu.co](mailto:cpareja@usanjose.edu.co)

[CV] Investigador del Grupo de investigación EIDOS - Fundación de Educación Superior San José, FESSJ, Colombia – [cregionales@usanjose.edu.co](mailto:cregionales@usanjose.edu.co)

Traducción de Jhonatan Paolo Tovar Soto (Magister en Automatización Universidad Nacional de Colombia)

**KEYWORDS:** Sustainable agriculture, descriptive statistic, 4.0 industry, low-cost technologies.

**Sumario:** 1. Introducción. 2. Metodología. 2.1. Búsqueda documental. 2.2. Identificación de herramientas y características relevantes. 2.3. Análisis de ponderaciones a partir de estadísticos numéricos. 2.4. Definición de probabilidades conjuntas y agrupamientos para selección de tecnologías. 2.5. Propuesta de plataforma de Agricultura 4.0 con IoT. 3. Resultados. 4. Conclusiones. 5. Referencia bibliográfica.

**Contents:** 1. Introduction. 2. Methodology. 2.1. Documentary search. 2.2. Identification of relevant tools and characteristics. Analysis of weightings based on numerical statistics. 2.4. Definition of joint probabilities and groupings for technology selection. 2.5. Proposal for an Agriculture 4.0 platform with IoT. 3. Results. 4. Conclusions. 5. Bibliographic reference.

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el informe de la FAO (2017), la visión a futuro de la agricultura está directamente relacionado con la evolución y la inclusión de nuevas tecnologías de mecanización, con el fin de mejorar las condiciones de trabajo y generar cambios significativos en los procesos tradicionales utilizados en el sector rural. Así entonces, el concepto de Agricultura 4.0 -que surge de la Agricultura de Precisión- es fundamental para determinar las nuevas estrategias de implementación de tecnologías en aplicaciones agrícolas, debido a la necesidad de uso de herramientas de la era digital para mejorar los procesos en cultivos agrícolas (Aheleroff et al., 2020). Conceptos como robótica, sensado remoto, sistemas de información para gestión de granjas y sistemas de soporte de decisión, han permitido abrir camino para la transformación digital en el sector agrícola (Lezoche et al., 2020).

Por otra parte, tecnologías como los sistemas embebidos, la tecnología inalámbrica, el GPS, el GIS y los sistemas de manejo de bases de datos, son herramientas que recientemente han visto la luz en este tipo de aplicaciones (Suprem et al., 2013; Talavera et al., 2017; Tovar Soto et al., 2019). De lo anterior, la mayoría de las tecnologías mencionadas convergen en un concepto que data del año 1999: el Internet de las Cosas (IoT). Una plataforma IoT se constituye de la interconexión de diferentes dispositivos, que emplean un método de comunicación, usualmente con protocolos como la tecnología inalámbrica, con el fin de obtener información del medio a través de la comunicación remota (Fahmideh and Zowghi, 2020). Este novedoso concepto es el ápice para la transformación de muchas ciudades inteligentes en el mundo, debido en gran medida a que las diferentes tareas asociadas del entorno pueden realizarse de una manera más efectiva con dispositivos como cámaras, sensores, actuadores, servicios de software en la nube y plataformas de conectividad a distancia mediante sistemas de información que proveen datos en tiempo real y al instante (Fahmideh and Zowghi, 2020).

A partir de ello, el desarrollo de este tipo de plataformas no tan solo se ha enfocado en las ciudades, sino que, varios autores han mencionado la importancia de utilizar este tipo de herramientas para fortalecer las labores del campo y potencializar las tareas que históricamente se han visto afectadas por la falta de inclusión tecnológica (Tovar Soto et al., 2019).

De este hecho, en los últimos 15 años, las plataformas IoT se han dado lugar en diferentes niveles de la cadena de producción en el medio agro-industrial, enfocándose principalmente en el control de condiciones ambientales y atmosféricas que pueden generar problemáticas al momento de transportar y suministrar los productos que salen del campo (Talavera et al., 2017).

De la misma forma, las tecnologías como las redes inalámbricas de sensores han permitido que el control de

variables no tan solo se lleve a cabo en un único nivel de toda la cadena de producción, sino que se pueda implementar plataformas en campo, con el motivo de determinar mapas de rendimiento, índices de vegetación y estadísticas del estado actual de los cultivos en sus diferentes fases de crecimiento. Uno de los elementos de mayor influencia en este ámbito ha sido los dispositivos GPS, dado que han permitido detallar comportamientos de cultivos a gran escala en ubicaciones específicas con la aplicación de la agricultura de precisión, obteniendo resultados muy favorables para la producción de cultivos de grandes extensiones (Pathak et al., 2019). Sin embargo, dentro de las labores agrícolas, existe una población que aún está muy relegada a continuar con sus procesos tradicionales de evaluación y manejo de cultivos, como los son los pequeños y medianos productores. Lo anterior se debe a que, la gran mayoría de aplicaciones de tecnología IoT se han desarrollado y pensado para temas tales como logística, cadena de abastecimiento, cadena de producción y agricultura de precisión a gran escala, lo que evidencia que las aplicaciones están enmarcadas a un público objetivo como lo son los grandes productores y cadenas de abastecimiento (Talavera et al., 2017; Tovar Soto et al., 2019).

Este hecho es importante destacar, ya que las tecnologías IoT hasta hace unos pocos años, se han pensado para suplir necesidades a gran escala, pero labores específicas, que requieren costos asociados más bajos y que no necesitan una infraestructura compleja, solo se han desarrollado en los últimos 10 años (Talavera et al., 2017).

Por tanto, y dada la necesidad de bajar costos, y de estimar plataformas más económicas para su utilización en diferentes tipos de cultivos, sin importar su extensión, se encuentra un tipo de tecnología para comunicar datos, las redes LPWAN, que son redes de área amplia (varios kilómetros de radio de alcance) y su consumo de energía es mínimo. Este tipo de tecnología de comunicación en red ha sido el punto de inflexión para popularizar las plataformas IoT, no tan solo en la agricultura, sino en muchas aplicaciones que requieren dispositivos que no sean costosos. También, se debe destacar que plataformas de sistemas embebidos como Arduino, han permitido que la tecnificación de tareas simples, en aplicaciones pequeñas, puedan llevarse a cabo con un conocimiento bastante bajo sobre el tema y con un costo ínfimo. Y, por otra parte, el acceso amplio en los últimos años a diferentes dispositivos sensores, actuadores y demás elementos para realizar labores de control, han abierto la posibilidad de que más actores de la sociedad se comprometan y difundan este tipo de proyectos en aplicaciones agrícolas (Tovar Soto et al., 2019).

En ese orden de ideas, este proyecto desarrolla el análisis de selección de las tecnologías adecuadas para proponer un modelo de red IoT enfocado al concepto de Agricultura 4.0 para pequeños y medianos agricultores.

Para este fin se hace uso de un estadístico numérico y de agrupamientos, fundamentados en un estado del arte desarrollado desde una búsqueda sistemática de aplicaciones de las tecnologías de la nueva era digital (Fahmideh and Zowghi, 2020; Kamilaris et al., 2017; Nukala et al., 2016; Wolfert et al., 2017), e identificando características relevantes para la toma de decisiones: costo asociado, facilidad de implementación, capacidad de comunicación de datos, consumo energético, sostenibilidad en el tiempo. A partir de los criterios de decisión, se espera tener la mejor opción para que pequeños y medianos agricultores del campo puedan implementar este tipo de tecnologías, a un bajo costo, y que supla las necesidades de sus labores en el cultivo.

## 2. METODOLOGÍA

La propuesta parte de una investigación aplicada de tipo tecnológico, con el fin de fundamentar una estrategia de selección de tecnologías IoT, con base en estadísticas y probabilidades, y criterios de rechazo e inclusión.

La investigación se ha dividido en un total de 5 fases:

- Búsqueda documental.
- Identificación de características relevantes.
- Análisis de ponderaciones a partir de estadísticos numéricos.
- Definición de probabilidades conjuntas y agrupamientos para selección de tecnologías.
- Propuesta de plataforma de Agricultura 4.0 con IoT.

### 2.1 BÚSQUEDA DOCUMENTAL

La documentación que se ha tenido en cuenta para el presente trabajo se ha tomado de bases de datos académicas como IEEEExplore, Springer, Google académico y Scielo. Así mismo, se ha hecho énfasis en palabras clave para lograr la búsqueda acertada de la documentación. En la Tabla 1 se presentan las palabras clave y las cadenas de búsqueda utilizadas en las bases de datos mencionadas.

**Tabla 1. Palabras Clave Y Cadenas De Búsqueda.**

| Palabras clave       | Agricultura 4.0; Internet de las cosas; plataforma inteligente; tecnologías de bajo costo; monitoreo de cultivos; revisión. |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cadena de búsqueda 1 | Agricultura 4.0 & Tecnologías de bajo costo & Revisión                                                                      |
| Cadena de búsqueda 2 | Internet de las cosas & Monitoreo de cultivos & Revisión                                                                    |
| Cadena de búsqueda 3 | (Agricultura 4.0 OR Internet de las cosas) & (Plataforma inteligente & Tecnologías de bajos costo) & Monitoreo de cultivos  |
| Cadena de búsqueda 4 | (Internet de las cosas & Plataforma inteligente) OR (Agricultura 4.0 & Monitoreo de cultivos)                               |
| Cadena de búsqueda 5 | Revisión & (Agricultura 4.0 OR Internet de las cosas OR Monitoreo de cultivos) & Tecnologías de bajo costo                  |

**Fuente: Autores, 2020.**

A partir de la búsqueda realizada, se discriminaron los artículos que permitirían identificar características de las tecnologías y de las aplicaciones de IoT en agricultura publicados en los últimos 5 años, definiendo así las referencias que se mencionan en la Tabla 2.

**Tabla 2. Documentos Seleccionados Para La Investigación.**

| Documentos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Ahelero et al., 2020), (Fahmideh and Zowghi, 2020), (Kamilaris et al., 2017), (Lezoche et al., 2020), (Nukala et al., 2016), (Tovar Soto et al., 2019), (Wolfert et al., 2017), (Pathak et al., 2019), (Tzounis et al., 2017), (Math and Dharwadkar, 2020), (Bing, 2017), (Patil and Kale, 2017), (Rahman and Suryanegara, 2017), (Cambra et al., 2017), (Popović et al., 2017). |

**Fuente: Autores, 2020.**

### 2.2 IDENTIFICACIÓN DE HERRAMIENTAS Y CARACTERÍSTICAS RELEVANTES

De acuerdo con los diferentes autores y a los diferentes proyectos que se han identificado en la revisión documental, se pudo tener un listado definido de diferentes elementos tanto de hardware como de software, que son utilizados en el contexto del IoT. Así mismo, las diferentes herramientas debían cumplir dos aspectos fundamentales:

- Ser una herramienta de uso libre.
- Dispositivos que son útiles para aplicaciones de agricultura.

De esta manera, se garantizó una discriminación de los elementos acorde al estudio y, por tanto, con mayor probabilidad de poder ser utilizados dentro de aplicaciones de agricultura 4.0. Por lo anterior, las herramientas identificadas se detallan en la Tabla 3.

**Tabla 3. Tecnologías De Hardware Y Software Identificadas.**

|                                  |                                                                                                                                |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sistemas embebidos programables. | Arduino; TTGO; Teensy; MSP432; Particle; Sparkfun Things; Adafruit Feather STM32; Discovery; Silicon Labs; Microchip; NodeMCU. |
| Protocolos de comunicación.      | ZigBee; WiFi; Bluetooth; Red Móvil; Neul; LoRaWAN; NFC; Sigfox.                                                                |
| Software de programación.        | Python; Java; JavaScript; C; PHP.                                                                                              |
| Ordenador de placa reducida.     | Raspberry Pi; BeagleBone; PcDuino; Pandaboard.                                                                                 |

**Fuente: Autores, 2020.**

Así mismo, cada tipo de tecnología elegida debe ser capaz de proveer unas características muy particulares para su uso en el contexto del paradigma IoT, con el fin de fundamentar una plataforma robusta, accesible, y que sea de fácil uso. Por tanto, se identificó las características que los autores, y que, por experiencia personal, son las que influyen en la decisión de elección entre una u otra tecnología y que se observa en la Tabla 4.

**Tabla 4. Características Asociadas A Cada Tipo De Tecnología.**

|                                  |                                                                                                                      |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sistemas embebidos programables. | Costo asociado, consumo energético, procesamiento de información, memoria, tamaño físico, facilidad de programación. |
| Protocolos de comunicación.      | Nodos de conexión, volumen de envío de información, consumo energético, radio de alcance, costo asociado.            |
| Software de programación.        | Facilidad de uso del lenguaje, recurrencia de uso, conexión a la nube.                                               |
| Ordenador de placa reducida.     | Costo asociado, consumo energético, velocidad de procesamiento, memoria, tamaño físico, periféricos.                 |

**Fuente: Autores, 2020.**

### 2.3 ANÁLISIS DE PONDERACIONES A PARTIR DE ESTADÍSTICOS NUMÉRICOS

Con el fin de obtener el mejor criterio de decisión, se identificó que las características pueden tener un comportamiento definido por sus valores, y que es posible modelarlo mediante relaciones matemáticas. De acuerdo con el tipo de tecnología, y de característica, se identificó 3 posibles modelos:

Relación lineal:  $p(C)=mC+\Delta C$ ;  $C \in Z$  :  $0 < C$ .

Relación exponencial:  $p(C)= [10]^{C/10}$ ;  $C \in Z$  :  $0 < C \leq 1$ .

Relación parte entera:  $p(C)= [C]/10$ ;  $C \in Z$  :  $0 < C \leq 10$ .

Cada una de las relaciones establecidas permitieron generar unos resultados de puntajes ponderados, que son asociados finalmente a probabilidades de cada característica (C) y a un análisis gráfico estadístico.

### 2.4 DEFINICIÓN DE PROBABILIDADES CONJUNTAS Y AGRUPAMIENTOS PARA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS

Las probabilidades individuales de cada característica  $p(C)$ , proporciona una ponderación entre 0 y 1 que posibilita estimar la ventaja de dicha tecnología o herramienta en las plataformas IoT en agricultura, sin embargo, no se puede analizar de manera singular e individual cada ponderación, debido en gran medida a que, elegir la tecnología depende de todas las características, por lo que la decisión debe fundamentarse en la integralidad de todas las probabilidades.

Debido a esto, se estableció una estrategia para generar la probabilidad total de cada herramienta, a partir de un peso asignado a cada característica ( $p_i$ ), que permite evidenciar las características que tienen mayor peso en la decisión para la elección de las tecnologías o las herramientas.

Por tanto, se generó un modelo probabilístico lineal que tiene en cuenta la ponderación de cada atributo y su peso asociado, determinando así la ecuación 1.

$$p(T)=p_1 p(C_1)+p_2 p(C_2)+\dots+p_i p(C_i) \quad (1)$$

La probabilidad total  $p(T)$  determina la ponderación final asociada a cada tecnología(T) de la Tabla 3.

Con este modelo de decisión, se fundamenta la elección final de las tecnologías, pero, antes de ello, se identificó que era necesario un análisis más profundo a partir de gráficos estadísticos de agrupamientos selectivos por característica, con el fin de establecer comportamientos entre la probabilidad dada por una característica, respecto a la probabilidad conjunta dada por las demás.

Para lo anterior, se identificó otro modelo probabilístico lineal asociado a la ponderación de lo que se denominó las otras características (LOC), por lo cual, se definió la ecuación 2.

$$p(LOC)=p_{LOC1} p(LOC_1)+p_{LOC2} p(LOC_2)+\dots+p_{LOCi} p(LOC_i) \quad (2)$$

En la Tabla 5 a 8 se observa la identificación de las variables LOC para cada característica y cada tecnología, así como la determinación del agrupamiento a realizar en cada caso.

Tabla 5. Aplicación De Probabilidad Conjunta Para Análisis De Agrupamientos Para Tecnología De Sistemas Embebidos Programables.

| Agrupamiento. | Característica (C)            | Otras características (LOC)                                                                                 |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | Costo asociado.               | Consumo energético, procesamiento de información, memoria, tamaño físico, facilidad de programación.        |
| 2             | Consumo energético.           | Costo asociado, procesamiento de información, memoria, tamaño físico, facilidad de programación.            |
| 3             | Procesamiento de información. | Costo asociado, consumo energético, memoria, tamaño físico, facilidad de programación.                      |
| 4             | Memoria.                      | Costo asociado, consumo energético, procesamiento de información, tamaño físico, facilidad de programación. |
| 5             | Tamaño físico.                | Costo asociado, consumo energético, procesamiento de información, memoria, facilidad de programación.       |
| 6             | Facilidad de programación.    | Costo asociado, consumo energético, procesamiento de información, memoria, tamaño físico.                   |

Fuente: Autores, 2020.

Tabla 6. Aplicación De Probabilidad Conjunta Para Análisis De Agrupamientos Para Tecnología De Protocolos De Comunicación.

| Agrupamiento. | Característica (C)               | Otras características (LOC)                                                               |
|---------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | Nodos de conexión.               | Volumen de envío de información, consumo energético, radio de alcance, costo asociado.    |
| 2             | Volumen de envío de información. | Nodos de conexión, consumo energético, radio de alcance, costo asociado.                  |
| 3             | Consumo energético.              | Nodos de conexión, volumen de envío de información, radio de alcance, costo asociado.     |
| 4             | Radio de alcance.                | Nodos de conexión, volumen de envío de información, consumo energético, costo asociado.   |
| 5             | Costo asociado.                  | Nodos de conexión, volumen de envío de información, consumo energético, radio de alcance. |

Fuente: Autores, 2020.

Tabla 7. Aplicación De Probabilidad Conjunta Para Análisis De Agrupamientos Para Tecnología De Software De Programación.

| Agrupamiento. | Característica (C)             | Otras características (LOC)                        |
|---------------|--------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1             | Facilidad de uso del lenguaje. | Recurrencia de uso, conexión a la nube.            |
| 2             | Recurrencia de uso.            | Facilidad de uso del lenguaje, conexión a la nube. |
| 3             | Conexión a la nube.            | Facilidad de uso del lenguaje, recurrencia de uso. |

Fuente: Autores, 2020.

**Tabla 8. Aplicación De Probabilidad Conjunta Para Análisis De Agrupamientos Para Tecnología De Ordenador De Placa Reducida.**

| Agrupamiento. | Característica (C)         | Otras características (LOC)                                                                |
|---------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | Costo asociado.            | Consumo energético, velocidad de procesamiento, memoria, tamaño físico, periféricos.       |
| 2             | Consumo energético.        | Costo asociado, velocidad de procesamiento, memoria, tamaño físico, periféricos.           |
| 3             | Velocidad de procesamiento | Costo asociado, consumo energético, memoria, tamaño físico, periféricos.                   |
| 4             | Memoria.                   | Costo asociado, consumo energético, velocidad de procesamiento, tamaño físico, periféricos |
| 5             | Tamaño físico.             | Costo asociado, consumo energético, velocidad de procesamiento, memoria, periféricos.      |
| 6             | Periféricos.               | Costo asociado, consumo energético, velocidad de procesamiento, memoria, tamaño físico.    |

Fuente: Autores, 2020.

De acuerdo con las Tablas 5 a 8, se definen los agrupamientos para realizar el estadístico gráfico, mediante el cual se evidencia el comportamiento de las ventajas de uso entre cada tipo de tecnología y sus características de manera singular.

Este criterio fortalece la estrategia de selección final, dado que, de acuerdo con el tipo de tecnología, algunas pueden tener puntuaciones similares, por lo que se debe tener criterios adicionales para su elección.

## 2.5 PROPUESTA DE PLATAFORMA DE AGRICULTURA 4.0 CON IOT

Finalmente, con la elección de las tecnologías con mayor ventaja, y acordes al paradigma IoT, se establece mediante una tabla de ponderaciones finales las que son más adecuadas para la plataforma de agricultura 4.0.

Esta plataforma se presente de manera ilustrativa con la respectiva interconexión de las herramientas de cada tecnología seleccionada, y que se observa en le sección de resultados.

## 3.RESULTADOS

En primer lugar, se establecieron las ponderaciones individuales por característica en cada tecnología planteada, y que se observa en las Tablas 9 a 12. Estas ponderaciones corresponden a los valores asociados a la probabilidad de los modelos matemáticos elegidos, de acuerdo con el comportamiento que tuvieran las variables: relación lineal, relación exponencial, relación parte entera.

**Tabla 9. Ponderaciones Asociadas Por Cada Característica Para Los Sistemas Embebidos Programables.**

| Tecnología.      | Costo asociado. | Consumo energético. | Procesamiento de información. | Memoria. | Tamaño físico. | Facilidad de programación. |
|------------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|----------|----------------|----------------------------|
| Arduino          | 0.64            | 0.33                | 0.32                          | 0.20     | 0.56           | 1.00                       |
| TTGO             | 0.98            | 0.70                | 0.68                          | 0.80     | 0.91           | 1.00                       |
| Teensy           | 0.77            | 0.57                | 0.68                          | 1.00     | 0.98           | 1.00                       |
| MSP432           | 0.84            | 1.00                | 0.68                          | 0.40     | 0.05           | 0.00                       |
| Particle         | 0.76            | 0.56                | 0.68                          | 0.63     | 1.00           | 1.00                       |
| Sparkfun things  | 0.83            | 0.37                | 0.68                          | 0.80     | 0.98           | 1.00                       |
| Adafruit Feather | 0.87            | 0.05                | 0.68                          | 0.05     | 1.00           | 1.00                       |
| STM32 Discovery  | 0.88            | 0.45                | 0.68                          | 0.36     | 0.34           | 0.00                       |
| Silicon labs     | 0.05            | 0.64                | 0.68                          | 0.32     | 0.26           | 0.50                       |
| Microchip        | 0.45            | 0.82                | 0.68                          | 0.32     | 0.45           | 0.00                       |
| NodeMCU          | 1.00            | 0.57                | 0.68                          | 0.40     | 0.94           | 1.00                       |

Fuente: Autores, 2020.

**Tabla 10. Ponderaciones Asociadas Por Cada Característica Para Los Protocolos De Comunicación.**

| Tecnología. | Nodos de conexión. | Volumen de envío de información. | Consumo energético. | Radio de alcance. | Costo asociado. |
|-------------|--------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------|
| ZigBee      | 0.89               | 0.28                             | 0.22                | 0.06              | 1.00            |
| WiFi        | 0.27               | 0.95                             | 0.17                | 0.05              | 0.00            |
| Bluetooth   | 0.76               | 0.36                             | 0.27                | 0.05              | 1.00            |
| Móvil       | 1.00               | 0.55                             | 0.29                | 0.43              | 0.00            |
| Neul        | 0.10               | 0.23                             | 0.74                | 0.24              | 1.00            |
| LoRaWAN     | 0.39               | 0.21                             | 0.23                | 0.33              | 1.00            |
| NFC         | 0.10               | 0.30                             | 0.24                | 0.05              | 1.00            |
| Sigfox      | 1.00               | 0.10                             | 1.00                | 1.00              | 0.50            |

Fuente: Autores, 2020.

**Tabla 11. Ponderaciones Asociadas Por Cada Característica Para Software De Programación.**

| Tecnología. | Facilidad de uso del lenguaje. | Recurrencia de uso. | Conexión a la nube. |
|-------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|
| Python      | 1.00                           | 1.00                | 0.70                |
| Java        | 1.00                           | 0.60                | 0.90                |
| JavaScript  | 0.80                           | 0.40                | 0.80                |
| C           | 0.70                           | 0.20                | 0.00                |
| PHP         | 0.80                           | 0.20                | 0.60                |

Fuente: Autores, 2020.

**Tabla 12. Ponderaciones Asociadas Por Cada Característica Para Ordenador De Placa Reducida.**

| Tecnología.  | Costo asociado. | Consumo energético. | Velocidad de procesamiento. | Memoria. | Tamaño físico. | Periféricos. |
|--------------|-----------------|---------------------|-----------------------------|----------|----------------|--------------|
| Raspberry Pi | 0.78            | 0.40                | 1.00                        | 1.00     | 0.97           | 1.00         |
| BeagleBone   | 1.00            | 1.00                | 0.50                        | 0.05     | 1.00           | 0.60         |
| PcDuino      | 0.76            | 0.70                | 0.50                        | 0.11     | 0.55           | 0.50         |
| Pandaboard   | 0.05            | 1.00                | 0.50                        | 0.11     | 0.05           | 0.50         |

Fuente: Autores, 2020.

Con los datos obtenidos de las ponderaciones individuales, se pudo establecer los valores de las probabilidades conjuntas  $p(LOC)$ , respecto a cada característica en los 4 grupos de tecnologías.

Estas probabilidades se detallan en las Tablas 13 a 16, identificando la probabilidad calculada sin una característica (respecto a la que se va a evaluar), por lo que cada columna identifica la probabilidad sin la característica que se menciona (Ejemplo, Sin costo asociado se refiere a la  $p(LOC)$  de las otras características que se asocian a la característica Costo asociado, como se detalló en la Tabla 5).

**Tabla 13. Ponderaciones LOC Asociadas Por Cada Característica Para Los Sistemas Embebidos Programables.**

| Tecnología.      | Sin costo asociado. | Sin consumo energético. | Sin procesamiento de información. | Sin memoria. | Sin tamaño físico. | Sin facilidad de programación. |
|------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------|--------------------|--------------------------------|
| Arduino          | 0.41                | 0.55                    | 0.51                              | 0.53         | 0.49               | 0.47                           |
| TTGO             | 0.78                | 0.90                    | 0.87                              | 0.86         | 0.85               | 0.85                           |
| Teensy           | 0.78                | 0.75                    | 0.79                              | 0.75         | 0.75               | 0.77                           |
| MSP432           | 0.56                | 0.55                    | 0.66                              | 0.69         | 0.78               | 0.69                           |
| Particle         | 0.72                | 0.80                    | 0.74                              | 0.75         | 0.70               | 0.72                           |
| Sparkfun things  | 0.67                | 0.85                    | 0.73                              | 0.72         | 0.70               | 0.71                           |
| Adafruit Feather | 0.44                | 0.77                    | 0.58                              | 0.65         | 0.53               | 0.57                           |
| STM32 Discovery  | 0.41                | 0.62                    | 0.56                              | 0.60         | 0.63               | 0.61                           |
| Silicon labs     | 0.50                | 0.24                    | 0.30                              | 0.34         | 0.37               | 0.33                           |
| Microchip        | 0.57                | 0.43                    | 0.51                              | 0.55         | 0.55               | 0.56                           |
| NodeMCU          | 0.68                | 0.87                    | 0.80                              | 0.84         | 0.78               | 0.78                           |

Fuente: Autores, 2020.

**Tabla 14. Ponderaciones LOC Asociadas Por Cada Característica Para Los Protocolos De Comunicación.**

| Tecnología. | Sin nodos de conexión. | Sin volumen de envío de información. | Sin consumo energético. | Sin radio de alcance. | Sin costo asociado. |
|-------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| ZigBee      | 0.40                   | 0.49                                 | 0.38                    | 0.65                  | 0.29                |
| WiFi        | 0.17                   | 0.07                                 | 0.14                    | 0.25                  | 0.25                |
| Bluetooth   | 0.42                   | 0.51                                 | 0.39                    | 0.65                  | 0.29                |
| Móvil       | 0.28                   | 0.26                                 | 0.24                    | 0.37                  | 0.52                |
| Neul        | 0.58                   | 0.64                                 | 0.43                    | 0.62                  | 0.34                |
| LoRaWAN     | 0.49                   | 0.57                                 | 0.47                    | 0.53                  | 0.30                |
| NFC         | 0.40                   | 0.47                                 | 0.37                    | 0.49                  | 0.15                |
| Sigfox      | 0.75                   | 0.81                                 | 0.56                    | 0.69                  | 0.88                |

Fuente: Autores, 2020.

**Tabla 15. Ponderaciones LOC Asociadas Por Cada Característica Para Software De Programación.**

| Tecnología. | Sin facilidad de uso del lenguaje. | Sin recurrencia de uso. | Sin conexión a la nube. |
|-------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Python      | 0.80                               | 0.85                    | 1.00                    |
| Java        | 0.80                               | 0.95                    | 0.87                    |
| JavaScript  | 0.67                               | 0.80                    | 0.67                    |
| C           | 0.07                               | 0.35                    | 0.53                    |
| PHP         | 0.47                               | 0.70                    | 0.60                    |

Fuente: Autores, 2020.

**Tabla 16. Ponderaciones LOC Asociadas Por Cada Característica Para Ordenador De Placa Reducida.**

| Tecnología.  | Sin costo asociado. | Sin consumo energético. | Sin velocidad de procesamiento. | Sin memoria. | Sin tamaño físico. | Sin periféricos. |
|--------------|---------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------|--------------------|------------------|
| Raspberry Pi | 0.85                | 0.89                    | 0.91                            | 0.53         | 0.80               | 0.79             |
| BeagleBone   | 0.66                | 0.76                    | 0.88                            | 0.86         | 0.77               | 0.83             |
| PcDuino      | 0.49                | 0.58                    | 0.67                            | 0.75         | 0.61               | 0.62             |
| Pandaboard   | 0.26                | 0.19                    | 0.20                            | 0.69         | 0.19               | 0.12             |

Fuente: Autores, 2020.

Con los valores obtenidos de las ponderaciones individuales y las agrupadas, se pudo determinar el gráfico estadístico para cada situación. Con estos gráficos estadísticos se pudo evidenciar comportamientos singulares para cada tipo de tecnología, estableciendo así las ventajas prominentes en cada situación, y con cada tipo de característica. Para este análisis, se diferenciaron los agrupamientos dados por las Tablas 5 a 8.

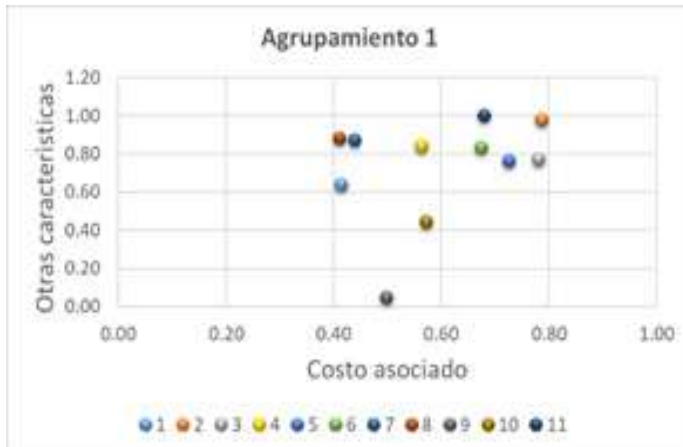
**Tabla 17. Numeración Para Los Sistemas Embebidos Programables.**

| Tecnología.      | Numeración. |
|------------------|-------------|
| Arduino          | 1           |
| TTGO             | 2           |
| Teensy           | 3           |
| MSP432           | 4           |
| Particle         | 5           |
| Sparkfun things  | 6           |
| Adafruit Feather | 7           |
| STM32 Discovery  | 8           |
| Silicon labs     | 9           |
| Microchip        | 10          |
| NodeMCU          | 11          |

Fuente: Autores, 2020.

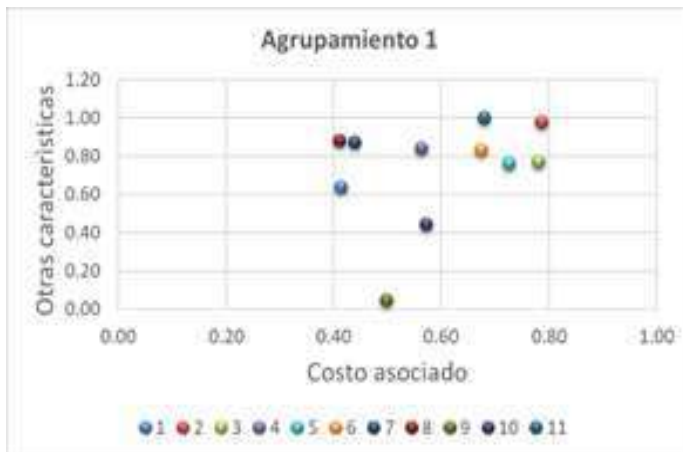
El primer caso corresponde a la tecnología de Sistemas Embebidos Programables, cuyos agrupamientos se observan en la Gráfica 1 a 6. Para poder identificar los sistemas embebidos elegidos, se le ha asignado un número a cada uno, con el motivo de permitir una mejor lectura de los gráficos de agrupamiento que se presentan a continuación. La numeración se da como se observa en la Tabla 17.

**Gráfica 1. Agrupamiento del parámetro Costo asociado respecto a las otras características.**



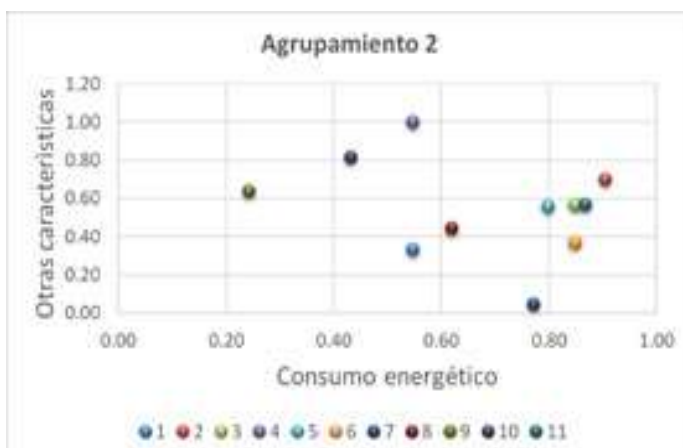
Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 2. Agrupamiento del parámetro Consumo energético respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 3. Agrupamiento del parámetro Procesamiento de información respecto a las otras características.**



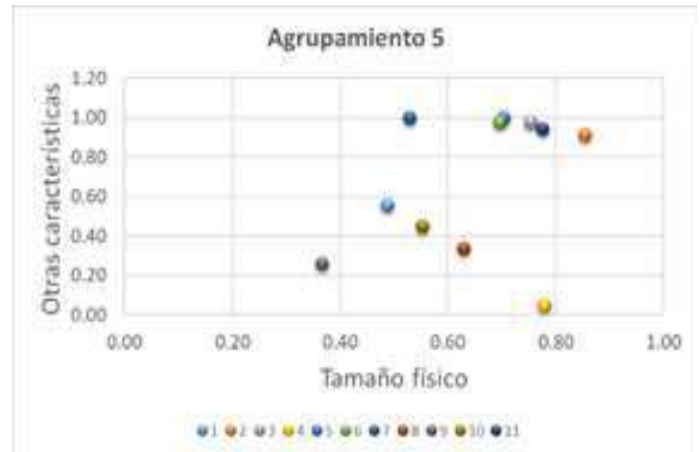
Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 4. Agrupamiento del parámetro Memoria respecto a las otras características.**



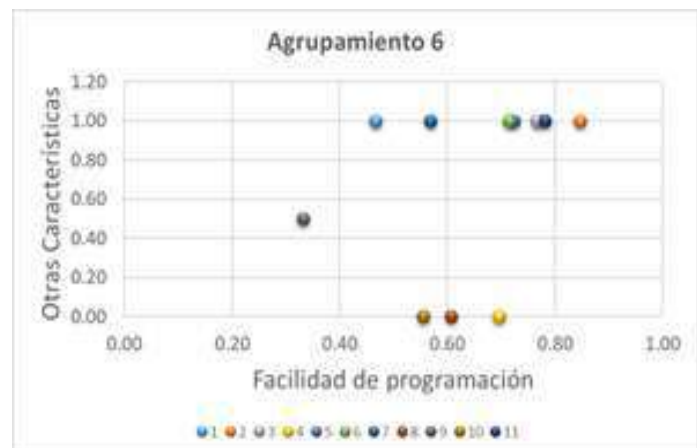
Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 5. Agrupamiento del parámetro Tamaño físico respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 6. Agrupamiento del parámetro Facilidad de programación respecto a las otras características.**

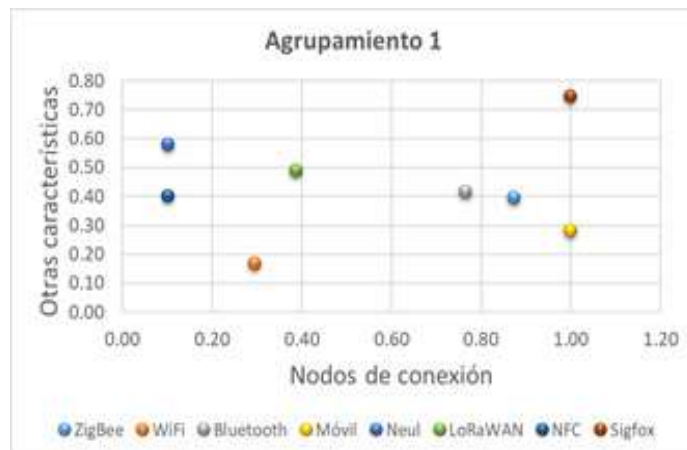


Fuente: Autores, 2020.

De acuerdo con las gráficas expuestas, en el caso de la primera tecnología -Sistemas Embebidos Programables- es evidente que en la mayoría de los agrupamientos hay una herramienta que se mantiene muy cerca a la coordenada (1,1), que implica tener mejores prestaciones y condiciones (100% de favorabilidad). La tecnología número 2 en la mayoría de los casos evidencia ponderaciones muy cercanas a 1 respecto a las demás características, por lo que se puede deducir en principio que es la más adecuada para una aplicación de IoT en agricultura.

El segundo caso corresponde a la tecnología de Protocolos de Comunicación, cuyos agrupamientos se observan en la Gráfica 7 a 11. En cada gráfico se puede observar el color que identifica cada tecnología.

**Gráfica 7. Agrupamiento del parámetro Nodos de conexión respecto a las otras características.**



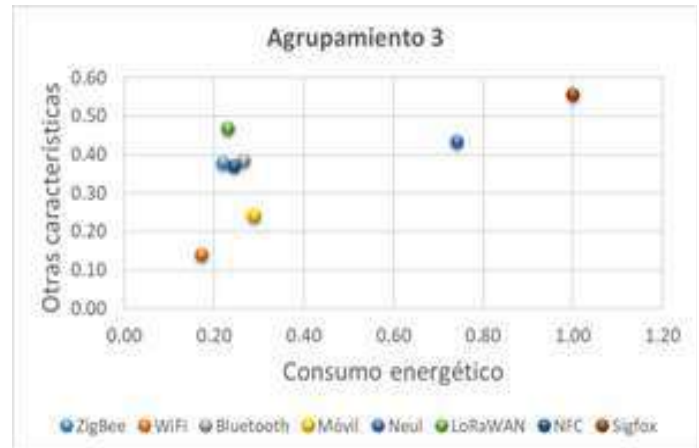
Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 8. Agrupamiento del parámetro Volumen de envío de información respecto a las otras características.**



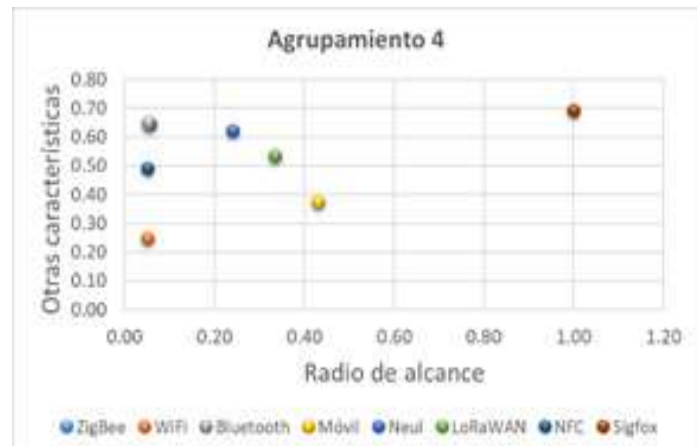
Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 9. Agrupamiento del parámetro Consumo energético respecto a las otras características.**



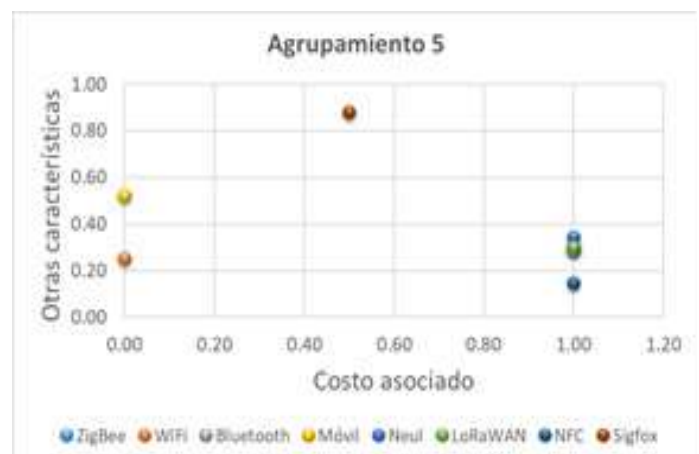
Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 10. Agrupamiento del parámetro Radio de alcance respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 11. Agrupamiento del parámetro Costo asociado respecto a las otras características.**

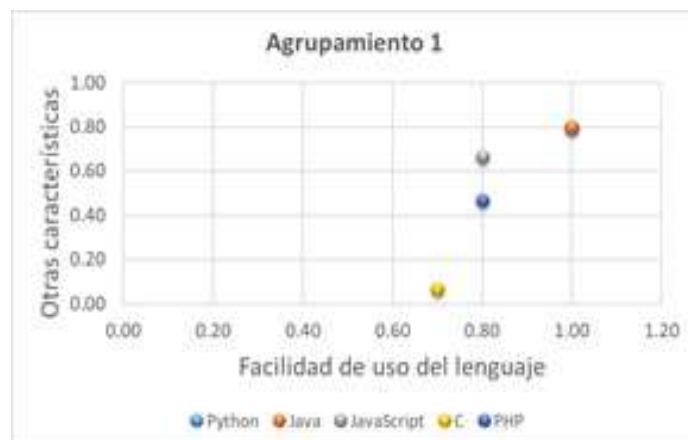


Fuente: Autores, 2020.

De acuerdo con los agrupamientos de las gráficas 7 a 11, se puede observar que el comportamiento de la tecnología sigfox es el más consistente y que está muy cercano a la

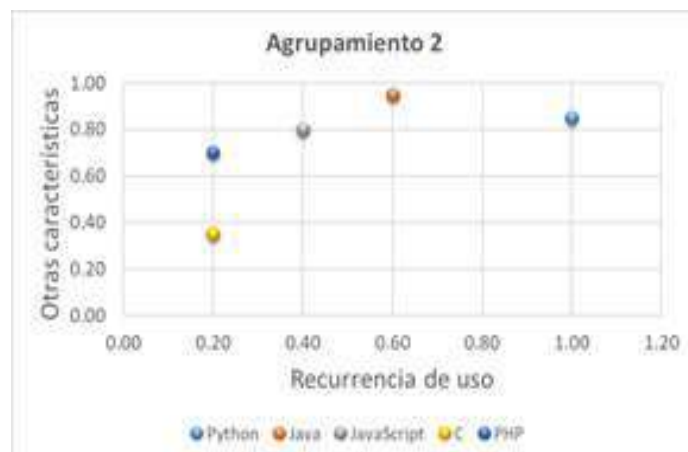
coordinada (1,1), estableciendo así su posible elección para plataformas IoT como protocolo de comunicación. El tercer caso corresponde a la tecnología de Software de Programación, cuyos agrupamientos se observan en la Gráfica 12 a 14. En cada gráfico se puede observar el color que identifica cada software del análisis.

**Gráfica 12. Agrupamiento del parámetro Facilidad de uso del lenguaje respecto a las otras características.**



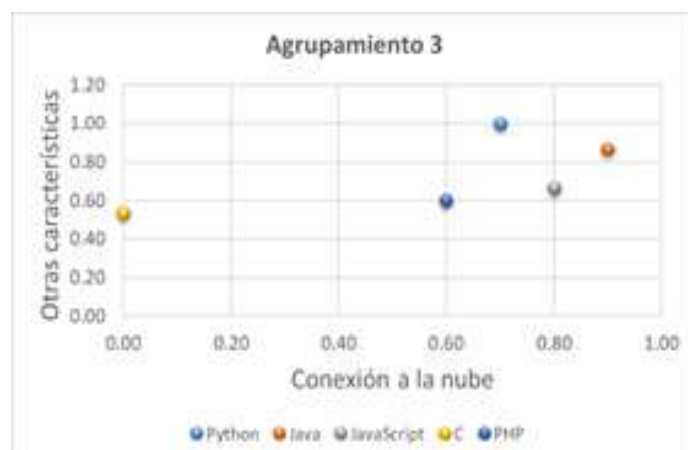
Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 13. Agrupamiento del parámetro Recurrencia de uso respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 14. Agrupamiento del parámetro Conexión a la nube respecto a las otras características.**

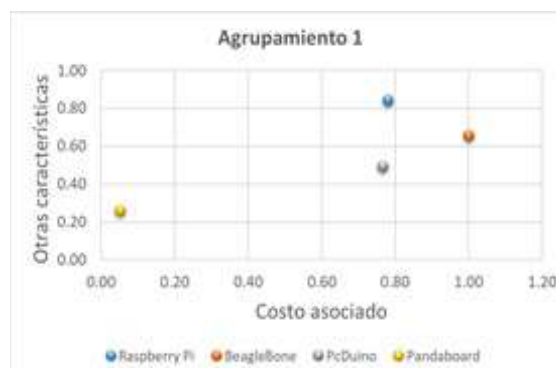


Fuente: Autores, 2020.

Para este grupo de tecnología, se puede observar que existen dos lenguajes de programación que tienen comportamientos similares: Python y Java. Sin embargo, mediante los agrupamientos no es posible determinar cual de los programas de software tiene mayor ventajas frente a los demás, por lo que sólo con los gráficos estadísticos no es posible determinar la tecnología de software adecuada, por lo que se deja para el análisis final de la probabilidad total de cada tecnología, con el motivo de tener un criterio fundamentado en el análisis estadístico y de ponderaciones.

Finalmente, el último caso corresponde a la tecnología de Ordenadores de placa reducida, cuyos agrupamientos se observan en la Gráfica 15 a 20. En cada gráfico se puede observar el color que identifica cada software del análisis.

**Gráfica 15. Agrupamiento del parámetro Costo asociado respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 16. Agrupamiento del parámetro Consumo energético respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 17. Agrupamiento del parámetro Velocidad de procesamiento respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 18. Agrupamiento del parámetro Memoria respecto a las otras características.**



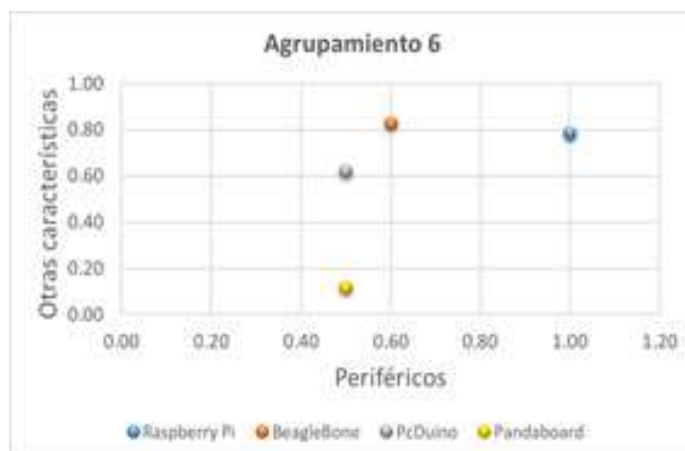
Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 19. Agrupamiento del parámetro Tamaño físico respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

**Gráfica 20. Agrupamiento del parámetro Periféricos respecto a las otras características.**



Fuente: Autores, 2020.

En este último grupo, existe una tecnología que tiene consistencia en las ponderaciones de los 6 agrupamientos, la Raspberry Pi, detallando que, en varios de los estadísticos observados en las Gráficas 15 a 20, su ponderación asociada está muy cerca de la coordenada (1,1), evidenciando que tiene ventajas sobre las demás tecnologías.

Para determinar la elección de las tecnologías, no se hace uso exclusivo de los agrupamientos, sino que, se calcula la probabilidad total con la ecuación 1, cuyos resultados se pueden observar en la Tabla 18.

**Tabla 18. Ponderaciones Totales Para Las Tecnologías De Cada Grupo.**

| Tecnología.      | Probabilidad total. | Tecnología. | Probabilidad total. | Tecnología. | Probabilidad total. | Tecnología.  | Probabilidad total. |
|------------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|--------------|---------------------|
| Arduino          | 0.49                | ZigBee      | 0.47                | Python      | 0.88                | Raspberry Pi | 0.82                |
| TTGO             | 0.85                | WiFi        | 0.19                | Java        | 0.88                | BeagleBone   | 0.80                |
| Teensy           | 0.78                | Bluetooth   | 0.47                | JavaScript  | 0.72                | PcDuino      | 0.60                |
| MSP432           | 0.66                | Móvil       | 0.39                | C           | 0.32                | PcDuino      | 0.18                |
| Particle         | 0.74                | Neul        | 0.51                | PHP         | 0.6                 |              |                     |
| Sparkfun things  | 0.73                | LoRaWAN     | 0.47                |             |                     |              |                     |
| Adafruit Feather | 0.59                | NFC         | 0.36                |             |                     |              |                     |
| STM32 Discovery  | 0.58                | Sigfox      | 0.78                |             |                     |              |                     |
| Silicon labs     | 0.34                |             |                     |             |                     |              |                     |
| Microchip        | 0.53                |             |                     |             |                     |              |                     |
| NodeMCU          | 0.79                |             |                     |             |                     |              |                     |

Fuente: Autores, 2020.

En la Tabla 18, las ponderaciones que se ubican en **negrita** corresponden a las tecnologías que mejor puntuación han obtenido una vez se ha aplicado los modelos matemáticos de ponderación, y su correspondiente probabilidad total con los pesos asociados a cada característica. De acuerdo con los resultados, se puede reforzar algunas deducciones que se habían determinado previamente con los agrupamientos.

En el caso de la tecnología de sistemas embebidos programables, se establece que, la tarjeta de desarrollo TTGO, si cumple criterios que le dan una amplia ventaja respecto a otras tarjetas, dando así un candidato óptimo como sistema embebido para plataformas de IoT en agricultura.

Por otra parte, respecto a los protocolos de comunicación, se evidencia de acuerdo con la Tabla 18, que efectivamente, el protocolo de comunicación sigfox si cumple las expectativas para ser catalogado como una tecnología adecuada para el paradigma IoT en agricultura, debido a la puntuación positiva que ha obtenido, así como su amplia ventaja en la ponderación obtenida respecto a los demás protocolos de comunicación.

En el caso de software de programación, no se tiene una única tecnología que sea ventajosa para el IoT, sino que, se observa que dos lenguajes de programación tienen la misma ponderación, como lo son el lenguaje Python y el lenguaje Java, cuyo análisis no fue concluyente en los agrupamientos, y gracias a la probabilidad total, se evidencia que ambos son factibles para su uso en aplicación de IoT en agricultura.

Por otra parte, para el caso de los ordenadores de placa reducida, aunque no existe una ventaja amplia, la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi, tiene mejores prestaciones que la tarjeta BeagleBone, como se observa en la ponderación final. Así mismo, existen características que potencializan a la Raspberry Pi respecto a sus contendores como, por ejemplo, velocidad de procesamiento y memoria, lo que se evidencia claramente en las Gráficas 17 y 18 de los agrupamientos.

Finalmente, con las ponderaciones y los estadísticos terminados, se definió la propuesta de red IoT para un modelo de aplicación de agricultura 4.0 teniendo en cuenta factores como prestaciones de las tecnologías y su costo asociado. La plataforma propuesta se observa en la Ilustración 1.

**Ilustración 1. Modelo propuesto para una plataforma de agricultura 4.0 con tecnologías del paradigma IoT.**



Fuente: Autores, 2020.

#### 4.CONCLUSIONES

Las tendencias de la nueva era digital, enmarcadas en el contexto de la cuarta revolución industrial, han propuesto desarrollos a nivel tecnológico en diferentes áreas de conocimiento, entre las cuales se puede destacar la agricultura. Un concepto novedoso y que ha hecho eco en la última década es la Agricultura 4.0, que puntualiza en el uso de herramientas de la era digital para potenciar procesos de producción, logística, manufactura y abastecimiento en diferentes aplicaciones del agro.

No obstante, la aplicación de tecnologías en el sector rural a nivel latino américa, y más específicamente en las labores de agricultura en Colombia, aún sigue siendo un problema de equidad social, que no encuentra apoyo institucional y legislativo para facilitar la producción de los cultivos agrícolas. Así mismo, una porción de la población campesina, con pequeñas parcelas o cultivos de menor extensión, se ven relegados en la competitividad, dado que sus labores siguen realizándose a través de labores manuales y artesanales, y en muchas ocasiones, no pueden incrementar su producción, o se ven obligados a llevar pérdidas, ya sea por que no pueden competir con otros precios, o porque se dañan sus cultivos. Este efecto social y económico no se ha tratado desde la perspectiva adecuada, y tampoco se ha potencializado la innovación social y tecnológica del campo. Es por ello por lo que, es muy importante subrayar que la tecnología per sé no disminuirá la brecha digital del sector rural, tampoco se puede aducir en su totalidad, que las herramientas de la era digital necesariamente permitirán facilitar las labores de logística del pequeño o mediano productor campesino. Lo anterior debido a que, aún en la actualidad hace falta un mayor conocimiento de las condiciones del campo en Colombia, con el fin de poder abordar con una estrategia integral las diferentes problemáticas sistémicas de la producción de los pequeños y medianos productores del campo.

Dado lo anterior, la presente investigación pretendió abordar la innovación tecnológica para una potencial aplicación de agricultura basada en la era digital, entendiendo en primer lugar, que las condiciones sociales y económicas del campo colombiano son completamente distintas a la de un productor a gran escala o un terrateniente. Factores fundamentales como, el costo económico, el consumo energético, la facilidad de uso, y por supuesto, la capacidad tecnológica para tomar decisiones, son características que se han tenido en cuenta, y que, dentro de la literatura, se ha referido por parte de otros autores, que han trabajado en contextos similares al colombiano, en aplicaciones de agricultura. Por tanto, las tecnologías y herramientas que se han definido como óptimas, y que han sido parte del análisis estadístico, y posterior selección, no solamente han derivado de la búsqueda documental, sino que, también van acorde a las necesidades locales, y que son requeridas para que un pequeño o mediano productor pueda acceder a ellas, las pueda entender, y las pueda utilizar de una manera sencilla.

De lo anterior surge la estrategia que se ha propuesto en este capítulo, con el fin de tener un criterio de selección de las tecnologías ajustado a una estadística descriptiva, con base en características puntualizadas que permiten determinar la mejor decisión para la plataforma planteada y que sea acorde a las necesidades del sector agrícola: costo asociado, la facilidad de implementación, el bajo consumo energético y que sea en lo posible hardware y software de uso libre.

Estas características, también permiten obtener una innovación tecnológica que pueda combatir la inequidad digital, dado que, en su mayoría, son tecnologías a las que se puede acceder muy fácilmente, y en términos económicos se pueden adquirir a costos muy bajos. Así mismo, entendiendo que la población rural y que la gran mayoría de pequeños y medianos productores no han podido acceder a una educación plena y completa, las herramientas deben ser fáciles de entender, de abstraer y de manejar, para que posteriormente, no se genere una brecha aún más grande, al obtener acceso a las plataformas tecnológicas, pero continuando con el analfabetismo tecnológico.

Este último punto, ha sido también una de las mayores discusiones en torno a la implementación de tecnología en las zonas rurales, y que sigue siendo un talón de Aquiles por la falta de compromiso estatal para fortalecer la educación en el campo y, por tanto, permitir que esta población pueda tener las mismas ventajas tecnológicas que otros sectores de la población.

Así entonces, y con las consideraciones que se han mencionado, se logró identificar las diferentes tecnologías para la plataforma de agricultura 4.0 que pueden proveer mejores prestaciones para la gestión y análisis de cultivos de pequeña y mediana escala. Finalmente, la propuesta planteada incluye las diferentes tecnologías que se utilizan en el paradigma IoT con el fin de implementar herramientas de la era digital que permiten fortalecer las labores agrícolas y potenciar la producción y la gestión de cultivos para pequeños y medianos productores del campo, debido a que se puede obtener una plataforma de análisis y monitoreo con tecnologías de bajo costo.

Este capítulo es producto del proyecto de investigación “Aplicación de un desarrollo IoT con técnicas de agricultura de precisión para un cultivo de flores”, del grupo de investigación EIDOS de la Fundación de Educación Superior San José.



## REFERENCIAS



- Ahelerooff, S., Xu, X., Lu, Y., Aristizabal, M., Velásquez, J. P., Joa, B., and Valencia, Y. (2020). IoT-enabled smart appliances under industry 4.0: A case study. *Advanced Engineering Informatics*, 43, 101043.
- Bing, F. (2017). The research of IOT of agriculture based on three layers architecture. *Proceedings of 2016 2nd International Conference on Cloud Computing and Internet of Things, CCIOT 2016*. <https://doi.org/10.1109/CCIOT.2016.7868325>
- Cambra, C., Sendra, S., Lloret, J., and Garcia, L. (2017). An IoT service-oriented system for agriculture monitoring. *IEEE International Conference on Communications*. <https://doi.org/10.1109/ICC.2017.7996640>
- Fahmideh, M., and Zowghi, D. (2020). An exploration of IoT platform development. *Information Systems*, 87, 101409.
- FAO. (2017). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. <http://www.fao.org/3/a-I7658s.pdf>
- Kamilaris, A., Kartakoullis, A., and Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23–37.
- Lezoche, M., Hernandez, J. E., Díaz, M. del M. E. A., Panetto, H., and Kacprzyk, J. (2020). Agri-food 4.0: a survey of the supply chains and technologies for the future agriculture. *Computers in Industry*, 117, 103187.
- Math, R. M., and Dharwadkar, N. V. (2020). An Intelligent Irrigation Scheduling and Monitoring System for Precision Agriculture Application. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS)*, 11(4), 1–24.
- Nukala, R., Panduru, K., Shields, A., Riordan, D., Doody, P., and Walsh, J. (2016). Internet of Things: A review from 'Farm to Fork.' *2016 27th Irish Signals and Systems Conference (ISSC)*, 1–6.
- Pathak, A., AmazUddin, M., Abedin, M. J., Andersson, K., Mustafa, R., and Hossain, M. S. (2019). IoT based smart system to support agricultural parameters: A case study. *Procedia Computer Science*, 155, 648–653.
- Patil, K. A., and Kale, N. R. (2017). A model for smart agriculture using IoT.
- Proceedings - International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication, ICGTSPICC 2016. <https://doi.org/10.1109/ICGTSPICC.2016.7955360>
- Popović, T.,
- Latinović, N., Pešić, A., Zečević, Ž., Krstajić, B., and Djukanović, S. (2017). Architecting an IoT-enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case study. *Computers and Electronics in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.06.008>
- Rahman, A., and Suryanegara, M. (2017). The development of IoT LoRa: A performance evaluation on LoS and Non-LoS environment at 915 MHz ISM frequency. *Proceedings - International Conference on Signals and Systems, ICSigSys 2017*. <https://doi.org/10.1109/ICSIGSYS.2017.7967033>
- Suprem, A., Mahalik, N., and Kim, K. (2013). A review on application of technology systems, standards and interfaces for agriculture and food sector. *In Computer Standards and Interfaces*. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2012.09.002>
- Talavera, J. M., Tobón, L. E., Gómez, J. A., Culman, M. A., Aranda, J. M., Parra, D. T., Quiroz, L. A., Hoyos, A., and Garreta, L. E. (2017). Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields. *In Computers and Electronics in Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.015>
- Tovar Soto, J. P., Solórzano Suárez, J. de los S., Badiño Rodríguez, A., and Rodríguez Cainaba, G. O. (2019). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual. *Lámpsakos*, 22, 86–105.
- Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., and Kittas, C. (2017). Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. *In Biosystems Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., and Bogaardt, M.-J. (2017). Big data in smart farming-a review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80.

# SISTEMA DE MEDICIÓN DIDÁCTICA SIMULADORA PARA LA PRÁCTICA EN EL CONJUNTO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/09/2019 ACEPTADO: 15/03/2020 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/07/2020

<sup>1</sup> Arthur Eugênio Januário Da Silva

<sup>2</sup> Wesley Pereira Marcos

Como citar este artículo: Januario, A; Pereira, W, (2020) Sistema de medición didáctica simuladora para la práctica en el conjunto de máquinas eléctricas, revista Dynamikos 1 (2). Recuperado de: <https://teinco.edu.co/wp-content/uploads/2021/07/Revista-Dinamicos-No2.pdf>

### MODELO ABSTRACT:

El sistema de medición didáctico para la práctica en el conjunto de máquinas eléctricas tiene como objetivo facilitar el análisis de los fenómenos eléctricos y posibilitar la aplicación de la metodología de enseñanza-aprendizaje activa en la carrera de Ingeniería Eléctrica. Bajo tal perspectiva, este sistema permite la participación activa de los estudiantes, que anteriormente no tenían esa oportunidad en vista del reducido número de bancos en el laboratorio. Por lo tanto, con el uso de herramientas de software para ingeniería y supuestos teóricos, se realizaron simulaciones que mostraron cuánto más efectivo puede ser el análisis de los resultados cuando se utiliza un sistema de medición en tiempo real. Además, los resultados mostraron que es posible disminuir el tiempo de las prácticas, recolectando los datos con mayor precisión y rapidez. Así, reforzó la hipótesis de que el uso de software de ingeniería y un sistema de medición es capaz de mejorar la comprensión de los fenómenos eléctricos a lo largo del tiempo y posibilita la participación de todos los estudiantes en las clases prácticas. Por tanto, la implementación de un sistema en tiempo real junto con simulaciones en software podría realizarse en clases prácticas en línea con la metodología actual, incorporándose en la estructura de la disciplina con el fin de respetar y armonizar con el medio con el que interactúa el curso.

**PALABRAS CLAVE:** Banco didáctico. Máquinas eléctricas, Aprendizaje.

### SUMARIO:

1. Introducción. 2. Referencial Teórico. 2.1. Maquinas electricas 2.2. Tipos de arrancadores de motor de inducción trifásicos. 2.2.1. Salida directa. 2.2.2. Partido estrella-triángulo. 2.2.3. Compensación de partidos. 2.2.4. Arranque del arrancador suave. 2.3. Modelado de Simulink. 3. Resultados. 4. Conclusión Y Consideraciones Finales. 5. Referencias.

<sup>1</sup> Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), Brasil - [arthurejs@unipam.edu.br](mailto:arthurejs@unipam.edu.br)

<sup>2</sup> Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), Brasil - [wesleypm@unipam.edu.br](mailto:wesleypm@unipam.edu.br)

## 1. INTRODUCCIÓN

El mercado laboral moderno requiere de un nuevo perfil profesional, que esté preparado para hacer frente a la tecnología cada vez más presente, siendo capaz de comprender estos datos, los nuevos equipos y aplicar los conocimientos teóricos obtenidos durante su formación. Por tanto, este trabajo busca estudiar la importancia y las posibles formas de optimizar el aprendizaje activo de los estudiantes de “Ingeniería Eléctrica” durante las clases prácticas de la disciplina “Máquinas Eléctricas”.

Actualmente, en el Laboratorio de Conversión de Energía, en el Centro Universitario de Patos de Minas (UNIPAM), existen tres prácticos bancos para máquinas eléctricas. Para que se lleve a cabo una práctica activa eficaz, donde el propio alumno realiza el experimento y no es solo un observador, lo ideal es la distribución de tres alumnos por banco.

En este sentido, con la disponibilidad limitada de bancas, la mayoría de los estudiantes solo observan las prácticas. Así, un sistema de medición en tiempo real y simulaciones de software permitirían al estudiante participar activamente, explorar y ampliar sus conocimientos.

El método actual de clases prácticas para la disciplina de “Máquinas Eléctricas” se basa en el uso de diversos equipos ampliamente utilizados en el entorno laboral de un ingeniero eléctrico. Entre los equipos utilizados para el monitoreo se encuentran amperímetros y multímetros, utilizados para monitorear fenómenos eléctricos, como voltaje, corriente, potencia, entre otros. Y como el alumno espera ingresar a este mercado laboral, es necesario saber utilizar estas herramientas, por lo tanto, la implementación de un sistema en tiempo real y simulaciones de software debe hacerse fusionando con la metodología actual, incorporándola la estructura de la disciplina para respetar y armonizar con el medio con el que interactúa el curso.

De esta forma, el proceso de enseñanza-aprendizaje se vuelve más fácil. Además, en este método los estudiantes desarrollan la creatividad, la comprensión de los fenómenos físicos y el conocimiento del software de ingeniería. Teniendo en cuenta que con las simulaciones en tiempo real se dejará el mínimo de brechas de aprendizaje, formando un profesional más completo y preparado para los desafíos del mercado laboral en el mundo globalizado.

Un estudio comparativo entre los métodos de enseñanza utilizados en los laboratorios de “Máquinas Eléctricas”, realizado por Macieira (2016) y el artículo “Enseñanza de la Ingeniería: Enfoque por Complejidad” de Cunha (2015), sirvió como parámetro para discutir y analizar las prácticas en laboratorio. Y se observa que, con la implementación de un sistema de medición en tiempo real, sería posible disminuir el tiempo de realización de las prácticas, ya que los datos se recolectarían de manera más fácil y rápida, lo que reduce el tiempo dedicado a la recolección de datos. prácticas realizadas.

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo es generar resultados y propuestas que puedan ayudar a la institución, coordinadores de cursos y otros interesados en contribuir al desarrollo de prácticas de laboratorio en esta disciplina. Además, se propone un método que contribuye al proceso de aprendizaje de los estudiantes, reduciendo el tiempo de las prácticas, mejorando la visualización de fenómenos eléctricos en tiempo real, ayudando en la comprensión teórica de la materia, lo que posibilita la ocurrencia de un mayor número de clases prácticas y / o la participación activa de todos los alumnos.

## 2. MÉTODO

El método utilizado para corroborar la hipótesis de que un sistema de medidas en tiempo real puede mejorar la comprensión del tema de las máquinas eléctricas, debido a la Pandemia de COVID-19, fue la simulación de arranques en motores de inducción de Simulink. El propósito de la simulación en Simulink es demostrar el comportamiento de diversos fenómenos eléctricos, como corriente, voltaje, velocidad del eje del motor, entre otros, de manera que se pueda evaluar el comportamiento de estos datos, facilitando la comprensión para una mejor fijación del tema. Por tanto, la metodología se llevó a cabo en 4 etapas:

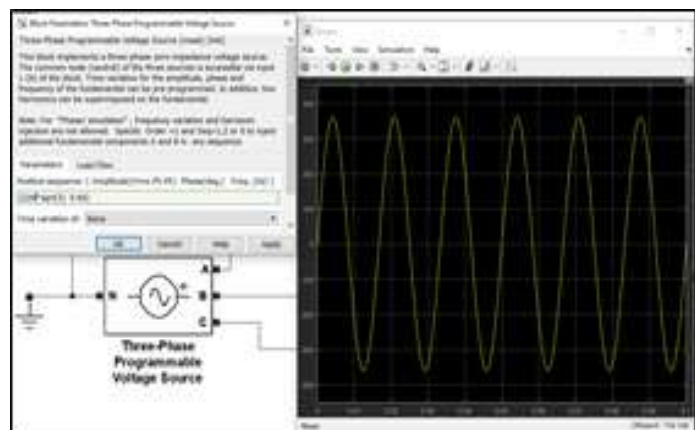
- 1ª etapa: Se estableció qué juegos se simularían en Simulink;
- 2ª etapa: El esquema se programó en Simulink;
- 3ª etapa: Comparación de los datos encontrados;
- 4º paso: Basado en lo que se vio en las simulaciones,

### 2.1 Estrategias metodológicas

A modo de ejemplo, se realizaron simulaciones siguiendo los modelos de salida de Brito (2017) utilizando el software simulink, con el fin de demostrar cómo se visualizarán los parámetros del motor. Para las simulaciones se eligieron los partidos, directo, estrella triangular y compensador; en la modelización se utilizaron fuentes de tensión, medidores de corriente y tensión, una constante indicadora de la carga acoplada al eje del motor y un motor de inducción trifásico, tipo jaula de ardilla.

Como fuente, se utilizó una fuente de voltaje trifásica programada, que indica el valor en rms, pero el valor que proporciona la fuente es el valor pico que es  $V\sqrt{2}$ . Para la simulación se desea que la fuente tenga voltaje para el motor conectado en estrella, por lo que el valor que se debe establecer para el voltaje es  $220\sqrt{3} = 381.05V$ , como se puede ver en la gráfica de la Figura 8.

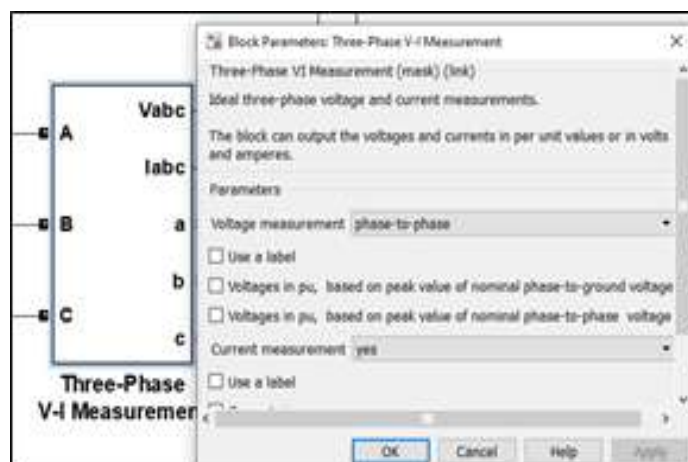
Figura 8 - Fuente de voltaje trifásica programable



Fuente: Matlab Simulink

Para la medición se utilizó un medidor trifásico, que se puede utilizar para realizar mediciones de voltaje de línea o fase y corrientes de fase. El voltaje se puede leer de fase a tierra o de fase a fase, para el trabajo, la medición se realizó entre fase y fase, lo cual se muestra en la Figura 9.

Figura 9- Medidor Trifásico



Fuente: Matlab Simulink

El motor elegido, entre las diversas opciones de modelado, fue un motor de inducción trifásico, con rotor de jaula de ardilla, representado en la Figura 10, donde la primera línea de parámetros se refiere a la potencia, voltaje y frecuencia, donde la potencia inicial es 3HP o 3x746W, el voltaje es 220V y la frecuencia 60Hz. El resto de parámetros, como la resistencia del rotor y los devanados del estator, la inductancia del estator y del rotor, la inercia, entre otros, fueron llenados según valores previamente establecidos por el software.

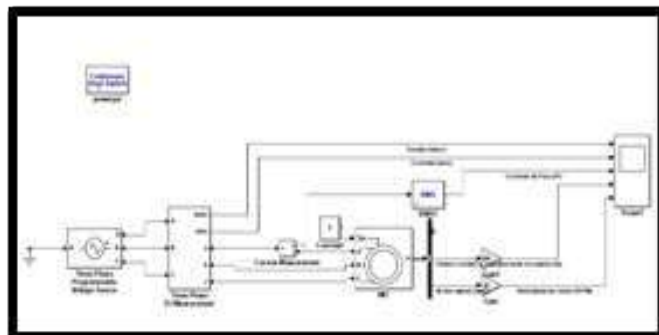
Figura 10- Configuración del motor



Fuente: Matlab Simulink

Al arrancar directamente, el motor se conecta directamente a la red y, por tanto, es el método de arranque más sencillo. Así, la simulación de este emparejamiento consistió básicamente en la fuente de voltaje, un medidor de voltaje y corriente, un motor trifásico y un bloque para medir señales, como se ve en la Figura 11.

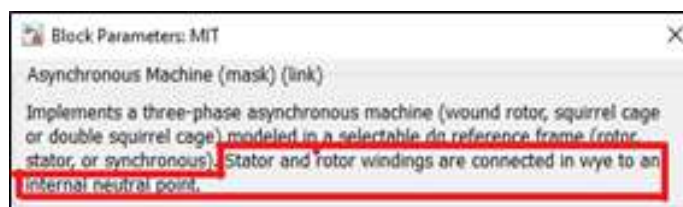
Figura 11- Esquema de inicio directo



Fuente: Matlab Simulink

A partir de esto se realizó el inicio estrella-triángulo, siendo simulado con una fuente programable, se alteró su amplitud de fase en un tiempo predeterminado, imitando un inicio estrella-triángulo. Esto se debe a que el MIT disponible en el simulink tiene sus contactos internos conectados a un neutro, por lo que siempre está conectado en la configuración de estrella, como se puede ver en la Figura 12.

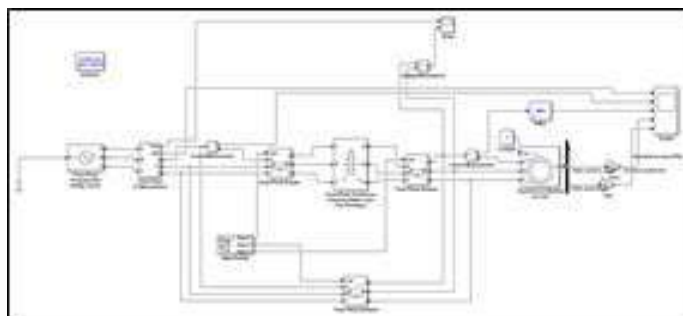
Figura 12 - Parámetro del bloque del motor de inducción



Fuente: Matlab Simulink

En el arrancador compensador, su principio es similar al del arrancador estrella-triángulo, ya que disminuye la tensión en el arrancador, por lo que la corriente disminuye proporcionalmente. El esquema está hecho a partir del esquema de arranque directo, pero se agregan contactores, control de señal y el transformador como se ve en la Figura 13.

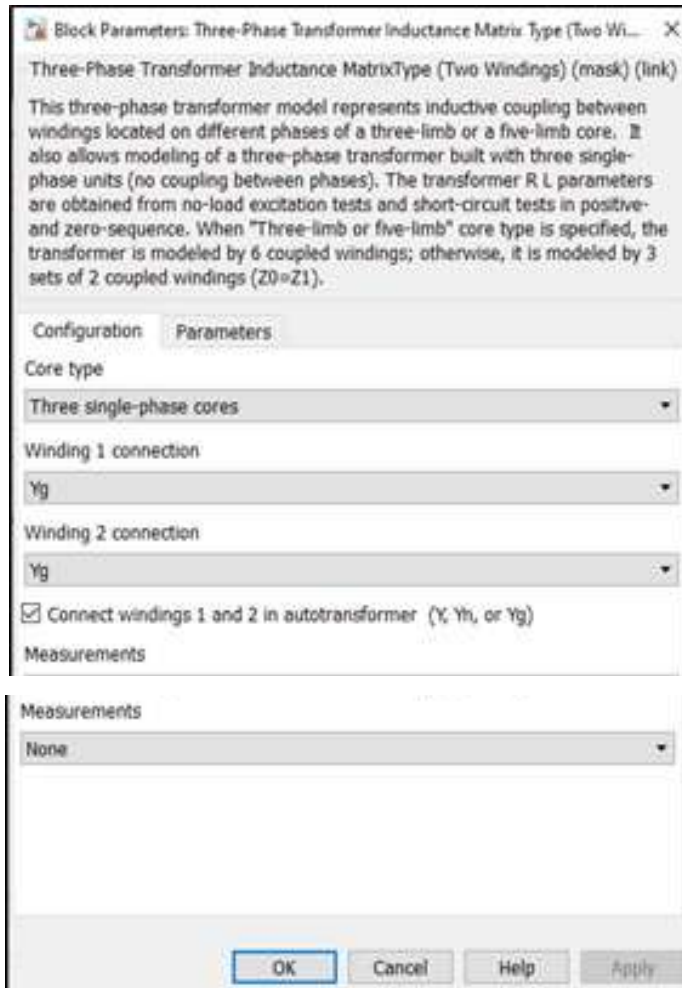
Figura 13- Esquema de salida de compensación



Fuente: Matlab Simulink

En el esquema se utilizó un autotransformador, mientras que en el simulink se eligió un transformador trifásico con dos devanados. Y también se optó por utilizar la opción de conectar como autotransformador, como se puede apreciar en la Figura 14, para bajar la tensión de alimentación del motor al 50% de la tensión nominal hasta alcanzar un valor cercano a la nominal.

Figura 14 - Parámetros del autotransformador



Fuente: Matlab Simulink

## 2.1.2 PROCEDIMIENTO

Una vez que los esquemas están listos, observamos el comportamiento de las variables del motor, como voltaje, corriente, corriente pico, velocidad del motor y la corriente en el estator. También se realizó una comparación de las corrientes de arranque de los 3 arranques, lo que facilita ver cómo se comporta la corriente de pico en cada arranque.

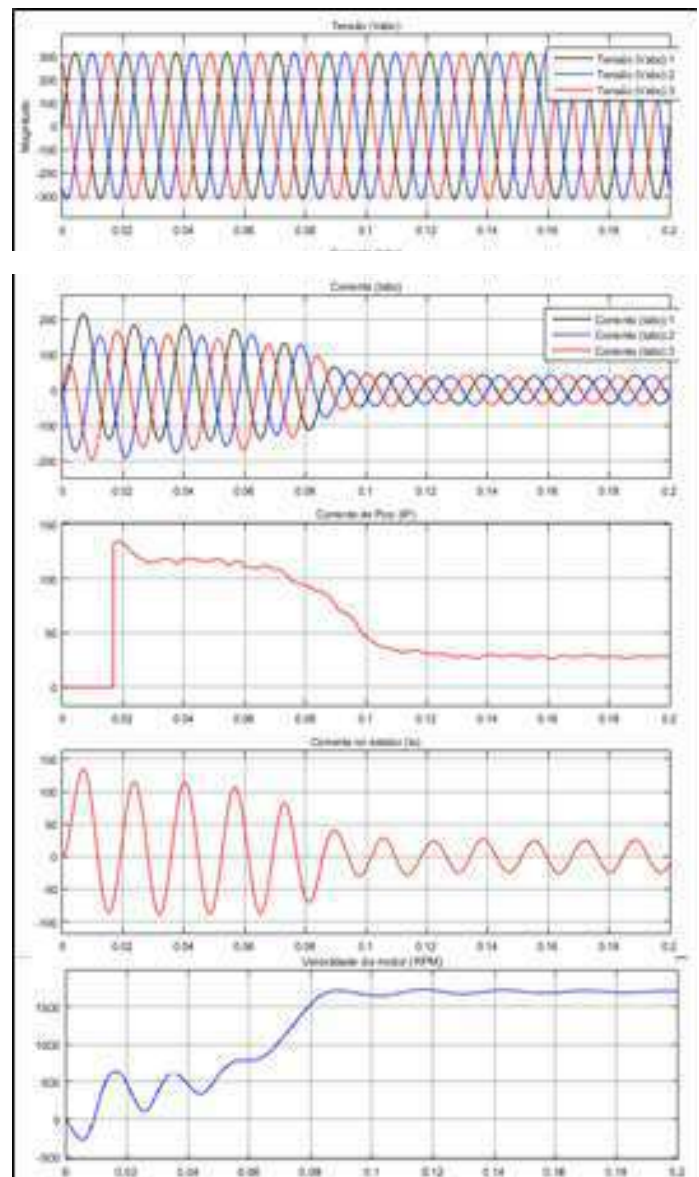
Posteriormente, se realizaron simulaciones con arranques directos, para motores de 1HP, 5HP y 10HP siguiendo el modelo presentado por Rossetto (2015), donde se investigó el hundimiento de tensión, con el fin de establecer si ese motor puede conectarse directamente a la red o si necesita un comienzo suave.

La caída de voltaje no debe exceder el 10% del voltaje nominal de la red, si esta caída es mayor al 10%, entonces el motor no debe romperse directamente, ya que causa daños al motor y a la empresa, interrumpiendo el proceso de producción,

como el desempeño de los dispositivos de protección contra subtensión, pérdida de programación de PLC (controladores lógicos programables), variación en la velocidad del variador, entre otros. Con el fin de acostumbrar al estudiante de ingeniería eléctrica a las asignaturas teóricamente tratadas en la asignatura de "Máquinas Eléctricas", disciplina de suma importancia en la carrera de ingeniería eléctrica, se desarrolló este trabajo. Con él, se buscó analizar artículos, la estructura disciplinaria de la asignatura y simular conexiones de motores en los bancos de prácticas, con el fin de corroborar con la implementación de un sistema de medición en tiempo real en el laboratorio de conversión de energía, del Centro Universitario de Patos de Minas Gerais (UNIPAM).

En el arranque directo, utilizando el bloque de medición de señal (Bus Selector), se miden las tensiones y corrientes rezagadas en  $120^\circ$ , la corriente de pico, la corriente del estator y la velocidad (RPM) después del arranque del motor, y es posible observar que con la carga establecida de 7 Tm, la corriente del motor aumenta a  $\sim 130$  A y se estabiliza  $\sim 30$  A, con una relación  $I_p / I_n$  de 4.3x, como se muestra en la Figura 15.

Figura 15- Parámetros de medición: arranque directo

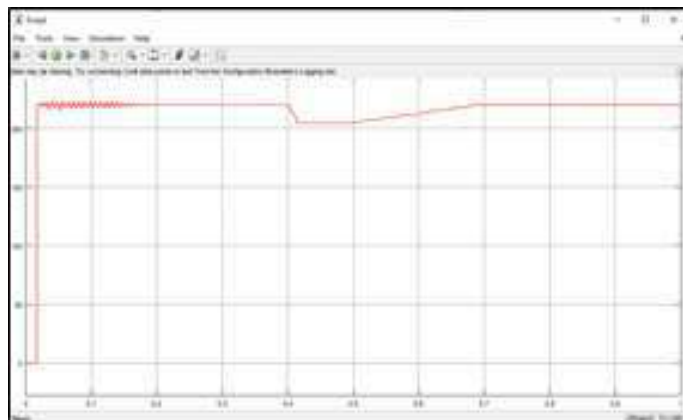


Fuente: Matlab Simulink

### 3. RESULTADOS

Solo con estos parámetros ya es posible entender por qué la importancia de un sistema de medición, ya que facilita la visualización del comportamiento de los fenómenos presentes en el juego, haciendo que el alumno tenga una mejor comprensión, facilitando así el aprendizaje. Para la simulación de hundimiento, utilizando una carga con un par de 3 Nm, primero se hizo analizando un motor de 1 HP, poniendo un temporizador en el motor luego de 0.4 segundos, se puede ver en la figura 16 una caída de voltaje a aproximadamente 205V, lo que indica una disminución de  $220-205 = 15V$ , es decir,  $15/220 = 6.8\%$  siendo menos del 10%, por lo que con un motor de 1 HP se indica el arranque directo.

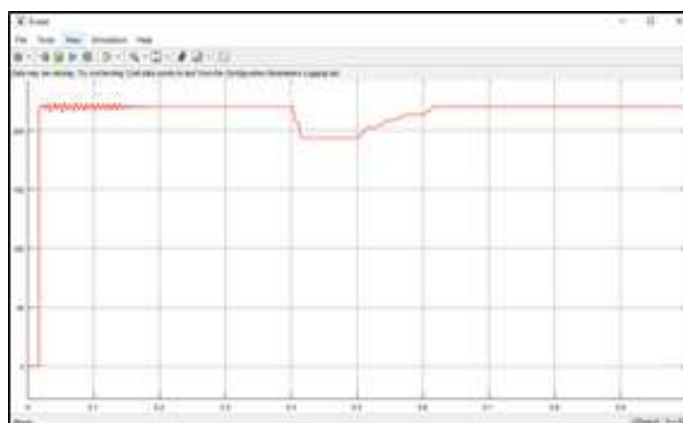
Figura 16 - Caída de tensión con motor de 1 HP



Fuente: Matlab Simulink

El resultado de la caída de voltaje en el motor de inducción de potencia de 5HP como se muestra en la figura 17, indica una caída de voltaje RMS a aproximadamente 189 V, lo que causa una caída de  $220-189 = 31 V$ , es decir,  $31/220 = 14.09\%$ , siendo mayor que el valor indicado del 10% de la tensión nominal, por lo tanto, no se indica que el motor se arranque directamente.

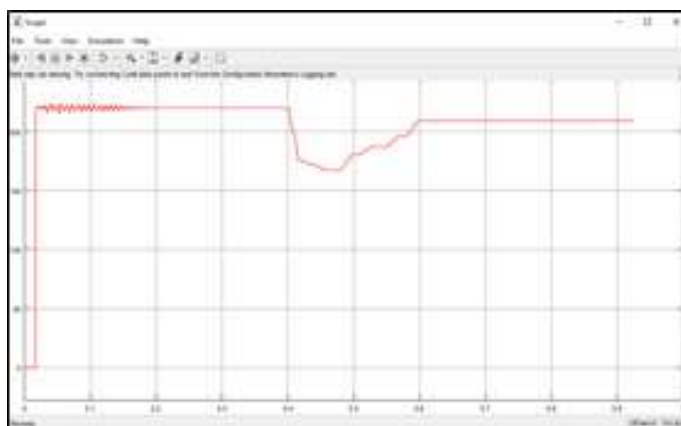
Figura 17- Disipador de voltaje con motor de 5HP



Fuente: Matlab Simulink

El motor de inducción de 10HP, resultado del descenso de voltaje, indica una caída de voltaje RMS a aproximadamente 171V, como se puede ver en la figura 18, provocando una caída de  $220-171 = 48V$ , es decir,  $48/220 = 22.27\%$ , siendo muy superior al valor indicado del 10% de la tensión nominal, además cuando llega a la tensión máxima se mantiene por debajo de la nominal en torno a los 210V, lo que provoca un mayor daño a la vida del motor, por lo que, no se recomienda arrancar el motor directamente.

Figura 18- Afundamento de tensão com motor de 10HP



Fuente: Matlab Simulink

Luego de ejecutar los arranques directos, fue posible observar la tensión de hundimiento de los motores de inducción con potencias de 1 HP, 5 HP y 10 HP. Con esto, pudimos establecer cuál de estos motores se puede arrancar directamente conectado a la red o necesita algún dispositivo o modelo de arrancador suave, como estrella triangular, compensador o arrancadores suaves.

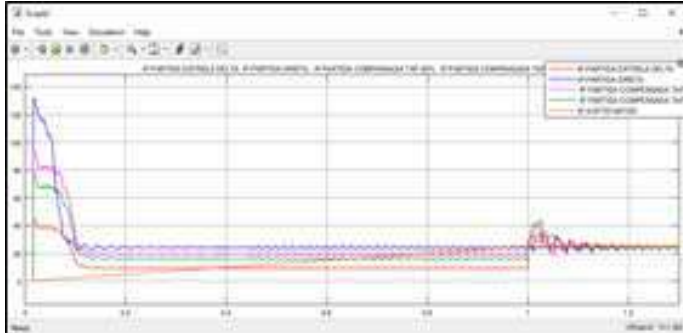
- 1 HP donde  $\Delta V = 6.8\% < 10\%$ , se puede romper directamente conectado a la red;
- 5 CV donde  $\Delta V = 14.09\% > 10\%$ , no es recomendable arrancar el motor directamente;

- 10 CV donde  $\Delta V = 22.27\% > 10\%$ , no es aconsejable arrancar el motor directamente;

El voltaje de descenso ocurre principalmente debido a la alta corriente de arranque cuando el motor está conectado directamente a la red, por lo que podemos usar arranques suaves para disminuir este pico de corriente. Con la ayuda del simulink, es posible comparar la corriente máxima de los distintos arranques, como arranque directo, arranque estrella-triángulo, arranque compensador y arranque suave. A partir de esto, se comparó la corriente pico de los siguientes arranques, arranque directo, arranque estrella-triángulo, arranque compensado con TAP 50% y arranque con arranque suave, como se puede ver en la figura 19.

El El arrancador triangular en estrella y arrancadores suaves se simularon con una fuente de voltaje trifásica programable, ya que el MIT disponible en el simulink tiene sus contactos internos conectados a un neutro. Por lo tanto, siempre está encendido en la configuración de estrella.

**Figura 19- Comparación de la corriente de pico de los diferentes arranques**



Fuente: Matlab Simulink

Al comparar las corrientes de pico de los arranques simulados, es fácil comprender el comportamiento de la corriente de pico de todos ellos. Es posible observar que la corriente de arranque directo tiene el pico más alto y alcanza la corriente nominal más rápida, mientras que los arranques con el pico más bajo tardan un poco más en alcanzar la corriente nominal. También notamos que los arrancadores estrella-triángulo, compensados con TAP en 80% y 50%, tienen un pico de corriente más bajo, pero tienen otro pico a 1 segundo, cuando están conectados directamente a la red.

A diferencia de otros arrancadores, al arrancar con arrancador suave la corriente tiene un comportamiento diferente, al ser un dispositivo electrónico, controla el voltaje con un puente tiristorizado, haciendo que la conmutación de voltaje esté cada vez más disponible, teniendo un arranque seguro y suave, sin la existencia de un pico de corriente.

Además de este tipo de simulación, también es posible modelar otros métodos, como convertidores de frecuencia, obtención de curvas de potencia, velocidad, corriente, voltaje, entre otros. Como se ve en la simulación, el uso de un sistema de medición y tiempo real beneficia la realización de clases prácticas y facilita la comprensión de los fenómenos eléctricos.

Un banco de prácticas bien equipado, monitorizado y con un buen software de simulación no garantiza un alto nivel de aprendizaje, pero agudiza al alumno a buscar formas de dedicarse al conocimiento en diversos aspectos científicos. Además, hay que combinar diferentes métodos y enfoques y no tratar el aprendizaje de forma sencilla y acabar utilizando una metodología estática, ya que esto puede perjudicar la construcción profesional del alumno. Al combinar nuevos enfoques prácticos, el docente llena los vacíos en el desarrollo de los estudiantes, capacitando a los estudiantes que tienden a tener una ventaja positiva en el mercado laboral como ingenieros (MACIEIRA, 2016).

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El método actual de clases prácticas para la disciplina de "Máquinas Eléctricas" se basa en el uso de diversos equipos ampliamente utilizados en el entorno laboral de un ingeniero eléctrico. Y como el estudiante espera ingresar a este mercado laboral, es necesario tener conocimientos de cómo utilizar estas herramientas. Así, la implementación de un sistema en tiempo real en conjunto con simulaciones de software fusionándose con la metodología actual, incorporándose a la estructura de la disciplina con el fin de respetar y armonizar con el medio con el que interactúa el curso.

Así, parece que es necesario hacer del alumno el centro de actividades, siendo parte activa de las prácticas que se realizan en la disciplina de "Máquinas Eléctricas". Con la implementación de un sistema de medición en tiempo real, sería posible que todos los estudiantes practiquen, y no solo desde la perspectiva de un observador, porque el laboratorio es donde se lleva a cabo la simulación de puntos muertos encontrados en la vida profesional, y por eso es El trabajo activo del estudiante es importante porque afecta el proceso de construcción de un ingeniero.

Se espera que este trabajo, aunque no dé una respuesta definitiva de forma directa, en forma de proyecto práctico para la disciplina en el laboratorio de "Máquinas Eléctricas", pueda ayudar a la institución, coordinadores de curso y otros interesados en contribuir al desarrollo de prácticas de laboratorio en esta disciplina. Como posibles propuestas de continuidad, se podría realizar un prototipo de un sistema de medición en tiempo real en uno de los bancos existentes en el laboratorio, utilizando el software de ingeniería LabVIEW y un dispositivo de adquisición de datos DAQ. Otra propuesta interesante serían las visitas a universidades de otras ciudades o estados, para comparar metodologías y tecnologías utilizadas en esta disciplina, realizando un análisis de las similitudes y diferencias encontradas en las distintas instituciones. Y finalmente, la elaboración estructurada de actividades en laboratorio para que sea posible conciliar el proyecto de medición en tiempo real, con la metodología actual aplicada en la disciplina "Máquinas Eléctricas".



## REFERENCIAS

- BERTULUCCI, C. S. Motor CC: Descubre cómo funciona y cómo especificarlo. Disponible en: <<https://www.citisystems.com.br/motor-cc/>>. Consultado: 19/02/2020.
- BIANCHINI, D; GOMES, F. D. La enseñanza de la ingeniería a través de laboratorios virtuales de electrónica: una reflexión entre el montaje en el protoboard y la simulación. COBENGE, Campinas, 2006.
- BRITO, E. L. Modelado de métodos de salida del MIT usando matlab / simulink. Brasília: UNB, 2017.
- CAETANO, S. A. A. Montaje de banco dinamométrico para evaluar el comportamiento de propulsores de aerogeneradores o hidrocineéticos, Brasília, 2016.
- CHAPMAN S. J. Fundamentos de máquinas eléctricas: 5. Ed. São Paulo: Ltda, 2013.
- COELHO, J. P. Introducción a las aplicaciones de Simulink en ingeniería. Braganza, 2017.
- COSTA, M. H. F. Análisis comparativo del uso de dos equipos para arranque directo de motores eléctricos trifásicos de inducción de rotor de jaula de ardilla: convertidores de frecuencia x interruptores de arranque estáticos (arranque suave), Belo Horizonte, 2014.
- CRISTIANE, T. S. L.; CÉLIA R. T. M. Procedimientos metodológicos en la construcción del conocimiento científico: investigación bibliográfica. Florianópolis, 2007.
- CUNHA, F. M. ENSEÑANZA DE INGENIERÍA: Enfoque de la complejidad. São Paulo, 2015.
- CREDER, H. Instalaciones eléctricas. Río de Janeiro: Libros técnicos y científicos, 1995.
- FITZGERALD, A. E.; JR, C. K.; UMANS, S. Máquinas eléctricas: Con introducción a la electrónica de potencia. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- FRANCISCO, A. M. S. Motores de inducción trifásicos. Disponible en: <[http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/lpe/maquinas%20el%C3%A9ctricas%202/aulas%20te%C3%B3ricas/Motores\\_inducao\\_tri.pdf](http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/lpe/maquinas%20el%C3%A9ctricas%202/aulas%20te%C3%B3ricas/Motores_inducao_tri.pdf)>. Consultado el: 20/02/2020.
- HENRIQUE, L. S. M. C. Sistema de monitorización mediante haz de luz. Brasília, 2008.
- Motores HONDA, F. DC: Guía rápida para especificaciones precisas. Disponible en: <[http://www.marioloureiro.net/tecnica/electrif/Motores\\_CC\\_ind1.pdf](http://www.marioloureiro.net/tecnica/electrif/Motores_CC_ind1.pdf)>. Consultado: 19/02/2020.
- AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIA. Los principales tipos de sensores y sus aplicaciones en la industria. Disponible en: <<https://www.rtiautomacao.com.br/os-principais-tipos-de-sensores-e-suas-aplicacoes-na-industria/>>. Consultado: 03/06/2020.
- KIRK, E. V. Introducción a la Ingeniería. Libros técnicos y científicos, Río de Janeiro, 1979.
- KOSOW, I. L. Máquinas eléctricas y transformadores. Río de Janeiro: Globo, 2000.
- LEÃO, F.B. Máquinas sincrónicas, 2016. FEIS-UNESP. Disponible en: <[https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/slides-2016-cap5\\_eletrotecnica\\_fabioleao.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/slides-2016-cap5_eletrotecnica_fabioleao.pdf)> consultado el: 20/02/2020.
- ELTON, L.L.A. COMMANDO ELÉTRICOS-PARTIDAS, 2014, Actas del XII Encuentro Científico Cultural Interinstitucional.
- FRANCHI, C. M. Accionamientos eléctricos, Editora Érica Ltda, São Paulo, 2008.
- LOISELLE, R.; XU, Z.; VOLOH, I. Monitorización esencial de la salud del motor. Conferencia del Comité de la Industria Química y del Petróleo de IEEE, p. 1-5, Houston, TX, EE. UU., 2015.
- MACIEIRA, K. Estudio comparativo entre los métodos de enseñanza utilizados en los laboratorios de maquinaria eléctrica. Belo Horizonte: CEFET, 2016.
- MAMEDE, F.J. Instalaciones eléctricas industriales. 6. ed. Río de Janeiro: Libros técnicos y científicos, 2001.
- MORAES, C.C. Ingeniería en automatización industrial. 2ª ed. Río de Janeiro: LTC, 2012.
- INSTRUMENTOS NACIONALES. Adquisición de datos. Disponible en: <<https://www.ni.com/data-acquisition/en/>>. Consultado: 27/02/2020.
- INSTRUMENTOS NACIONALES. Qué es LabVIEW. Disponible en: <<https://www.ni.com/pt-br/shop/labview.html>>. Consultado el: 20/02/2020.
- PEKELMAN, H; JR, A. G. La importancia de los laboratorios en la enseñanza de la ingeniería mecánica. COBENGE, Consolação, 2004.
- ROSA, A.S. Simulación de un arrancador suave para impulsar motores de inducción, Goiânia, 2003.
- ROSSETO, R.G. Modelado computacional en simulink para análisis en el arranque directo de motores de inducción trifásicos. IFSP, 2015.
- TEIXEIRA, A. Aplicabilidad y diferencias entre convertidores y convertidores de frecuencia en plantas industriales con control de velocidad, Belo Horizonte, 2014.
- VILLAR, G, J. V. Generadores y motores DC (máquinas de corriente continua), Mossoró, 2006.
- GUDWIN, R. Aprendizaje activo. Disponible en: <<http://faculty.dca.fee.unicamp.br/gudwin/activelearning>> Consultado el: 26/08/2020

# MODELAMIENTO DEL RÉGIMEN ESTACIONARIO DE UN CONVERTIDOR ELEVADOR DE ALTA GANANCIA CON BAJO ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/09/2019 ACEPTADO: 15/03/2020 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/07/2020

### STEADY REGIME MODELING OF A HIGH GAIN BOOST CONVERTER WITH LOW ENERGY STORAGE

<sup>1</sup> Nicolás Alejandro López Varón

<sup>2</sup> Oswaldo López Santos

Como citar este artículo: Lopez, N; Lopez, O, (2020) Modelamiento del régimen estacionario de un convertidor elevador de alta ganancia con bajo almacenamiento de energía, revista Dynamikos 1 (2). Recuperado de: <https://teinco.edu.co/wp-content/uploads/2021/07/Revista-Dinamicos-No2.pdf>

#### RESUMEN:

En este artículo se estudia de forma detallada el régimen estacionario del convertidor elevador cuadrático con bajo almacenamiento de energía recientemente introducido en la literatura. Entre las principales características de este convertidor está el bajo rizado en el voltaje de salida, que permite obtener las mismas prestaciones de otro convertidor elevador cuadrático, pero usando condensadores de menor tamaño, reduciendo la energía almacenada y mejorando la respuesta dinámica. El análisis detallado del convertidor permite determinar el modelo matemático que reproduce las formas de onda de las corrientes en los inductores y los voltajes en los capacitores, precisando el comportamiento del rizado en el voltaje de salida. Como resultado, se tiene un mejor entendimiento del comportamiento del factor de rizado del convertidor lo cual es un insumo nuevo para facilitar su integración en aplicaciones prácticas que requieran altas ganancias, como es el caso del uso de energías renovables. Los modelos obtenidos son validados con resultados de simulación.

**PALABRAS CLAVE:** Modelamiento de estado estable, convertidor de alta ganancia, convertidor elevador cuadrático, convertidor DC-DC, bajo almacenamiento de energía.

#### SUMARIO:

1. Introducción. 2. Análisis del convertidor. 2.1. Modelamiento del circuito. 2.2. Análisis de las formas de onda. 2.3. Análisis del rizado en el voltaje de salida. 2.4. Instrumentos de recogida de información. 3. Resultados. 4. Conclusiones. 5. Referencias.

#### ABSTRACT:

In this paper, the steady-state of a new topology of high-gain boost converter is studied. The selected topology corresponds to the low-stored energy quadratic boost converter recently introduced in literature. Among its main features, this converter shows low ripple in the output voltage, with which its use allows provide the same characteristics of similar topologies but using capacitors with lower size. This fact also implies a reduction in the stored energy improving the dynamic response. A detailed analysis of the converter allows to deduce the mathematical model which reproduces the waveforms of the inductor currents and capacitor voltages, also allowing to obtain the behavior of the output voltage ripple. As a results, a better understanding of the ripple factor of the converter is obtained facilitating its integration in practical applications requiring high gains such as in the case of renewable energies. The obtained model is validated using simulation results.

**KEYWORDS:** Steady-state modeling, high-gain converter, quadratic boost converter, DC-DC converter, low stored energy.

**CONTENTS:** 1. Introduction. 2. Converter analysis. 2.1. Circuit modelling. 2.2. Waveforms analysis. 2.3. Output voltage ripple analysis. 2.4. Instruments for collecting information. 3. Results. 4. Conclusions. 5. References.

1 Estudiante de Ingeniería Electrónica – Universidad de Ibagué, UI, Colombia - 2420151035@estudiantesunibague.edu.co

2 Profesor del programa de Ingeniería Electrónica - Universidad de Ibagué, UI, Colombia – oswaldo.lopez@unibague.edu.co

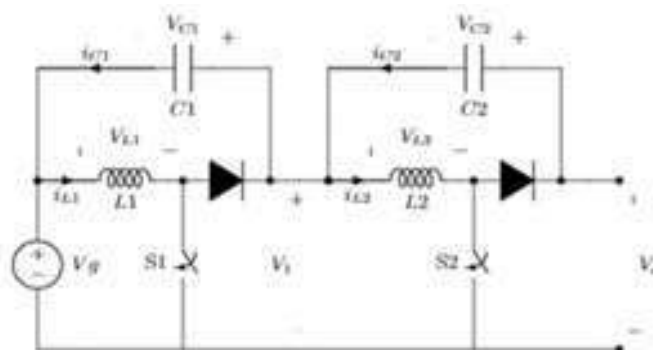
# 1. INTRODUCCIÓN

Los convertidores de potencia han sido utilizados por muchos años en distintas ramas de la tecnología creando una amplia gama de aplicaciones. Entre ellas, en años recientes, las más comúnmente conocidas pueden ser los sistemas de generación basados en energías renovables, tales como las microrredes, las cuales pueden integrar paneles solares, turbinas eólicas y baterías, produciendo un nivel de voltaje de distribución mayor al suministrado por cada uno de los elementos generadores. En particular, esta característica es aportada por convertidores de ganancia elevadora.

Los convertidores elevadores convencionales pueden aprovecharse teóricamente para obtener altas ganancias, a cambio de utilizar niveles de ciclo útil extremadamente altos. Sin embargo, estas altas ganancias no son alcanzables prácticamente por distintas razones. La primera razón es que los elementos parásitos dentro de los componentes inductivos, capacitivos y los semiconductores del convertidor, producen caídas de tensión y pérdidas de potencia que se reflejan en una notable reducción de ganancia con respecto a su versión teórica. En la literatura existen cuatro posibles soluciones conocidas para incrementar considerablemente la ganancia: 1) usar topologías que incluyan un transformador de potencia operando a alta frecuencia; 2) usar topologías que incluyan elementos resonantes; 3) emplear topologías compuestas de multi-etapas del mismo convertidor sin uso de transformadores; y 4) desarrollar topologías con ganancias cuadráticas. Las dos últimas soluciones son preferidas debido a que no se incrementa la complejidad del circuito ni se requieren elementos de aislamiento adicionales que incrementen el tamaño y el costo del montaje [1]-[7]. Es importante mencionar que al usar dos o tres convertidores en cascada es posible obtener la versión cuadrática o cúbica de su ganancia, respectivamente. En los convertidores elevadores cuadráticos y cúbicos, se ha observado que las pérdidas por conducción aportadas por los elementos parásitos se ven incrementadas debido a la posición de los semiconductores en cada etapa del convertidor. Esto implica, por ejemplo, que más allá de la topología cuadrática, las topologías obtenidas tendrán menor eficiencia y por lo tanto su capacidad de conversión estará más limitada [8]. Por esta razón, los convertidores cuadráticos son la alternativa idónea para obtener mayor ganancia sin ver comprometida la eficiencia [9].

Esta investigación en particular nace de la necesidad de estudiar una topología de convertidor elevador de alta ganancia con bajo almacenamiento de energía, presentada recientemente en la literatura [10]. Hacer uso práctico y aprovechar al máximo las características que lo hacen especial frente a otras posibles topologías de convertidores elevadores cuadráticos son los principales objetivos del estudio. Primero, es importante mencionar, que se le reconoce la posibilidad de ofrecer la misma ganancia de otros convertidores elevadores cuadráticos sin incrementar el número de elementos en el circuito o comprometer la eficiencia. Como característica especial, se reconoce que, considerando la posición de los interruptores controlados en el circuito, es posible producir la cancelación del rizado en el voltaje de salida, o su minimización como ocurriría en el caso no ideal. También, debido a la posición de los condensadores en el circuito, es posible obtener el mismo rizado en el voltaje de salida usando condensadores de menor tamaño, lo que a su vez implica una reducción en la energía almacenada. La topología del convertidor estudiado se muestra en la ilustración 1.

Ilustración 1. Convertidor propuesto a estudiar.



Fuente: Autores, 2020.

En este artículo se desarrolla el procedimiento matemático necesario para encontrar el comportamiento de estado estable del convertidor elevador cuadrático con bajo almacenamiento de energía. En la sección 2, se parte de un análisis de circuitos que deriva en un análisis matemático que permite obtener las expresiones que modelan las corrientes en los inductores y los voltajes en los capacitores. Luego, a partir de dichas expresiones, se analiza el factor de rizado en la tensión de salida del convertidor usando un algoritmo desarrollado en MATLAB, el cual encuentra la forma de onda del voltaje de salida en el convertidor. Los resultados son validados contrastándolos con las simulaciones del circuito conmutado simulado en PSIM en la sección 3. Para finalizar, en la sección 4 se presentan las conclusiones y propuestas de trabajo futuro.

## 2. ANÁLISIS DEL CONVERTIDOR

### 2.1 Modelamiento del circuito

En esta sección se estudiará la operación del convertidor elevador cuadrático propuesto en [10], el cual se muestra en la ilustración 1. Los interruptores controlados S1 y S2 son operados a la misma frecuencia usando señales con el mismo ciclo útil pero desfasadas 180° entre ellas. Esto se traduce en que el inicio de la señal de disparo del interruptor S2 se produce cuando señal de disparo del interruptor S1 se encuentra a la mitad de su periodo. Al poseer el convertidor dos etapas de conversión y dos interruptores controlados operados con desfaseamiento se producen cuatro posibles estructuras de circuito definidas por la conmutación de S1 y S2. Estos estados poseen las relaciones en voltajes en los inductores y corrientes en los capacitores definidas en la tabla 1, las cuales serán la base para desarrollar el modelo de régimen estacionario.

Las variables  $v_{L1}$  y  $v_{L2}$  definen los voltajes en los inductores L1 y L2 mientras que las variables  $i_{L1}$  e  $i_{L2}$  definen sus corrientes. Para los capacitores C1 y C2, las corrientes son definidas con las variables  $i_{C1}$  e  $i_{C2}$ . El voltaje en la salida de la primera etapa del convertidor se denomina  $v_1$  mientras que la salida de la segunda etapa se obtiene como  $v_o = v_g + v_{C1} + v_{C2}$  en donde  $v_{C1}$  e  $v_{C2}$  definen los voltajes en los capacitores.

La resistencia R es la carga conectada al circuito y define la corriente de salida del circuito  $i_o = v_o / R$ .

Tabla 1. Circuitos equivalentes de acuerdo al estado de conmutación de S1 y S2.

| Es<br>tado | S1  | S2  | Circuito equivalente | Variables en<br>el circuito                                                                                                    |
|------------|-----|-----|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 00         | Off | Off |                      | $\begin{aligned} V_{L1} &= v_g - v_1 \\ V_{L2} &= v_1 - v_o \\ i_{C1} &= i_{L1} - i_o \\ i_{C2} &= i_{L2} - i_o \end{aligned}$ |
| 10         | On  | Off |                      | $\begin{aligned} V_{L1} &= v_g \\ V_{L2} &= v_1 - v_o \\ i_{C1} &= -i_o \\ i_{C2} &= i_{L2} - i_o \end{aligned}$               |
| 01         | Off | On  |                      | $\begin{aligned} V_{L1} &= v_g - v_1 \\ V_{L2} &= v_1 \\ i_{C1} &= i_{L1} - i_{L2} - i_o \\ i_{C2} &= -i_o \end{aligned}$      |
| 11         | On  | On  |                      | $\begin{aligned} V_{L1} &= v_g \\ V_{L2} &= v_1 \\ i_{C1} &= -i_{L2} - i_o \\ i_{C2} &= -i_o \end{aligned}$                    |

Fuente: Autores, 2020.

Sin embargo, dada la configuración de las señales de conmutación, los cuatro estados no se presentan en un periodo de conmutación ya que solamente tres de ellos aparecerán dependiendo del valor instantáneo del ciclo útil (D). Por esta razón, el estudio del convertidor se realiza para dos rangos de ciclo útil, uno para valores por debajo del 50% (aparecerán los estados 00, 01 y 10) y otro para valores mayores al 50% (aparecerán los estados 11, 01 y 10). En la frontera que corresponde al ciclo útil del 50%, el comportamiento puede ser descrito por el modelo de cualquiera de los rangos definidos previamente.

A partir de las expresiones en la tabla 1 y el análisis de los tiempos que transcurren en cada uno de los estados se obtienen los equilibrios en los elementos que acumulan energía en el convertidor. Para encontrarlos se desarrolla el balance voltios-segundos en los inductores y el balance de carga en los capacitores. Como conclusión del desarrollo de estos balances, se encuentran las expresiones que determinan los valores promedios de las variables internas del convertidor y que se listan en la tabla 2.

Tabla 2. Balance de carga y balance voltios-segundo

| D     | Balance de carga                                                                                                                                                                                                                                                                        | Balance voltios-segundo                                                                                                                                                                                                |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <50 % | $\begin{aligned} (i_{L2} - i_o)D + (i_{L2} - i_o)(1 - 2D) - i_o D &= 0 \\ I_{L2} = \frac{I_o}{1 - D} = \frac{V_o}{R(1 - D)} \\ -i_o D + (i_{L1} - I_o)(1 - 2D) + (i_{L1} - i_{L2} - i_o)D &= 0 \\ I_{L1} = \frac{I_o}{(1 - D)^2} = \frac{V_g}{R(1 - D)^4} \end{aligned}$                | $\begin{aligned} v_g D + (v_g - v_1)(1 - 2D) + (v_g - v_1)D &= 0 \\ V_1 = \frac{V_g}{(1 - D)} \\ (v_1 - v_o)D + (v_1 - v_o)(1 - 2D) + v_1 D &= 0 \\ V_o = \frac{V_1}{1 - D} = \frac{V_g}{(1 - D)^2} \end{aligned}$     |
| >50 % | $\begin{aligned} (i_{L2} - i_o)(1 - D) + (-i_o)(2D - 1) - i_o(1 - D) &= 0 \\ I_{L2} = \frac{I_o}{1 - D} = \frac{V_o}{R(1 - D)} \\ -i_o(1 - D) + (-i_{L2} - I_o)(2D - 1) + (i_{L1} - i_{L2} - i_o)(1 - D) &= 0 \\ I_{L1} = \frac{I_o}{(1 - D)^2} = \frac{V_g}{R(1 - D)^4} \end{aligned}$ | $\begin{aligned} v_g(1 - D) + (v_g) * (2D - 1) + (v_g - v_1)(1 - D) &= 0 \\ v_1 = \frac{v_g}{(1 - D)} \\ (v_1 - v_o)(1 - D) + (v_1)(2D - 1) - D &= 0 \\ V_o = \frac{V_1}{1 - D} = \frac{V_g}{(1 - D)^2} \end{aligned}$ |

Fuente: Autores, 2020.

## 2.2 ANÁLISIS DE LAS FORMAS DE ONDA

A partir de los voltajes de equilibrio es posible determinar la forma de onda que tendrán las corrientes de los inductores en cada una de las dos regiones de ciclo útil y cada uno de los tramos definidos por los estados (00, 01, 10, 11). Para ello se parte de la expresión  $v_L = L (di_L/dt)$  que para el caso de una señal triangular puede ser usada para determinar las pendientes en cada uno de los estados cuya tendencia puede resultar creciente o decreciente de acuerdo con el estado de los interruptores. Las tablas 3 y 4 resumen las expresiones de corriente obtenidas en donde  $F_s$  es la frecuencia de conmutación del convertidor.

**Tabla 3. Definición a tramos de las formas de onda de la corriente en los inductores para  $D < 50\%$ .**

| Corriente   | Tendencia   | Estado | Forma de onda                                                                            |
|-------------|-------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| $i_{L1}(t)$ | Creciente   | 10     | $\frac{v_g}{L_1}t + \frac{v_g}{R(1-D)^4} - \frac{v_g D}{2L_1 f_s}$                       |
|             | Decreciente | 0X     | $-\frac{v_g D}{L_1(1-D)}t + \frac{v_g}{R(1-D)^4} + \frac{v_g D(1+D)}{2L_1 f_s(1-D)}$     |
| $i_{L2}(t)$ | Creciente   | 01     | $\frac{v_g}{L_2(1-D)}t + \frac{v_g}{R(1-D)^3} - \frac{v_g(1+D)}{2L_2(1-D)f_s}$           |
|             | Decreciente | 10     | $-\frac{v_g D}{L_2(1-D)^2}t + \frac{v_g}{R(1-D)^3} - \frac{v_g D^2}{2L_2(1-D)^2 f_s}$    |
|             |             | 00     | $-\frac{v_g D}{L_2(1-D)^2}t + \frac{v_g}{R(1-D)^3} + \frac{v_g D(2+D)}{2L_2(1-D)^2 f_s}$ |

Fuente: Autores, 2020.

**Tabla 4. Definición a tramos de las formas de onda de la corriente en los inductores para  $D > 50\%$ .**

| Corriente   | Tendencia   | Estado | Forma de onda                                                                         |
|-------------|-------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $i_{L1}(t)$ | Creciente   | 1X     | $\frac{v_g}{L_1}t + \frac{v_g}{R(1-D)^4} - \frac{v_g D}{2L_1 f_s}$                    |
|             | Decreciente | 01     | $-\frac{v_g D}{L_1(1-D)}t + \frac{v_g}{R(1-D)^4} + \frac{v_g D(1+D)}{2L_1 f_s(1-D)}$  |
| $i_{L2}(t)$ | Creciente   | 11     | $\frac{v_g}{L_2(1-D)}t + \frac{v_g}{R(1-D)^3} + \frac{v_g(1-D)}{2L_2(1-D)f_s}$        |
|             |             | 01     | $\frac{v_g}{L_2(1-D)}t + \frac{v_g}{R(1-D)^3} - \frac{v_g(1+D)}{2L_2(1-D)f_s}$        |
|             | Decreciente | 10     | $-\frac{v_g D}{L_2(1-D)^2}t + \frac{v_g}{R(1-D)^3} + \frac{v_g D^2}{2L_2(1-D)^2 f_s}$ |

Fuente: Autores, 2020.

De la misma forma que se encontraron las formas de onda de corriente en los inductores se puede llegar a las formas de onda de corriente en los capacitores, a partir de las expresiones en la tabla 1. Las expresiones resultantes se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5. Definición a tramos de las formas de onda de la corriente en los capacitores.**

| $< 50\%$                                                                                                                                                                                                                                | $> 50\%$                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $i_{C1}(t) = \begin{cases} -i_o & ; 0 < t < T_s D \\ i_{L1} - i_o & ; T_s D < t < \frac{T_s}{2} \\ i_{L1} - i_{L2} - i_o & ; \frac{T_s}{2} < t < \frac{T_s}{2} + T_s D \\ i_{L1} - i_o & ; \frac{T_s}{2} + T_s D < t < T_s \end{cases}$ | $i_{C1}(t) = \begin{cases} -i_{L2} - i_o & ; 0 < t < T_s D - \frac{T_s}{2} \\ -i_o & ; T_s D - \frac{T_s}{2} < t < \frac{T_s}{2} \\ -i_{L2} - i_o & ; \frac{T_s}{2} < t < T_s D \\ i_{L1} - i_{L2} - i_o & ; T_s D < t < T_s \end{cases}$ |
| $i_{C2}(t) = \begin{cases} i_{L2} - i_o & ; 0 < t < T_s D \\ i_{L2} - i_o & ; T_s D < t < \frac{T_s}{2} \\ -i_o & ; \frac{T_s}{2} < t < \frac{T_s}{2} + T_s D \\ i_{L2} - i_o & ; \frac{T_s}{2} + T_s D < t < T_s \end{cases}$          | $i_{C2}(t) = \begin{cases} -i_o & ; 0 < t < T_s D - \frac{T_s}{2} \\ i_{L2} - i_o & ; T_s D - \frac{T_s}{2} < t < \frac{T_s}{2} \\ -i_o & ; \frac{T_s}{2} < t < T_s D \\ -i_o & ; T_s D < t < T_s \end{cases}$                            |

Fuente: Autores, 2020.

Con las expresiones que aportan las tablas 3 y 4 se procede a encontrar explícitamente las expresiones que describen las corrientes en los capacitores. Este procedimiento se desarrolla para ambas regiones de funcionamiento del ciclo útil.

**$D < 50\%$ :** De las tablas 3 y 5, se obtienen las formas de onda de  $i_{C1}(t)$  e  $i_{C2}(t)$ :

$$i_{C1}(t) = \begin{cases} -\frac{V_g D}{R(1-D)^2} & ; 0 < t < T_s D \\ \frac{-V_g D}{L_1(1-D)}t + \frac{V_g(2-D)D}{R(1-D)^4} + \frac{V_g D(1+D)}{2(1-D)L_1 f_s} & ; T_s D < t < \frac{T_s}{2} \\ \frac{-V_g(L_1 + L_2 D)}{L_1 L_2(1-D)}t - \frac{V_g(1-3D+D^2)}{R(1-D)^4} + \frac{V_g(1+D)(L_1 + L_2 D)}{2(1-D)L_1 L_2 f_s} & ; \frac{T_s}{2} < t < \frac{T_s}{2} + T_s D \\ \frac{-V_g D}{L_1(1-D)}t + \frac{V_g(2-D)D}{R(1-D)^4} + \frac{V_g D(1+D)}{2(1-D)L_1 f_s} & ; T_s D < t < T_s \end{cases} \quad (1)$$

$$i_{C2}(t) = \begin{cases} -\frac{V_g D}{L_2(1-D)^2}t + \frac{V_g D}{R(1-D)^3} + \frac{V_g D^2}{2(1-D)^2 L_2 f_s} & ; 0 < t < \frac{T_s}{2} \\ \frac{-V_g}{R(1-D)^2}t & ; \frac{T_s}{2} < t < \frac{T_s}{2} + T_s D \\ \frac{-V_g D}{L_2(1-D)^2}t + \frac{V_g D}{R(1-D)^3} + \frac{V_g D(2+D)}{2(1-D)^2 L_2 f_s} & ; \frac{T_s}{2} + T_s D < t < T_s \end{cases} \quad (2)$$

A partir de las expresiones anteriores se procede a encontrar las expresiones que describen los voltajes en los capacitores.

$$v_{C1}(t) = \begin{cases} -\frac{V_g}{RC_1(1-D)^2}t + K_{C11} & ; 0 < t < T_s D \\ \frac{-V_g D}{2C_1 L_1(1-D)}t^2 + V_g \left( \frac{D(2-D)}{RC_1(1-D)^4} + \frac{D(1+D)}{2C_1 L_1 f_s(1-D)} \right)t - \frac{V_g(L_2 D + L_1)}{2C_1 L_1 L_2(1-D)}t^2 - \frac{V_g}{C_1} \left( \frac{(1-3D+D^2)}{R(1-D)^4} - \frac{(1+D)(L_2 D + L_1)}{2L_1 L_2 f_s(1-D)} \right) & ; T_s D < t < \frac{T_s}{2} \\ \frac{-V_g D}{2C_1 L_1(1-D)}t^2 + \frac{V_g}{C_1} \left( \frac{D(2-D)}{R(1-D)^4} + \frac{D(1+D)}{2L_1 f_s(1-D)} \right)t + I & ; \frac{T_s}{2} < t < \frac{T_s}{2} + T_s D \\ \frac{-V_g D}{2C_1 L_1(1-D)}t^2 + \frac{V_g}{C_1} \left( \frac{D(2-D)}{R(1-D)^4} + \frac{D(1+D)}{2L_1 f_s(1-D)} \right)t + I & ; T_s D < t < T_s \end{cases} \quad (3)$$

$$v_{C2}(t) = \begin{cases} -\frac{V_g D}{2L_2 C_2(1-D)^2}t^2 + \frac{V_g}{C_2} \left( \frac{D}{R(1-D)^3} + \frac{D^2}{2L_2 f_s(1-D)^2} \right)t + K_{C21} & ; 0 < t < \frac{T_s}{2} \\ -\frac{V_g}{RC_2(1-D)^2}t + K_{C22} & ; \frac{T_s}{2} < t < \frac{T_s}{2} + T_s D \\ \frac{-V_g D}{2C_2 L_2(1-D)^2}t^2 + \frac{V_g}{C_2} \left( \frac{D}{R(1-D)^3} + \frac{D(2+D)}{2L_2 f_s(1-D)^2} \right)t + K_{C23} & ; \frac{T_s}{2} + T_s D < t < T_s \end{cases} \quad (4)$$

Finalmente, se obtiene la expresión para el voltaje de salida en el convertidor ( $D < 50\%$ ) considerando que

$$v_o(t) = V_g + \begin{cases} G_1 \left[ \left( \frac{DC_1 - (1-D)C_2}{RDC_2C_1(1-D)} + \frac{D}{2C_2L_2f_s} \right) t - \frac{1}{2L_2C_2} t^2 \right] + K_1 & ; 0 < t < T_s D \\ G_1 \left[ \left( \frac{C_a}{RC_1C_2(1-D)^2} + \frac{L_2C_b + L_1C_1D}{2C_1L_1C_2L_2f_s} \right) t - \frac{(L_1C_1 + L_2C_2(1-D))}{2L_2L_1C_1C_2} t^2 \right] + K_2 & ; T_s D < t < (5) \\ G_1 \left[ \left( \frac{(1-D^2)L_a}{2DL_1L_2C_1f_s} - \frac{(1-3D+D^2)C_2 + (1-D)^2C_1}{RC_1C_2D(1-D)^2} \right) t - \frac{L_a(1-D)}{2DC_1L_1L_2} t^2 \right] + K_3 & ; \frac{T_s}{2} < t < \frac{T_s}{2} + T_s \\ G_1 \left[ \left( \frac{C_a}{RC_1C_2(1-D)^2} + \frac{C_bL_2 + C_1L_1(2+D)}{2C_1L_1C_2L_2f_s} \right) t - \frac{C_2L_2(1-D) + C_1L_1}{2C_1L_1C_2L_2} t^2 \right] + K_4 & ; \frac{T_s}{2} + T_s D < t < \end{cases}$$

$$v_o = v_g + v_{c1} + v_{c2}:$$

, donde  $C_a = C_1(1-D) + C_2(2-D)$ ,  $C_b = C_2(1-D^2)$ ,  $L_a = L_2D + L_1$ ,  $K_1 = K_{C11} + K_{C21}$ ,  $K_2 = K_{C12} + K_{C21}$ ,  $K_3 = K_{C13} + K_{C22}$ ,  $K_4 = K_{C14} + K_{C23}$  y  $G_1 = \frac{V_g D}{(1-D)^2}$ .

Las constantes para las ecuaciones 3 y 4 son encontradas matemáticamente a partir de la solución de los siguientes sistemas lineales de ecuaciones, permitiendo posicionar la componente AC del voltaje de salida sobre su valor promedio que fue previamente determinado del análisis de equilibrio:

$$K_{C1} = \begin{bmatrix} K_{C11} \\ K_{C12} \\ K_{C13} \\ K_{C14} \end{bmatrix} = \frac{v_g T_s}{C_1(1-D)} B_{C1} A_{C1}^{-1} + \frac{v_g D}{(1-D)} \quad (6)$$

, donde

$$A_{C1} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ D & 0.5-D & D & 0.5-D \end{bmatrix}$$

y

$$B_{C1} = \begin{bmatrix} \frac{D^2}{2L_1f_s} + \frac{D}{R(1-D)^3} \\ -\frac{D(1+2D)}{8L_1f_s} + \frac{(1+2D)(L_2D+L_1)}{8L_1L_2f_s} - \frac{(1-D)}{2R(1-D)^3} \\ -\frac{(1+2D)}{8L_2f_s} + \frac{(1-D)(1+2D)}{2R(1-D)^3} \\ -\frac{D(2+3D-12D^2-4D^3)}{24L_1f_s} - \frac{D(L_2D+L_1)(3+6D+2D^2)}{24L_1L_2f_s} + \frac{D(-1+2D-D^2)}{2R(1-D)^3} \end{bmatrix}$$

$$K_{C2} = \begin{bmatrix} K_{C21} \\ K_{C22} \\ K_{C23} \end{bmatrix} = \frac{v_g T_s}{C_2(1-D)^2} B_{C2} A_{C2}^{-1} + \frac{v_g D}{(1-D)^2} \quad (7)$$

, donde

$$A_{C2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0.5 & D & 0.5-D \end{bmatrix}$$

y

$$B_{C2} = \begin{bmatrix} \frac{D(1+D)}{2L_2f_s} + \frac{D}{R(1-D)} \\ -\frac{D(2+D)}{4L_2f_s} + \frac{1}{2R(1-D)} \\ \frac{D(-5+3D+12D^2+2D^3)}{24L_2f_s} + \frac{3D^2}{2R(1-D)} \end{bmatrix}$$

$D > 50\%$ : De las tablas 4 y 5, se obtienen las formas de onda de  $i_{c1}(t)$  e  $i_{c2}(t)$ :

$$i_{c1}(t) = \begin{cases} \frac{-V_g}{L_2(1-D)} t - \frac{V_g}{2L_2f_s} - \frac{V_g(2-D)}{R(1-D)^3} & ; 0 < t < T_s D \\ \frac{-V_g}{L_2(1-D)} t + \frac{V_g(1+D)}{2L_2(1-D)f_s} - \frac{V_g(2-D)}{R(1-D)^3} & ; T_s D < t < \frac{T_s}{2} + T_s D \\ \frac{-V_g(L_2D+L_1)}{L_1L_2(1-D)} t - \frac{V_g(1-3D+D^2)}{R(1-D)^4} + \frac{V_g(1+D)(L_2D+L_1)}{2L_1L_2(1-D)} & ; \frac{T_s}{2} + T_s D < t < \end{cases}$$

A partir de las expresiones encontradas para  $i_{c1}(t)$  e  $i_{c2}(t)$  se procede a encontrar las expresiones que describen la forma de onda de los voltajes en los capacitores.

$$v_{c1}(t) = \begin{cases} \frac{-V_g}{2L_2C_1(1-D)} t^2 - \frac{V_g}{C_1} \left( \frac{1}{2L_2f_s} + \frac{2-D}{R(1-D)^3} \right) t + K_{C11} & ; 0 < t < T_s D \\ \frac{-V_g}{RC_1(1-D)^2} t + K_{C12} & ; T_s D < t < \frac{T_s}{2} + T_s D \\ \frac{-V_g}{2C_1L_2(1-D)} t^2 + \frac{V_g}{C_1} \left( \frac{1+D}{2L_2f_s(1-D)} - \frac{2-D}{R(1-D)^3} \right) t + K_{C13} & ; \frac{T_s}{2} + T_s D < t < \frac{T_s}{2} + T_s D + T_s \\ \frac{-V_g(L_2D+L_1)}{2C_1L_1L_2(1-D)} t^2 - \frac{V_g}{C_1} \left( \frac{1-3D+D^2}{R(1-D)^4} - \frac{(1+D)(L_2D+L_1)}{2L_1L_2f_s(1-D)} \right) t + K_{C14} & ; \frac{T_s}{2} + T_s D + T_s < t < \end{cases}$$

$$v_{c2}(t) = \begin{cases} \frac{-V_g}{RC_2(1-D)^2} t + K_{C21} & ; 0 < t < T_s D \\ \frac{-V_g D}{2C_2L_2(1-D)^2} t^2 + \frac{V_g}{C_2} \left( \frac{D}{R(1-D)^3} + \frac{D^2}{2L_2(1-D)^2} \right) & ; T_s D < t < \frac{T_s}{2} + T_s D \\ \frac{-V_g}{RC_2(1-D)^2} t + K_{C23} & ; \frac{T_s}{2} + T_s D < t < \frac{T_s}{2} + T_s D + T_s \end{cases} \quad (11)$$

Para finalmente obtener la expresión para el voltaje de salida en el convertidor considerando que  $v_o = v_g + v_{c1} + v_{c2}$ :

$$v_o(t) = V_g + \begin{cases} G_1 \left[ \frac{D-1}{2DL_2C_1} t^2 - \left( \frac{(2-D)C_2 + C_1(1-D)}{C_1C_2DR(1-D)} + \frac{D}{2L_2C_2f_s} \right) t \right] + K_1 & ; 0 < t < T_s D \\ G_1 \left[ \left( \frac{C_1D - C_2(1-D)}{(1-D)DC_1C_2R} + \frac{D}{2L_2C_2f_s} \right) t - \frac{D(1-D)}{2L_2L_1C_1C_2} t^2 \right] + K_2 & ; T_s D < t < \frac{T_s}{2} + T_s D \\ G_1 \left[ \left( \frac{1-D^2}{2L_2f_sC_1D} - \frac{C_1(1-D) + (2-D)}{RDC_1C_2(1-D)} \right) t - \frac{(1-D^2)(L_2D+L_1)}{2L_1L_2f_sC_1D} t^2 \right] + K_3 & ; \frac{T_s}{2} + T_s D < t < \frac{T_s}{2} + T_s D + T_s \\ G_1 \left[ \left( \frac{(1-D^2)(L_2D+L_1)}{2L_1L_2f_sC_1D} - \frac{C_2(1-3D+D^2) + C_1(1-D)}{C_1C_2DR(1-D)^2} \right) t - \frac{D(-5+3D+12D^2+2D^3)}{24L_1L_2f_s} t^2 \right] + K_4 & ; \frac{T_s}{2} + T_s D + T_s < t < \frac{T_s}{2} + T_s D + T_s + T_s \end{cases}$$

, donde las constantes para este caso se definen como  $K_1 = K_{C11} + K_{C21}$ ,  $K_2 = K_{C12} + K_{C22}$ ,  $K_3 = K_{C13} + K_{C23}$  y  $K_4 = K_{C14} + K_{C23}$

Las constantes para las ecuaciones 10 y 11 son encontradas matemáticamente a partir de la solución de los siguientes sistemas lineales de ecuaciones:

$$K_{C1} = \begin{bmatrix} K_{C11} \\ K_{C12} \\ K_{C13} \\ K_{C14} \end{bmatrix} = \frac{v_g T_s}{C_1(1-D)} B_{C1} A_{C1}^{-1} + \frac{v_g D}{(1-D)} \quad (13)$$

, donde

$$A_{C1} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ D-0.5 & 1-D & D-0.5 & 1-D \end{bmatrix}$$

$$y \quad B_{C1} = \begin{bmatrix} \frac{2D-1}{2R(1-D)^2} + \frac{2D-1}{8L_2f_s} \\ \frac{1}{1+2D} \\ \frac{2R(1-D)^2}{8L_2f_s} \\ \frac{D}{2L_2f_s} - \frac{D(L_2D+L_1)}{2L_1L_2f_s} - \frac{D}{R(1-D)^3} \\ \frac{1-4D+4D^2-D^3}{2R(1-D)^3} + \frac{2-3D-4D^3}{24L_2f_s} + \frac{(L_2D+L_1)(-1-3D+3D^2+D^3)}{12L_2L_1f_s} \end{bmatrix}$$

$$K_{C2} = \begin{bmatrix} K_{C21} \\ K_{C22} \\ K_{C23} \end{bmatrix} = \frac{v_g T_s}{C_2(1-D)^2} B_{C2} A_{C2}^{-1} + \frac{v_g D}{(1-D)^2} \quad (14)$$

, donde

$$A_{C2} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ D-0.5 & 1-D & 0.5 \end{bmatrix}$$

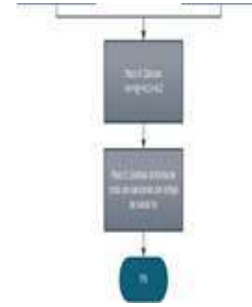
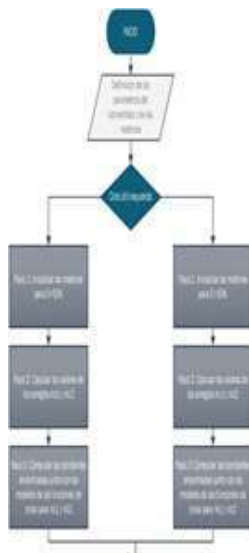
$$y \quad B_{C2} = \begin{bmatrix} \frac{D(1-2D)}{8L_2f_s} - \frac{2D-1}{2R(1-D)} \\ \frac{1}{2R(1-D)} - \frac{8L_2f_s}{24L_2f_s} \\ \frac{1-D}{2R} + \frac{D(1-3D+2D^2)}{24L_2f_s} \end{bmatrix}$$

### 2.3 ANÁLISIS DEL FACTOR DE RIZADO

Un indicador clave que permite analizar cuantitativamente el comportamiento del rizado del convertidor a partir de los modelos obtenidos es el factor de rizado (FR). Este indicador evalúa la relación entre la componente AC que persiste en la señal del voltaje de salida del convertidor y su valor promedio. Considerando que dicho voltaje puede ser definido como  $v_o(t) = V_{dc} + v_{ac}(t)$ , donde  $V_{dc}$  es el valor promedio y  $v_{ac}(t)$  es la componente AC, el factor de rizado puede obtenerse mediante el uso de la expresión (13).

$$FR = \frac{RMS(v_{ac}(t))}{V_{dc}} = \sqrt{\left(\frac{RMS(v_o(t))}{V_{dc}}\right)^2 - 1} \quad (15)$$

**Ilustración 2.** Diagrama de flujo utilizado en la implementación del algoritmo en MATLAB para la obtención de las formas de onda de régimen estacionario del convertidor.



Fuente: Autores, 2020.

### 2.4 INSTRUMENTOS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

Para el desarrollo e implementación de este estudio fue necesario el uso del software MATLAB, en el que se desarrolló un algoritmo para producir las formas de onda de las variables del convertidor a partir de las funciones matemáticas obtenidas del análisis teórico. Como parte de este desarrollo, fue necesaria la solución numérica de los sistemas de ecuaciones (6) y (7) para el caso cuando  $D < 50\%$  y las ecuaciones (13) y (14) para el caso cuando  $D > 50\%$ . Usando la misma herramienta se generaron gráficas de las diferentes formas de onda en diferentes ciclos útiles de operación con el fin de compararlos con resultados obtenidos de la simulación del circuito conmutado simulado en el software PSIM. Estas comparaciones permitieron comprobar la validez del modelo obtenido. El proceso desarrollado por el algoritmo en MATLAB se presenta en la ilustración 2.

De otro lado, también se desarrolló un algoritmo para evaluar sistemáticamente el factor de rizado del convertidor en todo su rango de operación de potencia de salida y voltaje de entrada. Dicho algoritmo determina el ciclo útil requerido para obtener el voltaje de salida deseado a partir del voltaje de entrada evaluado y lo usa para obtener la función que reproduce el voltaje de salida en estado estable para evaluar su factor de rizado para el valor de potencia evaluado. Repitiendo el mismo procedimiento para una malla de coordenadas con 181 saltos en cada variable (32.761 puntos), genera una superficie muy precisa que define el comportamiento del factor de rizado. Para la comparación con mediciones obtenidas de la simulación en PSIM presentada más adelante, se tomaron 23 saltos en ciclo útil y 19 en potencia (437 puntos).

### 3. RESULTADOS

Para las pruebas de validación se va a considerar un convertidor cuadrático de 600 W, para entregar un voltaje de salida de 240V a partir de un arreglo serie de baterías de 12 V. Por lo tanto, dependiendo del estado de carga de las baterías y del número de baterías (Entre 4 y 6), el voltaje de entrada puede variar entre 40V y 84V. El punto de operación nominal del convertidor se define en 60V. Los parámetros de operación y los valores de los diferentes elementos del convertidor seleccionados para el problema se listan en la tabla 6.

**Tabla 6.** Parámetros usados para obtener resultados de simulación

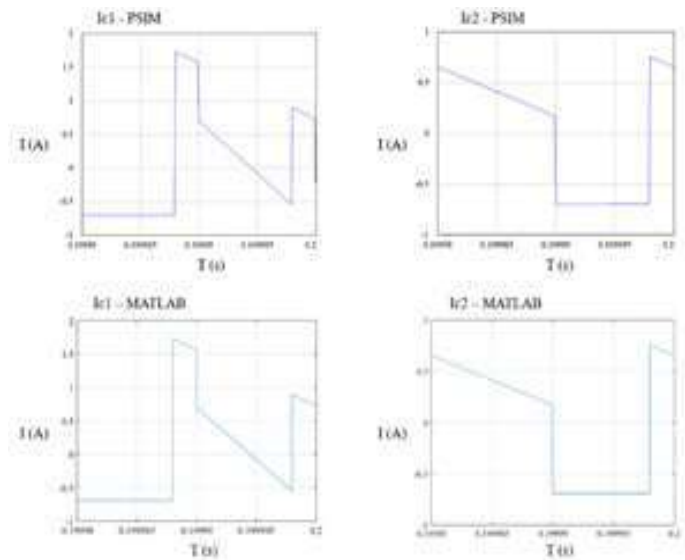
| Parámetro       | Símbolo    | Valor | Unidad |
|-----------------|------------|-------|--------|
| Máxima potencia | $P_{max}$  | 600   | W      |
| Mínima potencia | $P_{min}$  | 60    | W      |
| Máximo voltaje  | $V_{dmax}$ | 84    | V      |
| Voltaje nominal | $V_{dn}$   | 60    | V      |

|                           |            |                     |               |
|---------------------------|------------|---------------------|---------------|
| Mínimo voltaje            | $V_{\min}$ | 40                  | V             |
| Voltaje de salida         | $V_o$      | 240                 | V             |
| Frecuencia de conmutación | $F_s$      | 50                  | kHz           |
| Inductor 1                | $L_1$      | 480.27              | $\mu\text{H}$ |
| Inductor 2                | $L_2$      | 1.37                | mH            |
| Capacitor 1               | $C_1$      | 4                   | $\mu\text{F}$ |
| Capacitor 2               | $C_2$      | 1, 2, 4, 8, 16 y 32 | $\mu\text{F}$ |

Fuente: Autores, 2020.

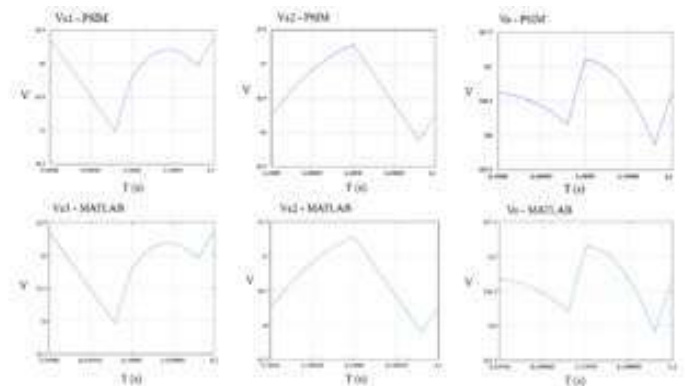
Inicialmente, con el fin de validar los modelos encontrados en la sección anterior se compararon las formas de onda de todas las variables a partir de resultados del modelo teórico implementado en MATLAB y la simulación del circuito conmutado en PSIM. Se utilizan para ello dos valores de ciclo útil (uno en cada región), uno del 40% ( $D=0.4$ ) y uno del 60% ( $D=0.6$ ), usando el voltaje de entrada nominal y una resistencia de carga de  $240\ \Omega$ . Como se puede observar en las ilustraciones 3-6, el modelo obtenido reproduce adecuadamente las formas de onda en los dos casos.

Ilustración 3. Comparación PSIM vs. Modelo (MATLAB) de las formas de onda de corriente en los capacitores para  $D=0.4$ .



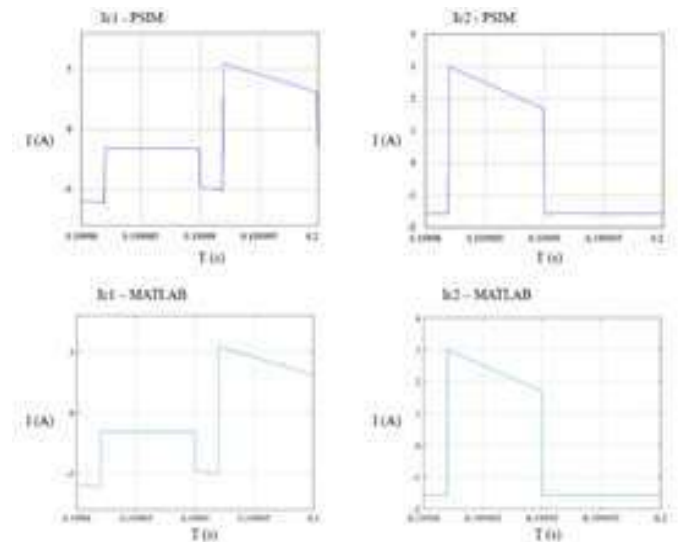
Fuente: Autores, 2020.

Ilustración 4. Comparación PSIM vs. Modelo (MATLAB) de las formas de onda de voltaje en los capacitores y voltaje de salida para  $D=0.4$ .



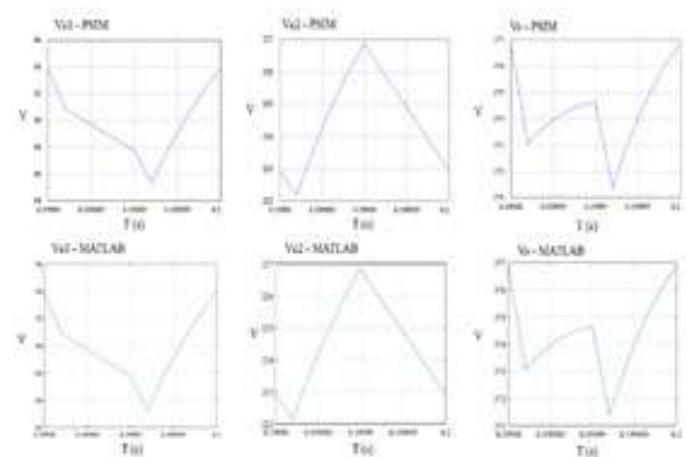
Fuente: Autores, 2020.

Ilustración 5. Comparación PSIM vs. Modelo (MATLAB) de las formas de onda de corriente en los capacitores para  $D=0.6$ .



Fuente: Autores, 2020.

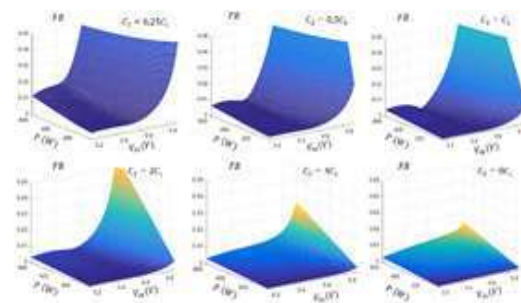
Ilustración 6. Comparación PSIM vs. Modelo (MATLAB) de las formas de onda de voltaje en los capacitores y voltaje de salida para  $D=0.6$ .



Fuente: Autores, 2020.

Mediante la aplicación del método planteado en la sección anterior, el factor de rizado es computado para un conjunto de coordenadas en el rango de operación del convertidor tanto en potencia de salida (60 a 600W) como en voltaje de entrada (40 a 84V). El mismo procedimiento se repitió para seis relaciones entre las capacitancias del convertidor obteniendo los resultados que se muestran en la ilustración 7.

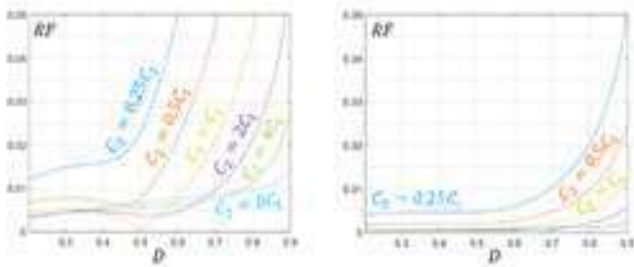
Ilustración 7. Superficies de factor de rizado como función de la potencia de salida y el voltaje de entrada.



Fuente: Autores, 2020.

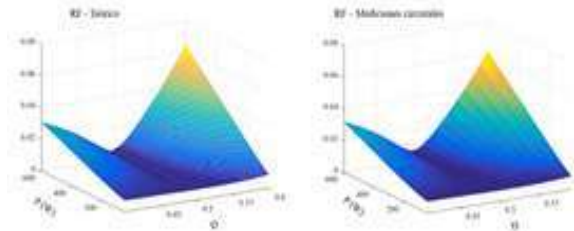
Como se puede observar en las diferentes superficies, el factor de rizado es más alto en potencias altas, presentándose allí una mayor dependencia de la tensión de entrada. También, es posible observar cómo al usar dos condensadores con capacitancias iguales ( $C_2=C_1$ ), el efecto de cancelación de rizado se agudiza para la tensión de entrada nominal mostrando muy bajos valores indistintamente de la potencia de salida. Con esta relación de condensadores, el rizado disminuye de manera importante en comparación con el caso  $C_2=0.5 C_1$  con lo cual, para el ejemplo seleccionado, se podría considerar esta como la mejor relación. Al aumentar el valor de  $C_2$  se observa una considerable disminución en el rizado en términos generales pero se sabe que esto tiene como contraparte un tamaño mayor del convertidor. Para hacer más evidentes las diferencias importantes en el factor de rizado, se obtuvieron dos perfiles que permiten comparar cada una de las simulaciones anteriores en un solo plano: un perfil en la máxima potencia (600W) y otro perfil a mínima potencia (60W) en función del ciclo útil de trabajo del convertidor. Los resultados obtenidos se muestran en la ilustración 8.

Ilustración 8. Comparación de curvas FR



A partir de los perfiles en la ilustración 8 se puede confirmar que el mínimo factor de rizado se logra para la relación  $C_2=C_1$ , específicamente para un ciclo útil del 50%. También se puede observar que para relaciones  $C_2=2C_1$  y  $C_2=4C_1$  se obtienen valores de factor de rizado bajos para un rango mayor en el ciclo útil. También es posible comprobar como para las relaciones  $C_2>4C_1$  no se aprecian mejoras en el factor de rizado, e incluso se encuentran regiones con mayor factor de rizado comparado con otras relaciones. A bajas potencias, el factor de rizado es uniforme y no se evidencia un comportamiento especial relacionado con el ciclo útil. De este análisis, es posible afirmar que la mejor relación de capacitancia estaría dada por  $C_1<C_2<2C_1$ , permitiendo ensanchar la región de mínimo ciclo útil sin incrementar considerablemente el valor de  $C_2$ . Para finalizar el análisis de información se realiza una toma de datos de la PSIM, con el fin de comparar el comportamiento del factor de rizado usando la respuesta teórica obtenida, para lo cual se selecciona el caso donde  $C_1=C_2$ . La ilustración 9 muestra los resultados de esta comparación demostrando la precisión del modelo matemático desarrollado.

Ilustración 9. Comparación entre el factor de rizado teórico encontrado mediante los modelos y el comportamiento del mismo mediante una toma de datos en el simulador PSIM.



Fuente: Autores, 2020.

## 4. CONCLUSIONES

En este artículo se estudió el comportamiento del convertidor elevador cuadrático con bajo almacenamiento de energía, a partir del modelamiento exacto de su estado estable. Como se observó, a diferencia de lo que ocurre en otros convertidores cuadráticos, en este convertidor ambos capacitores tienen influencia en la componente AC voltaje en la salida. También se encontró que existe una relación óptima entre las capacitancias de los condensadores para minimizar el factor de rizado del convertidor en una zona deseada, siendo el ciclo útil del 50% el que puede ser más favorable cuando los condensadores son iguales. También se podría esperar que en futuros estudios se estudie el comportamiento dinámico del convertidor elevador cuadrático con bajo almacenamiento de energía y se realice el estudio detallado incluyendo las resistencias parásitas de sus elementos inductivos, capacitivos y semiconductores. Todos estos avances, permitirán complementar el estudio actual para facilitar el diseño y utilización del convertidor en aplicaciones prácticas.



## REFERENCIAS



- I. Patrao, E. Figueres, F. Gonzáles, G. Garcerá. (2011). “Transformerless topologies for grid-connected Single-phase Photovoltaic Inverters,” *Energy for Sustainable Development*. vol. 16. pp. 3423-3431.
- J. Leyva, M.G. Ortiz, L.H. Díaz, J.A. Morales (2009). “Switching regulator using a quadratic boost converter for wide DC conversion ratios,” *IET Power Electron.*, vol. 2, no. 5, pp. 605-613.
- R.J. Wai, R.Y. Duan, (2005). “High step-up converter with coupled-inductor,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 20, no. 5, pp. 1025-1035.  
R.J. Wai, C.Y. Lin, R.Y. Duan, Y.R. Chang (2007). “High efficiency DC-DC converter with high voltage gain and reduced switch stress,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 54, no. 1, pp. 354-364.
- G.R. Walker, P.C. Sernia. (2004). “Cascaded DC-DC converter connection of connection of photovoltaic modules”. *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 9, no. 4, pp. 1130-1139. R. Kadri, J.P. Gaubert, G. Champenois, M. Mostefai. (2010). “Performance Analysis of Transformerless Single Switch Quadratic Boost Converter for Grid Connected Photovoltaic Systems,” *XIX Intl. Conf. Electrical Machines (ICEM)*. pp. 1-7.
- R.W. Erickson, D. Maksimovic. *Fundamentals of Power Electronics*. Kluwer Academic Publishers, 2000, 2th. Edition. pp. 11-179.  
O. López, L. Martínez, G. García, H. Valderrama, D. O. Mercuri (2012). “Efficiency Analysis of a Sliding-Mode Controlled Quadratic Boost Converter”, *IET Power Electron.*, vol. 6, no. 2, pp. 364-373.
- O. López, L. Martínez, G. García, H. Valderrama, T. Sierra (2013). “Comparison of Quadratic Boost Topologies Operating Under Sliding-mode Control,” *IEEE Brazilian Conference on Power Electronics (COBEP)*, pp. 66-71. O. López, J.C. Mayo, J.C. Rosas, J.E. Valdez, D.A. Zambrano, O.F. Ruiz (2020). “Quadratic boost converter with low-output-voltage ripple,” *IET Power Electron.* vol. 13, no. 8, pp. 1605-1612.



# IMPLEMENTACIÓN DEL MARCO DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA PARA HOME CARE

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/09/2019 ACEPTADO: 15/03/2020 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/07/2020

### IMPLEMENTATION OF THE AUTOMATIC TRANSFER FRAMEWORK FOR HOME CARE

<sup>1</sup> Artur Henrique Silva De Carvalho

<sup>2</sup> Gaspar Eugênio Oliveira Ramos

Como citar este artículo: Silva, A; Oliveira, G, (2020) Implementación del marco de transferencia automática para home care, revista Dynamikos 1 (2). Recuperado de: <https://teinco.edu.co/wp-content/uploads/2021/07/Revista-Dinamicos-No2.pdf>

#### RESUMEN

El caso de estudio sobre la implementación del Cuadro de Transferencia Automática en los hogares que aplican Home Care tiene como objetivo paliar los trastornos provocados por la falta o inestabilidad eléctrica de los pacientes que necesitan tratamiento médico en el domicilio. El sistema permite transferir el generador de gasolina a un sistema de reserva de energía, de modo que la energía se mantenga incluso en ausencia de suministro de energía de la red eléctrica. Así, se desarrolló un ejemplo ficticio utilizando software para ingeniería que representa la implementación del sistema, obteniendo resultados satisfactorios para la aplicación del Marco de Transferencia Automática, mostrando que es posible implementar el sistema en un hogar con Home Care, para solucionar los problemas ocasionados fallas eléctricas.

**PALABRAS CLAVE:** Home Care. Fallos eléctricos. Transferir.

#### ABSTRACT

The case study on the implementation of the Automatic Transfer Framework in homes that apply Home Care aims to alleviate the disorders caused by the lack or electrical instability of patients who need medical treatment at home. The system makes it possible to transfer the gasoline generator to a power reserve system, so that the power is maintained even in the absence of power supply from the electric utility. Thus, a fictitious example was developed using software for engineering representing the implementation of the system, obtaining satisfactory results for the application of the Automatic Transfer Framework, showing that it is possible to implement the system in a home with Home Care, to solve the problems caused electrical failures.

**SUMARIO:** 1. Introducción. 2. Método. 2.1. Estrategias Metodológicas. 2.2 Sistema de energía eléctrica 2.2.1 Generación, Transmisión, Distribución y Venta de Electricidad. 2.3 Grupo Moto Generator. 2.4 Marco de transferencia automática. 2.5 Home Care. 2.6 Dispositivos eléctricos y controles eléctricos. 3 Metodología. 3.1 Diseño eléctrico de la residencia. 3.2 Estado clínico del familiar. 3.3 Sistema interno QTA y generador de gasolina. 4 Resultados y discusión. 5 Consideraciones finales. 6 Referências.

**SUMMARY:** 1. Introduction. 2. Method. 2.1. Methodological strategies. 2.2 Electric power system 2.2.1 Electricity Generation, Transmission, Distribution and Sale. 2.3 Moto Generator Group. 2.4 Automatic transfer framework. 2.5 Home Care. 2.6 Electrical devices and electrical controls. 3 Methodology. 3.1 Electrical design of the residence. 3.2 Clinical status of the family member. 3.3 QTA internal system and gasoline generator. 4 Results and discussion. 5 Final considerations. 6 References.

**KEYWORDS:** Home Care. Electric fallos. Transfer.

Estudiante de Engenharia Elétrica, Centro Universitário de Patos de Minas, UNIPAM, Brasil, [arturhcarvalho@unipam.edu.br](mailto:arturhcarvalho@unipam.edu.br)  
Mestrado em Engenharia Biomédica pela Universidade de Ouro Preto, Brasil, [gasparramos@unipam.edu.br](mailto:gasparramos@unipam.edu.br)

## 1. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica puede considerarse un elemento de suma importancia tanto en términos del desarrollo de la sociedad como en el confort que brinda a los consumidores, permitiendo el crecimiento económico, mejorando la distribución del ingreso, aumentando la productividad y generando nuevos empleos (AMBIENTE; EDUCAÇÃO; CONSUMIDOR, 2005). El consumo de energía puede ser considerado uno de los principales indicadores del desarrollo de la sociedad, presentando parámetros de crecimiento económico y calidad de vida (ANEEL, 2008).

Con el aumento creciente del consumo de electricidad y la disponibilidad para más personas, existe una mayor preocupación por el suministro de electricidad (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2016). Aunque existen preocupaciones con el suministro de electricidad, pueden ocurrir fallas eléctricas en hogares y negocios, causando varias pérdidas a los consumidores (BRASIL, 2014). Algunos lugares, como los hospitales, no toleran la falta de energía eléctrica, porque interrumpe el tratamiento de los pacientes y puede causar daños incommensurables al hospital, ya que es de suma importancia implementar sistemas eléctricos rigurosos para el tratamiento de pacientes, en conjunto con sistemas de reserva de energía. suministro eléctrico que abastecerá un posible corte de energía durante un tiempo determinado, hasta que el sistema principal se estabilice y funcione en perfecto estado (RAMOS, 2009).

En ciertos casos clínicos, los pacientes necesitan recibir tratamientos médicos a lo largo de su vida, como pacientes con problemas respiratorios, pacientes a los que se les diagnostica pérdida de memoria o enfermedades que no se pueden curar. Tras el diagnóstico de una enfermedad que no tiene cura, los pacientes optan por realizar los cuidados y seguimiento médico en sus propios domicilios, denominados Home Care, para que tengan una mejor calidad de vida al obtener cuidados paliativos en la comodidad de su propia residencia (PALIATIVOS, 2012).

Para que los tratamientos médicos y paliativos se realicen en la residencia del paciente, es fundamental la implementación de un sistema eléctrico que mitigue las pérdidas ocasionadas por la falta de suministro eléctrico. Cómo se puede implementar el sistema que ayudará cuando ocurra la falla eléctrica.

El objetivo del trabajo es realizar un estudio de caso en una residencia ficticia que cuenta con Home Care, con la implementación de la Mesa de Transferencia Automática (QTA) en paralelo con el sistema de suministro eléctrico de la residencia, en caso de fallas eléctricas o una inestabilidad eléctrica este identificará el sistema y transferirlo a un sistema de alimentación de reserva, para que no se interrumpa el tratamiento del paciente.

## 2. MÉTODO

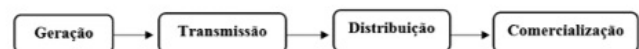
### 2.1 ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

El presente trabajo presenta el método de investigación bibliográfica, porque según Pradanov e Freitas (2013) la investigación bibliográfica se realiza con materiales publicados previamente correlacionados con los temas tratados en el trabajo, junto con un estudio de caso que consiste en un estudio sobre un determinado objeto que permite su comprensión específica. Además de la investigación bibliográfica, este trabajo también se denomina investigación cualitativa, porque como Pradanov e Freitas (2013), la investigación cualitativa realiza el análisis de datos de forma inductiva buscando comprender el estudio de manera completa.

### 2.2 SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para el uso de energía eléctrica en industrias y hogares, es fundamental utilizar un sistema que permita la distribución de energía eléctrica, el sistema eléctrico. La función del sistema eléctrico es distribuir electricidad a consumidores individuales de la mejor manera posible con calidad y confiabilidad. (CENTENARO; CATAPANI, 2017). El mercado brasileño está compuesto por 63 concesionarias, que cumplen el rol de poner a disposición la electricidad para atender a más de 61 millones de unidades de consumo (ANEEL, 2008). La distribución de energía eléctrica se realiza a través de empresas eléctricas, grandes empresas que utilizan instalaciones eléctricas y componentes que actúan sobre la propia supervisión y mantenimiento de la empresa. (ZIMMER; ORTIZ; JUNIOR, 2013). Los concesionarios tienen derechos y obligaciones, entre estas obligaciones se encuentran la calidad del servicio a disposición del consumidor, el precio cobrado por el consumo energético y la creación de programas y proyectos enfocados al consumidor. (ANEEL, 2008).

El sistema eléctrico brasileño se subdivide en cuatro sistemas descritos en la Ilustración 1, a través de estos segmentos la energía eléctrica se pone a disposición de los consumidores finales (LIMA, 2011). Ilustración 1 - Subdivisiones del sistema eléctrico.



Fuente: Elaborado por el autor, 2020.

El perfecto funcionamiento del sistema eléctrico requiere de las cuatro subdivisiones para realizar el trabajo de la manera correcta, que son la generación, transmisión, distribución y comercialización que se ejemplificará posteriormente. Cada subsistema tiene una función, con el objetivo de poner la electricidad a disposición de los consumidores (COSTA, 2014).

### 2.2.1 GENERACIÓN, TRANSMISIÓN, DISTRIBUCIÓN Y VENTA DE ELECTRICIDAD

La generación de energía eléctrica se puede lograr de diferentes maneras, cada método tiene sus ventajas y desventajas, apuntando a los aspectos económicos y ambientales, y puede ser generada por fuentes renovables o no renovables. (AMBIENTE; EDUCAÇÃO; CONSUMIDOR, 2005). Las fuentes de energía renovables son aquellas que utilizan recursos naturales que tienen la capacidad de reestructurarse y por lo tanto pueden ser reutilizados posteriormente, las fuentes no renovables no tienen la capacidad de reestructurarse y no pueden ser reutilizadas (LEITE, 2013).

En la generación de energía a través de fuentes renovables, podemos encontrar algunas opciones, que se pueden implementar de acuerdo a estudios realizados con el objetivo de elegir la mejor fuente de energía renovable, actualmente fuentes de energía renovables como la hidroeléctrica, eólica, solar, geotermia y biomasa (BORDA; GASPAS, 2007). Otras opciones para generar electricidad son la energía nuclear, el gas natural, el petróleo y el carbón, que son fuentes de energía no renovable, como se puede observar en la Ilustración 2 (ENERGÉTICA, 2020a).

Ilustración 2. Fuentes de energía



Fuente: Solution, 2020.

La energía puede provenir de centrales hidroeléctricas, parques eólicos, centrales nucleares que se construyan y desarrollen según cada región y sus beneficios en su aplicación (AMBIENTE; EDUCAÇÃO; CONSUMIDOR, 2005). Con la obtención de energía eléctrica, es necesario que esta energía se conduzca a los sistemas de distribución y las líneas de transmisión, para que a partir de ese momento sea posible iniciar el camino seguido para llegar al consumidor final (MENEZES, 2015).

La red de transmisión tiene el rol de hacer la interconexión entre las áreas de alto consumo y las grandes plantas de generación de energía, la red de transmisión tiene un rol muy importante y eso necesita un cuidado importante, cualquier falla en el funcionamiento de la red puede causar discontinuidad en el suministro eléctrico de varios consumidores. Las redes de transmisión tienen diferentes niveles de tensión para su funcionamiento, el nivel de tensión, pero lo habitual es entre 220 kV y 765 kV, que pueden ser diferentes en cada país. (LEÃO, 2012).

La transmisión de electricidad en Brasil se realiza a través del SIN (Sistema Interconectado Nacional) y a través de los Sistemas Aislados. Brasil tiene una gran línea de distribución de más de 90 mil kilómetros, los cuales son operados por grandes empresas, que han obtenido concesiones para la transmisión de electricidad a través de subastas públicas (ANEEL, 2008).

El sistema interconectado en Brasil permite la interconexión de las regiones Sur, Centro - Oeste, Nordeste, Sudeste y parte del Norte, contando con aproximadamente 900 líneas de transmisión con 89,2 mil kilómetros en 2008, cubriendo así una gran parte del territorio brasileño. La Ilustración 3 representa las líneas de transmisión con diferentes colores amarillo 138 kV, verde 230 kV, azul 345 kV, rosa 440 kV, rojo 500 kV, negro 750 kV, para representar los diferentes niveles de voltaje existente, junto con los complejos representados por letras A-Paraná, B-Paranapanema, C-Grande, D-Paranaíba, E-Paulo Afonso. Los sistemas aislados no permiten la interconexión con el sistema interconectado, debido a las dificultades geográficas en las que se ubica, en la región Norte (ANEEL, 2008).

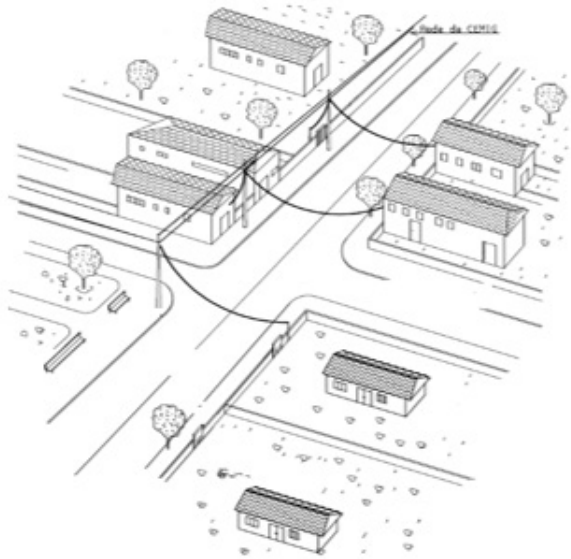
La interconexión del sistema eléctrico nos permite enumerar algunas ventajas de la implementación y uso de este sistema, como una mayor estabilidad y confiabilidad del sistema y una mayor disponibilidad del sistema, teniendo además desventajas como, causar alguna perturbación en el sistema que afectará a la mayoría de los consumidores, y tener una ejecución más compleja (LEÃO, 2012). Con el camino que toma la energía eléctrica a través de la línea de transmisión, es posible iniciar la distribución de energía eléctrica que tiene el objetivo de entregar energía eléctrica al consumidor (ZIMMER; ORTIZ; JUNIOR, 2013).

Ilustración 3. Sistema interconectado brasileño



Fuente: ANEEL, 2008.

Las redes de distribución, como se ve en la Ilustración 4, hacen posible que la energía eléctrica llegue a los consumidores, ya sean consumidores industriales, medianos y residenciales. (CEMIG, 2017a). En el consumo de la unidad de consumo, se puede realizar de dos formas, siendo distribución aérea o subterránea, siendo determinada por los factores determinados por la empresa proveedora de energía eléctrica de cada región, por el costo de implementación y por la demanda que necesita el consumidor. (CEMIG, 2017b).

**Ilustración 4 - Distribución de electricidad.**

Fuente: Adaptado de CEMIG, 2017b.

Con la disponibilidad de energía eléctrica para los consumidores, a través de la distribución por parte del concesionario eléctrico, se vende energía, que es el cobro de la cantidad de electricidad consumida mensualmente por el consumidor, ya sea residencial o industrial. Existe la existencia de clientes cautivos, aquellos clientes que compran electricidad a través de la concesionaria de distribución en su región, y clientes libres, aquellos clientes con una carga superior a 3 MW, que pueden adquirir otros agentes del sector eléctrico ser concesionarios en el área de operación o en otra región (LIMA, 2011).

Las unidades de consumo se clasifican según su necesidad y demanda de consumo energético, junto con la finalidad de uso de la electricidad, de manera que sea posible el cobro de tarifas, clasificándose en unidades: residencial, industrial, comercial, rural, consumo propia y energía, iluminación y servicio público (ANEEL, 2017). Con el suministro de energía eléctrica a los consumidores y el cobro de este servicio, es necesario que el consumidor tenga un buen suministro de energía eléctrica, que el consumidor tenga una garantía de la calidad del servicio prestado (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2016).

Con el desarrollo tecnológico existente y la posibilidad de suministrar energía eléctrica cada vez más accesible a hogares y comercios, se incrementa el número de personas que adquieren equipos para conservación de alimentos, láser, instalaciones domésticas, entre otros fines. Con este incremento en el consumo de energía, concesionarios y consumidores demuestran una mayor preocupación en un factor muy importante, que es la calidad de la electricidad (QEE) puesta a disposición de los consumidores (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2016).

La QEE se puede analizar en cuanto a la calidad y continuidad del suministro de energía eléctrica, observando también aspectos como voltajes balanceados tanto en amplitudes como en frecuencias constantes. Cuando no existe una buena calidad de suministro eléctrico, puede ocasionar varios problemas como acortar la vida útil de los equipos, y en casos extremos puede provocar la quema de equipos (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2016).

Otro análisis sumamente importante es cuando se produce un corte de energía en entornos que no pueden permanecer durante largos períodos sin energía. Con el estudio previo de la carga instalada, es posible implementar sistemas para mitigar la pérdida de potencia, como la implementación de generadores auxiliares, los Grupos de Generadores Moto con grandes aplicaciones en varias áreas, como el área de salud e industrial. (BORIN, 2017).

### 2.3 GRUPO MOTO GENERATOR

En unidades de consumo que requieren una confiabilidad extremadamente alta del suministro de energía, como hospitales e industrias, los sistemas eléctricos se implementan para que sea posible la energía continua, o que el suministro de energía a la unidad de consumo tenga un impacto mínimo en caso de un corte de energía. , para la reducción de impactos, se implementa el Grupo Generador de Motores (GMG) demostrado en Ilustración 5, el cual consiste en un equipo compuesto por un motor de combustión que proporciona la energía mecánica para que posteriormente esa energía sea convertida por el generador eléctrico, para el suministro de la unidad de consumo (SILVA, 2017).

El GMG se puede subdividir en dos partes principales, el motor de combustión eléctrico y el generador de energía eléctrica. El motor de combustión interna se denomina máquina que permite quemar un combustible en su interior, y mediante esta combustión y el trabajo del motor interno del motor es posible realizar la conversión de energía térmica en energía mecánica (SENRA; LIMA; ABREU, 2014). La aplicación de los motores de combustión es bastante amplia, una aplicación sumamente relevante es el uso de motores de combustión estacionarios, donde la energía del generador proviene de un combustible, se transforma en energía mecánica y se transfiere a un generador eléctrico para su uso de esta energía más tarde, siendo transferida por medio de acoplamientos u otras formas como por correas (VALENTE, 2007).

**Ilustración 5 - Grupo moto generator**

Fuente: ANNEL, 2008.

Segundo Chapman (2013), Las máquinas eléctricas tienen dos clases comúnmente conocidas e implementadas, que son máquinas de inducción y máquinas síncronas. Las máquinas síncronas tienen una velocidad en régimen permanente proporcional a la frecuencia de la corriente en el inducido, mientras que las máquinas de inducción no tienen una velocidad proporcional. Las máquinas eléctricas de CA pueden desempeñar el papel de generadores y motores, generadores al convertir energía mecánica en energía eléctrica de CA y motores al convertir energía eléctrica de CA en energía mecánica.

La función principal del generador de energía eléctrica es transformar la energía mecánica en energía eléctrica (ENERGÉTICA, 2020 b). En el ámbito de la generación de energía eléctrica, los generadores síncronos se utilizan comúnmente por su función en la sincronización de la generación de electricidad, así como los generadores asíncronos que se utilizan en otras ocasiones (PERES, 2013).

## 2.4 MARCO DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA

Para posibilitar la aplicación del Grupo Moto Generador a la red eléctrica, es necesario implementar equipos que puedan analizar de manera sistemática y precisa la red de suministro eléctrico, y en caso de anomalía en la red, GMG realizará la potencia de la unidad de consumo. GMG también se puede implementar en otras ocasiones no solo en fallas eléctricas, se puede implementar para reducir costos de electricidad (SILVA, 2017).

Para realizar estas maniobras eléctricas entre la red de alimentación y el GMG, se utiliza la Marco de Transferencia Automática (QTA) demostrado en Ilustración 6. El propósito del QTA es recopilar y analizar los parámetros de la red, como la falta de energía, un pico de alto voltaje y la corriente demandada para la residencia. A partir de la inspección de estos parámetros, si es necesario, se desactivará el suministro de red para que se energice el suministro de respaldo, hasta que el suministro de red vuelva a la normalidad (ASSIS, 2014).

Ilustración 6 - Marco de transferencia automática



Fuente: GN AUTOMAÇÃO, 2017.

Para que todo el sistema funcione a la perfección, y no se produzcan fallos perjudiciales para el sistema eléctrico, el QTA debe estar compuesto por un sistema que incluya sensores y un sistema de control para que los sensores puedan obtener datos y el sistema de control gestione ellos. La elección de los componentes internos y externos del QTA es extremadamente importante. (ASSIS, 2014).

En entornos hospitalarios, el GMG junto con el QTA se aplican ampliamente porque varios tratamientos médicos y cirugías requieren dispositivos que tengan electricidad como fuente de energía. Pero en algunos casos los tratamientos médicos pueden extenderse a lo largo de toda la vida del paciente, cuando al paciente se le diagnostica una complicación médica que no tiene cura, algunos pacientes optan por realizar el tratamiento clínico en su propia casa, llamado Home Care (HC) (PALIATIVOS, 2012).

## 2.5 HOME CARE

El tratamiento médico domiciliario y el seguimiento se pueden denominar como Home Care (HC) que brinda atención específica a personas que padecen enfermedades crónicas, o tratamientos que deban realizarse a lo largo de la vida. El HC tiene la intención de brindar a los pacientes que no tienen condiciones para desplazarse a un hospital para realizar su tratamiento en el hogar, posibilitando así costos y brindando calidad de vida y comodidad al paciente (MOLARI, 2007).

A partir de la implementación de la HC, el paciente puede realizar el tratamiento necesario para que tenga una mejor calidad de vida y posibilita, junto con el tratamiento, la asistencia familiar y los cuidados paliativos. Los cuidados paliativos ayudan enormemente en el tratamiento del paciente, promoviendo así la calidad de vida de los pacientes y familiares, brindando atención individualizada al paciente buscando el control de la enfermedad y la reducción del sufrimiento (CRESMESP, 2008).

Para que sea posible implementar la HC junto con los cuidados paliativos, es necesario realizar algunas prácticas esenciales como la higiene del medio, el control de la medicación, la comodidad del paciente, el análisis físico, psicológico y social. Con la aplicación de las prácticas necesarias es posible implementar HC y aplicar cuidados paliativos que son ambos de gran importancia para el tratamiento de enfermedades (CRESMESP, 2008).

La aplicación de HC aporta grandes beneficios, teniendo además grandes responsabilidades en cuanto a la estructura en la que se desarrollará y acogiendo al paciente que realizará su tratamiento, una gran preocupación en la realización e implementación de HC está relacionada con el suministro eléctrico del entorno, ya que una gran cantidad de equipos que ayudan en el tratamiento de diversas enfermedades tienen la electricidad como fuente de alimentación. Como se mencionó anteriormente, los sistemas de suministro de energía auxiliar GMG se implementan en ambientes hospitalarios para el suministro de energía eléctrica en caso de avería o falla eléctrica, con el desarrollo de este trabajo se realizará el estudio para que estos sistemas más pequeños se apliquen en Home Care, con el objetivo de incrementar la seguridad en el proceso de tratamiento del paciente.

## 2.6 DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS Y CONTROLES ELÉCTRICOS

Para el desarrollo de sistemas o proyectos eléctricos es necesario tener un conocimiento básico de los dispositivos eléctricos y controles eléctricos, que permiten la interpretación y el desarrollo de proyectos eléctricos. Un dispositivo de extrema importancia y ampliamente utilizado es el interruptor automático termomagnético, cuya finalidad es proteger las instalaciones eléctricas contra sobrecargas y cortocircuitos, como se muestra en la Ilustración 7, junto con su simbología para su representación en el diagrama unifilar. (FOX LUX, 2020).

**Ilustración 7 – Disyuntor termomagnético y simbología técnica**

Fuente: Adaptado WEG, 2020.

El interruptor diferencial residual (IDR), también conocido como DR, brinda seguridad a una persona en una residencia, evitando que una persona reciba accidentalmente una descarga eléctrica, el dispositivo y el símbolo que se muestran en la Ilustración 8. El IDR apaga automáticamente el circuito si se produce una fuga de corriente superior a 30 mA, protegiendo así a los seres humanos de sufrir descargas eléctricas que pueden causar problemas de salud o incluso la muerte (ABRACOPEL, 2020). Para el desarrollo de proyectos

**Ilustración 8 – IDR y simbología técnica**

Fuente: Adaptado WEG, 2020a.

como QTA, es necesario comprender los controles eléctricos, que tienen una gran cantidad de componentes y símbolos técnicos, los cuales se implementan en los proyectos para que el circuito se entienda fácilmente. El interruptor automático de motor es un componente que aporta varias ventajas en su uso, siendo así implementado en varios proyectos de controles eléctricos principalmente en accionamientos de motor. (ELÉTRICA,2020a).

El interruptor automático del motor y su simbología técnica representada en la Ilustración 9, tiene un disparo magnético obteniendo así protección contra cortocircuito, disparo térmico protegiendo contra sobrecargas, además permite el seccionamiento de cargas y la conmutación del equipo en el propio interruptor, reemplazando así una llave de conexión, además de estas protecciones el interruptor automático proporciona protección térmica, protegiendo el circuito contra el sobrecalentamiento. Además de estas características que proporciona el interruptor automático del motor, permite el acoplamiento de contactos auxiliares con fines de señalización. (ELÉTRICA, 2020a).

**Ilustración 9 – Interruptor automático del motor y simbología técnica**

Fuente: Adaptado ATHOSELECTRONICS, 2020a.

Para las maniobras del circuito de potencia se utilizan contactores de potencia, que permiten la activación de cargas a partir de la polarización de la bobina interna que posee el contactor. Algunos contactores de potencia tienen un contacto auxiliar para que pueda realizar alguna señalización de que el circuito se ha activado, el contactor de potencia se muestra en la Ilustración 10 (ATHOSELECTRONICS,2020b).

**Ilustración 10 – Contactor de potencia y simbología**

Fuente: Adaptado METALTEX, 2020a.

Los contactores auxiliares se utilizan para ayudar en el control de comandos eléctricos, que tienen el mismo funcionamiento que los contactores de potencia. Los contactores auxiliares no pueden realizar la maniobra de circuitos con alta potencia, solo realizan la maniobra de los circuitos de control, teniendo solo los contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados que se muestran en la Ilustración 11 (MINULIGHT, 2020).

**Ilustración 11 – Contactor auxiliar**

Fuente: Adaptado METALTEX, 2020b.

Para el análisis de la alimentación del sistema y posibles fallas en la fase o neutro del sistema se utiliza el relé faltante de fase, cuando el relé observa algún corte de energía conmuta sus contactos, por lo que con esta conmutación el sistema de control tomará acción cómo quitar la energía del sistema a través del contactor o señalar la falla del sistema. El relé faltante de fase representado en la Ilustración 12, tiene gran importancia porque algunos sistemas cuando falta una fase aún continúa funcionando, esto puede ocasionar grandes pérdidas (ELÉTRICA, 2020b).

Ilustración 12 – Relevo falta de fase y simbología



Fuente: Adaptado ELÉTRICA, 2020b.

Ampliamente utilizado en controles eléctricos como una forma de automatizar y controlar mejor los circuitos y procesos, el relé temporizador tiene la capacidad de activar contactos normalmente cerrados y normalmente abiertos según un tiempo predeterminado por el programador. Al cambiar los relés del temporizador se puede utilizar en varias ocasiones en la industria y los procesos de automatización, el relé del temporizador se representa en la Ilustración 13 (WEG,2020).

Ilustración 13 – Relé de temporización y simbología



Fuente: Adaptado WEG, 2020b.

Para encender y apagar los circuitos de control de los paneles, los botones pulsadores se utilizan para facilitar este proceso de encendido y apagado rápido del panel y para el control de función o advertencia, las lámparas de señal en los paneles se utilizan para indicar si el sistema está energizado o desenergizado. Existen varios tipos y modelos de lámparas y ojales, en la Ilustración 14 hay un ejemplo de ojal y un ejemplo de lámpara de señalización (ELÉTRICA, 2020c).

Ilustración 14 – Ojales y lámparas de señalización



Fuente: Adaptado ELÉTRICA, 2020c.

Con los conocimientos adquiridos para realizar el estudio de la implantación del QTA en residencias con HC, es posible realizar todos los proyectos necesarios para que, a partir de esta creación, se puedan obtener datos. El siguiente tema describirá la metodología y las etapas de desarrollo del proyecto.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 DISEÑO ELÉCTRICO DE LA RESIDENCIA

Para llevar a cabo el estudio de caso, de manera que se pudo analizar la implementación de un QTA, en una residencia que tiene un familiar que necesita tratamiento médico por alguna enfermedad causada por una enfermedad que no tiene cura, por lo que requiere atención cuidados paliativos y apoyo familiar, es decir, la aplicación de Home Care, se desarrolló un proyecto residencial ficticio. Con la finalidad de obtener información y cómo sería la implementación del QTA en un domicilio, con el objetivo principal de incrementar la seguridad y que no se produzcan interrupciones en el tratamiento del paciente en su domicilio por una eventual avería o inestabilidad eléctrica.

El proyecto residencial desarrollado en el software de desarrollo de proyectos AutoCad, cuenta con 117 m<sup>2</sup> distribuidos en 2 baños, 2 recámaras, cocina, sala, sala de TV, lavandería, pasillo, garaje y suministro de energía auxiliar, los cuales se pueden apreciar en la figura 15. La habitación 2 fue pensada como ambiente de tratamiento para el paciente de la residencia, el baño 2 junto con el pasillo se diseñó para que el paciente pudiera moverse en buenas condiciones si necesita moverse en silla de ruedas, teniendo la distancia necesaria para su manipulación de la silla de ruedas.

Con la determinación de los ambientes de la residencia y distribución de las habitaciones, se realizó el relevamiento de cargas y circuitos necesarios para el suministro eléctrico de la residencia. Con base en la encuesta de carga de la residencia, se pudo clasificar la residencia ficticia, según el proveedor de energía CEMIG, que suministra electricidad en la región de Patos de Minas, Minas Gerais, donde estaría ubicada en el suministro tipo C banda C4, donde tiene una demanda de 27,1 a 38,0 kVA.

Ilustración 15 – Plan de residencia



Fuente: Elaborado pelo autor, 2020.

En el suministro que se instaló la vivienda, la alimentación es proporcionada por 4 conductores, divididos en 3 fases y un conductor neutro, ambos conductores de cobre con una sección nominal de 35 mm<sup>2</sup> con disyuntor termomagnético para protección de 100 A, modelo IEC. Con el análisis del suministro en el que encaja la vivienda, se dividieron y distribuyeron todos los circuitos de suministro eléctrico de la vivienda en la mejor disposición dentro de la vivienda, lo que se puede analizar en las Ilustración 16-a y 16-b, todos ellos calculados según norma técnica ABNT NBR 5410, instalaciones eléctricas de baja tensión.

Ilustración 16 – Circuitos eléctricos de la casa  
Ilustración 16-a – Circuitos eléctricos

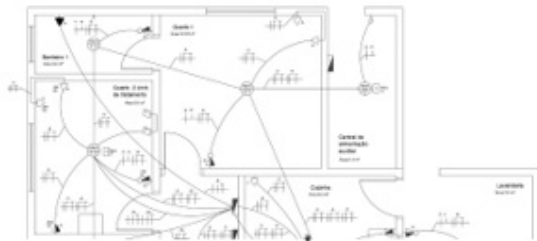
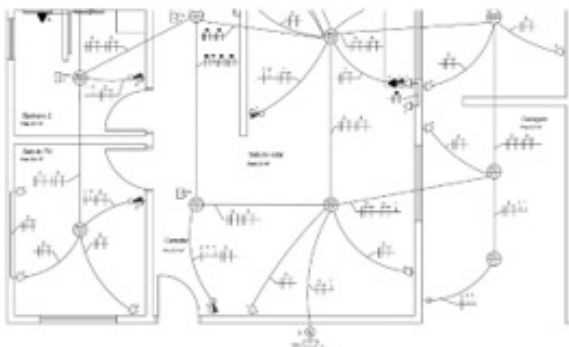


Ilustración 16-b - Circuitos eléctricos b



Fuente: Elaborado pelo autor, 2020.

Para la conexión de los circuitos internos de la residencia es necesario interconectar el ramal de entrada, que es el conjunto de conductores y accesorios instalados por los consumidores, con el cuadro de distribución general o (QDG), se muestra este suministro entre los dos puntos, en la Ilustración 17. Con la creación del QDG es posible disponer y equilibrar las fases correctamente para que todos los circuitos reciban energía de forma eficiente y que no haya fallos eléctricos.

Ilustración 17 – Alimentación QDG y QTA



Fuente: Elaborado pelo autor, 2020.

El QDG se dividió en 12 circuitos, y el disyuntor general de 100 A, todos los cuales se determinaron de acuerdo a las necesidades de cada habitación de la casa, cuatro circuitos fueron para iluminación junto con otros cuatro circuitos de enchufe de propósito general (TUG) y más cuatro circuitos de salida de uso específico (TUE). La Tabla 1 enumera los circuitos y ubicaciones para los que están destinados.

Tabla 1 – Lista de circuitos

| CIRCUITO | DESTINO     | AMBIENTE                                                          | VOLTAJE (V) | POTENCIA (VA) |
|----------|-------------|-------------------------------------------------------------------|-------------|---------------|
| 1        | Iluminación | Dormitorio 2, Baño 1 y 2, Sala de TV                              | 127         | 580           |
| 2        | Iluminación | Dormitorio 1, o pasillo, sala de estar, cocina, central auxiliar. | 127         | 780           |
| 3        | Iluminación | Lavandería, Garaje, iluminación exterior.                         | 127         | 360           |
| 4        | Iluminación | Iluminación auxiliar.                                             | 127         | 300           |

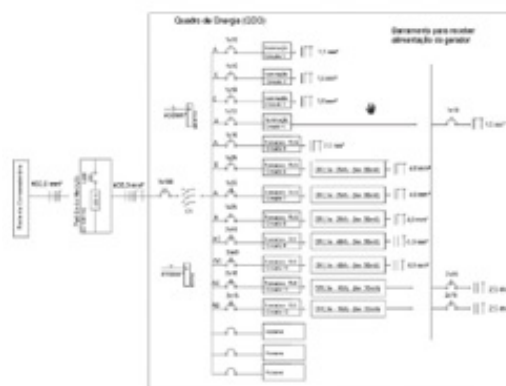
|    |     |                                               |     |      |
|----|-----|-----------------------------------------------|-----|------|
| 5  | TUG | Dormitorio o 1, Baño 1, Pasillo, Sala de TV   | 127 | 1400 |
| 6  | TUG | Dormitorio o 2, Baño 2                        | 127 | 2500 |
| 7  | TUG | Cocina                                        | 127 | 2200 |
| 8  | TUG | Lavandería, Garaje, Sala de estar             | 127 | 2600 |
| 9  | TUE | Baño 1 (Ducha)                                | 220 | 8000 |
| 10 | TUE | Baño 2 (Ducha)                                | 220 | 8000 |
| 11 | TUE | Toma del concentrador de oxígeno (respirador) | 220 | 600  |
| 12 | TUE | Ventilador pulmonar avanzado                  | 220 | 600  |

Fuente: Elaborado pelo autor, 2020.

Los cálculos de los interruptores magnetotérmicos para protección de la vivienda se realizaron todos según la norma técnica que determina NBR 5410, y se puede observar en el diagrama unifilar de la Ilustración 18. En los circuitos que están destinados a ambientes húmedos se utilizó el dispositivo diferencial-residual (DR) de alta sensibilidad, que tiene la interrupción eléctrica del circuito ante una fuga de corriente, evitando así descargas eléctricas en las personas.

En los circuitos 4, 11 y 12 se demuestra el uso de un disyuntor termomagnético más tarde que el circuito normal, este disyuntor tiene el propósito de recibir energía del QTA cuando hay un corte de energía. Después del disyuntor general del QDG, se representa un contactor, el cual necesita obligatoriamente una corriente de trabajo igual a 100 A, cuya función es desenergizar el suministro principal de la red pública, los circuitos y el contactor se detallarán mejor después de la metodología.

Ilustración 18 – Diagrama eléctrico QDG



Fuente: Elaborado pelo autor, 2020.

Como se indicó anteriormente, la sala 2 se utilizará para los tratamientos y seguimientos médicos que necesitará el paciente, considerando que fue diseñada solo para instalar componentes eléctricos esenciales para el tratamiento. Los circuitos TUG fueron clasificados como zona húmeda que, según norma técnica, los primeros tres puntos de salida a cada 3,5 m de perímetro deben tener una potencia de 600 VA y el sobrante 100VA.

El ambiente de tratamiento ubicado en la sala 2 también cuenta con un circuito de iluminación auxiliar, circuito 4 y otros dos circuitos TUE, circuitos 11 y 12, los cuales serán destinados a equipos que son indispensables para fallas eléctricas por un largo período, pues en caso de fallas el QTA funcionará. su comida. Las cargas de los circuitos TUE se determinarán en función del estado clínico en el que se encuentre el paciente, que a partir de entonces influirá directamente en la potencia nominal del generador que suministrará la potencia en caso de fallo eléctrico.

### 3.2 ESTADO CLÍNICO DEL FAMILIAR

Para el análisis de carga y dimensionamiento del generador y los componentes internos del QTA, los cuales deben diseñarse de acuerdo a la carga que suministrarán en caso de fallas eléctricas, se dio como ejemplo ficticio que la casa tiene un paciente con una determinada condición clínica, para que sea posible los cálculos necesarios para las cargas eléctricas y el generador específico. El paciente ficticio tiene 72 años, por lo que es un paciente anciano, que presenta enfermedades crónicas como la enfermedad de Alzheimer y problemas cardiorrespiratorios.

La enfermedad de Alzheimer afecta a los pacientes con problemas de función mental de suma importancia, que empeoran gradualmente con el tiempo, la enfermedad de Alzheimer requiere que el paciente desde el diagnóstico necesite atención médica y seguimiento durante toda la vida porque es una enfermedad que no tiene cura. Los problemas respiratorios provocan inmensos trastornos a las personas, y en una crisis respiratoria pueden llegar a provocar la muerte de la persona, requiriendo la presencia de dispositivos que utilicen el suministro de energía a la energía eléctrica y que permanezcan conectados a la red eléctrica en caso de que necesite utilizarla en un repentino.

Con los problemas cardiorrespiratorios que tiene el paciente ficticio, es fundamental el uso de equipos que suplirán la falta de aire en caso de una crisis respiratoria, como el concentrador de oxígeno que se muestra en la Ilustración 19. El concentrador de oxígeno tiene la función de suministrar oxígeno al paciente, mantener una oxigenación adecuada y aumentar la facilidad para respirar del paciente.

El concentrador de oxígeno, al ser un equipo imprescindible para el tratamiento de problemas cardiorrespiratorios, es de suma importancia que no pierda inestabilidad eléctrica, si el paciente tiene una crisis respiratoria y al utilizarlo, es importante que esta operación no llegue a interrumpirse. un largo período de tiempo que causa daños graves al paciente. El concentrador de oxígeno dispone de un circuito específico en el proyecto eléctrico con una potencia destinada al mismo de 600VA circuito 11, calculada con seguridad y la información técnica del equipo establece un consumo de 290 W o 447 VA aproximadamente.

**Ilustración 19 - Concentrador de oxígeno**



Fonte: VITALGAS, 2020.

El segundo equipo imprescindible para el tratamiento de pacientes con problemas respiratorios se utiliza cuando el paciente se encuentra en una etapa más avanzada de la enfermedad, cuando se requiere una intubación casi constante del paciente, el ventilador pulmonar avanzado, que también cuenta con un circuito específico en el diseño eléctrico, circuito 12. El ventilador pulmonar avanzado se muestra en la Ilustración 20, el cual consume 275 W o aproximadamente 423 VA, el circuito 12 tiene una potencia destinada a él de 600 VA, proporcionando así la energía eléctrica necesaria para el equipo.

**Ilustración 20 - Ventilador pulmonar avanzado**



Fonte: Ruah, 2020.

El ventilador pulmonar avanzado permite intubar a los pacientes para proporcionar una respiración continua al paciente y permite una serie de alarmas si el paciente presenta alguna complicación del tratamiento. Con la determinación del equipo necesario para que el paciente realice el tratamiento cardiorrespiratorio, es posible analizar la carga consumida por el equipo que no puede detener la operación, posibilitando así elegir el sistema interno del QTA y el mejor generador que suministre el suministro eléctrico del sistema.

### 3.3 Sistema interno QTA y generador de gasolina

Para la implementación del generador en la residencia de modo que venga a actuar ante alguna falla o inestabilidad eléctrica, es necesario implementar el QTA. Para el perfecto funcionamiento del QTA es de suma importancia elegir algunos parámetros necesarios como:

- La elección del mejor lugar de la residencia para instalar el panel de control QTA;
- Tener un ambiente adecuado para mantener el generador libre de efectos climáticos para que tenga una vida más duradera;
- Realizar el cálculo de la carga en la que se alimentará el generador, para que el generador no falle ni soporte la carga demandada;
- Y montar un circuito que funcionará perfectamente con la red eléctrica, evitando así errores en el intercambio de energía.

Para el desarrollo del circuito interno del QTA, se realizó un proyecto que representa el diagrama de los controles eléctricos dentro del QTA, mostrado en la Ilustración 21-a con la parte de potencia del circuito y en la Ilustración 21-b, con la parte de control del circuito. El proyecto se realizó en el software CADE SIMU para representaciones de diagramas de comandos eléctricos, lo que permite la simulación del sistema, para analizar si el diagrama se desarrolló de forma correcta y tiene un perfecto funcionamiento.

En la representación de potencia se puede observar el circuito de la concesionaria que es el suministro principal de la vivienda, y el circuito del generador que representa la carga auxiliar de la vivienda, que entra en funcionamiento cuando hay un corte eléctrico. La parte de control se subdividió en 3 partes, la parte 1 presenta la parte lógica del suministro eléctrico de la residencia, cuando el suministro eléctrico está en perfecto estado de funcionamiento, la parte 2 se encarga del acoplamiento del generador con los circuitos que el generador alimentará y la parte 3 es el control del arranque del generador de gasolina, que implementará la residencia.

**Ilustración 21 – Diagrama de controles eléctricos QTA**

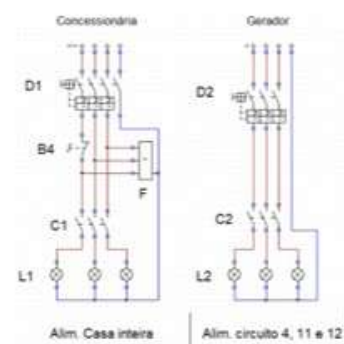
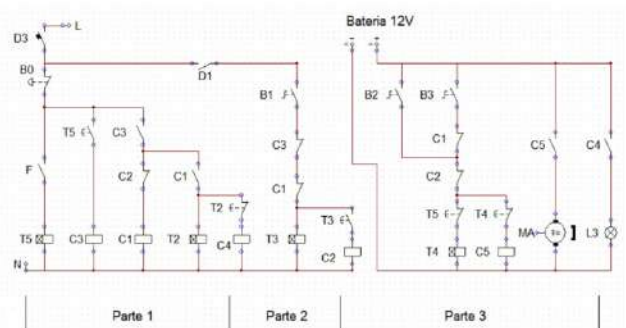


**Ilustración 21- b - Diagrama de comandos QTA**

Ilustración 21- b - Diagrama de comandos QTA



Fuente: Elaborado pelo autor, 2020.

Para el funcionamiento del QTA fue necesario utilizar los siguientes componentes: 2 disyuntores de motor (D1 y D2), 1 disyuntor termomagnético (D3), 1 batería de 12 V, 2 contactores de potencia (C1 y C2), relé de fallo monofásico (F), 4 relés temporizadores (T2, T3, T4 y T5), 3 contactores auxiliares (C3, C4 y C5), 1 pulsador de emergencia (B0) y 3 pulsadores de activación (B1, B2 y B3). En el circuito es posible observar un componente denominado MA que es como una representación del motor de arranque del generador, L1 que representa la carga doméstica, L2 simboliza el suministro de los circuitos 4, 11 y 12, L3 representa el estrangulador del generador de gasolina y el ojal B4 es para fines de simulación, para simular la falta de una fase del suministro de la red.

El disyuntor del motor denominado D1 es el disyuntor general del QDG de la vivienda, desde el momento en que se activa este disyuntor, el relé de pérdida de fase realiza el análisis de las tres fases de alimentación del sistema junto con el neutro, si no hay irregularidad o falla, el contactor de potencia 1 denominado C1, se activa mediante el relé temporizador T5, liberando así el suministro eléctrico a la vivienda. Junto con la activación de la alimentación domiciliar, el estrangulador del generador se desactiva activando el relé temporizador T2 y el contactor auxiliar C4, este paso de activación se puede ver en la Ilustración 22 – a y 22 - b.

Si ocurre alguna falla o inestabilidad eléctrica, la falta de relé de fase denominado F identificará esta irregularidad y desactivará el contactor C1, quitando la fuente de alimentación del sistema, inmediatamente después de remover el contactor C1, comienza el conteo de los relés temporizadores. T3, T4, T5. El relé T5 es responsable del tiempo requerido para arrancar el motor de arranque activando el contactor auxiliar C5, el relé temporizador T4 después del conteo desactivará el motor de arranque, quitando la alimentación del contactor C5, ya que el generador ya ha arrancado, con un tiempo de espera mayor, el relé temporizador T3 se encarga de activar el contactor de potencia C2, liberando la carga del generador para los circuitos 4, 11 y 12, el tiempo de conteo T3 es mayor para que el generador arranque.

Ilustración 22 - Operación de suministro de energía concesionario: Figura 22 -a - Operación de la red de suministro de energía

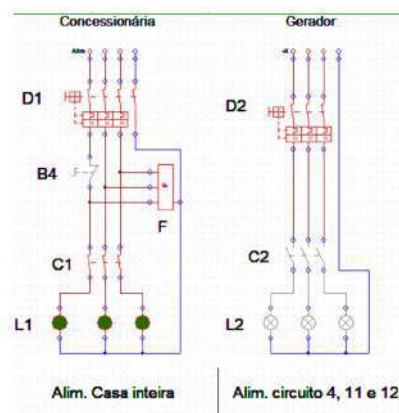
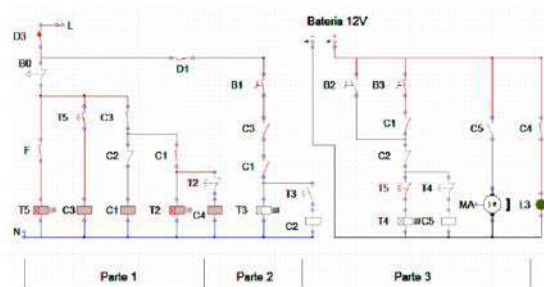


Figura 22 -b - Operación de suministro de energía concesionario



Fuente: Elaborado pelo autor, 2020.

Para arrancar el motor de arranque, es de suma importancia que la fuente de alimentación para la parte 3 del circuito de control sea alimentada por una batería de 12 V, ya que la residencia ya no tendrá la fuente de alimentación de la red pública, lo que requerirá una fuente de alimentación para impulsar el motor de arranque puesta en marcha. Luego de la activación de C2, el suministro del generador mantendrá los circuitos esenciales para el tratamiento del paciente, la activación del generador se ve en la Ilustración 23 – a y 23-b.

Ilustración 23 - Operación de suministro de generador: Ilustración 23 -a - Funcionamiento de la fuente de alimentación del generador

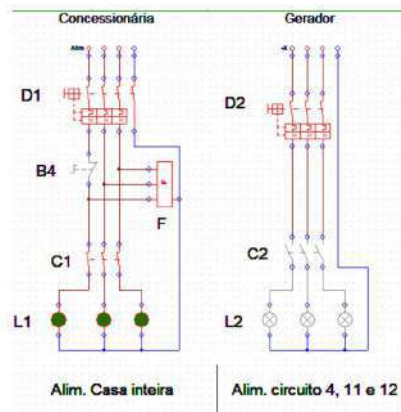
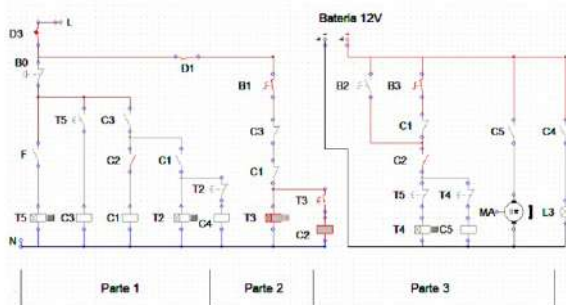


Figura 23 -b – Operación de suministro de generador



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Tan pronto como el sistema se estabiliza, el relé de eliminación gradual realiza el análisis para que el sistema devuelva su alimentación principal, como se ve en la Ilustración 22. Con el desarrollo del proyecto ficticio de la residencia, el levantamiento de cargas importantes a mantener ante fallas eléctricas, y el circuito interno del QTA el siguiente paso es la elección del generador para suplir la demanda de carga requerida.

Los circuitos a alimentar por el generador son los circuitos 4, 11 y 12, los cuales tienen una demanda total de 1500 VA, a partir de esta demanda es posible elegir el generador que pueda manejar esta demanda durante un tiempo determinado. El generador elegido para ser implementado es el BT4-3500, de la marca Branco que se muestra en la Ilustración 24.

Ilustración 24 - Generador B4T-3500



Fuente: BRANCO, 2020.

Se eligió el generador porque tiene la capacidad para abastecer la carga demandada teniendo la potencia de 3.4 KVA, para tener un buen desempeño y autonomía por tanque de combustible, las especificaciones del generador están en la Ilustración 25. En el proyecto eléctrico se desarrolló un ambiente para albergar el generador y la planta de energía.

Ilustración 25- Especificaciones del generador

| Tipo de motor                               | Horizontal monocilíndrico, 4 tiempos, refrigerado a ar |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Modelo motor                                | B4T 7.0                                                |
| Cilindrada (cc)                             | 208                                                    |
| Capacidade óleo (ml)                        | 600                                                    |
| Pótenca aparente máxima (kVA)               | 3.5                                                    |
| Pótenca aparente continua (kVA)             | 3.4                                                    |
| Fator de potência                           | 1.0                                                    |
| Potência activa máxima (kW)                 | 3.5                                                    |
| Potência activa continua (kW)               | 3.4                                                    |
| Tipo de combustível                         | Gasolina                                               |
| Consumo de combustível (50% DE CARGA) (l/h) | 0.95                                                   |
| Capacidade do tanque (l)                    | 15                                                     |
| Autonomia (50%) DE CARGA)                   | 15.8                                                   |
| Tensão nominal (V)                          | 110/220V                                               |
| Fases                                       | Monofásico                                             |
| Controle de tensão                          | AVR                                                    |
| Dimensões Embalagem (CxLxA)                 | 605x450x465                                            |
| Peso (kg)                                   | 46                                                     |
| Fiação recomendada (mm²)                    | 4                                                      |

Fonte: BRANCO, 2020.

El generador se colocará en la fuente de alimentación auxiliar de la residencia, que cuenta con una puerta que está diseñada para eliminar los gases producidos por la combustión de la gasolina para que el ambiente no se limite a estos gases. El QTA se implementará junto con el QDG, para facilitar la transferencia de los circuitos y reducir los costos de instalación, y se destinará un conducto para conectar el QTA con el generador de combustión que se muestra en la Ilustración 17.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el desarrollo del proyecto eléctrico, el circuito para la operación del QTA y la elección del generador, fue posible realizar el estudio necesario para la implementación de un QTA en una residencia. A partir del estudio realizado, es posible realizar un análisis de la viabilidad de implementar el sistema en una residencia, ya que se obtuvieron todos los componentes y materiales necesarios para que se pueda implementar este sistema de alimentación auxiliar.

Se pudo realizar un estudio del costo de materiales para la implementación de todo el sistema QTA con los componentes internos, cableado y generador, para el levantamiento de costos para implementar el sistema exactamente como se describe en la metodología. Los precios bajo análisis de los materiales se cotizaron en tres locales distintos ubicados en la región donde se construiría la casa ficticia, posibilitando realizar el promedio entre los precios para que fuera posible el levantamiento total del sistema, que se observa en la Tabla 2.

Tabla 2 – Lista de materiales y cantidad

| UNIDADES | ITEM                                    | VALOR UNITARIO | TOTAL |
|----------|-----------------------------------------|----------------|-------|
| 1        | Interruptor automático del motor 3x100A | 870            | 870   |
| 1        | Interruptor automático del motor 3x32A  | 500            | 500   |
| 1        | Relé de fase faltante                   | 120            | 120   |
| 1        | Contactor de potencia 100A              | 630            | 630   |
| 1        | Contactor de potencia 32A               | 200            | 200   |
| 1        | Disyuntor termomagnético 1x25A          | 10             | 10    |
| 1        | Disyuntor termomagnético 1x10A          | 8,5            | 8,5   |
| 2        | Disyuntor termomagnético 2x16A          | 26             | 52    |
| 1        | Ojal de emergencia                      | 34             | 34    |
| 3        | Botón de encendido y apagado            | 20             | 20    |

|              |                                           |      |               |
|--------------|-------------------------------------------|------|---------------|
| 3            | Contador auxiliar                         | 45   | 135           |
| 4            | Relé temporizador                         | 100  | 400           |
| 1            | Batería 12V                               | 70   | 70            |
| 1            | Tabla de control                          | 180  | 180           |
| 1            | Caja de conexiones 20x20                  | 40   | 40            |
| 2            | Cinta aislante                            | 5    | 10            |
| 1            | Generador                                 | 2800 | 2800          |
| 20 cm        | Cable flexible 4,0 mm <sup>2</sup> - azul | 5,22 | 104,4         |
| 10 cm        | Ojal de emergencia                        | 5,22 | 52,2          |
| 10 cm        | Botón de encendido y apagado              | 2    | 20            |
| 6 cm         | Cable flexible 1,5 mm <sup>2</sup> - gris | 2    | 12            |
| <b>TOTAL</b> |                                           |      | <b>6308,1</b> |

Fuente: Elaborado pelo autor, 2020.

Después de enumerar los materiales y los precios de cada material, puede ver que el QTA requerirá una inversión para comprar materiales de 6308,10 reales. Para la instalación del sistema, es obligatorio que la realice un profesional en el área de electricidad, que cuente con la capacitación y calificación técnica para realizar el servicio, ya que es un proyecto que es necesario interpretar esquemas eléctricos, y tener experiencia en generadores y cargas de potencia auxiliar.

El sistema a instalar no admite fallas, en su funcionamiento porque si hay una falla en el arranque del generador o en la parte interna del QTA, puede ocasionar daños incommensurables al paciente en tratamiento. Partiendo del supuesto de que el sistema será instalado por un profesional, el precio de la mano de obra puede variar según el profesional y la forma de trabajar, ya que hay profesionales que trabajan cuantificando sus horas trabajadas, profesionales que realizan el presupuesto por el número de días para ser trabajado y profesionales que su presupuesto se realiza por contrato, sin dejar clara la cantidad de días y horas trabajadas, sino el servicio todo sin importar el tiempo empleado.

Teniendo en cuenta que el precio de la mano de obra puede variar, se realizó un precio promedio para las tres ocasiones descritas anteriormente, el cual tiene un costo total de instalación de aproximadamente 1800,00 reales. Con el costo de los materiales a comprar y con mano de obra especializada, el costo total de implementación del sistema es de 8108,1 reales.

Con los proyectos desarrollados fue posible elegir el generador BT4-3500 y el análisis relacionado con sus datos específicos, permitiendo los cálculos que determinan una estimación de la durabilidad del combustible, si se utiliza el generador. Los datos proporcionados en el manual de usuario indican un consumo de 0,95 litros por hora de consumo, si el generador está suministrando el 50% de su capacidad de carga, el generador elegido suministrará energía a las cargas de los circuitos 4.11 y 12, obteniendo una capacidad de carga del 44,1%, que, al calcular el porcentaje, encontró un consumo de 0,838 litros por hora.

Con estos cálculos es posible estimar el tiempo que el generador alimenta los circuitos sin interrupción del suministro de gasolina, permitiendo un funcionamiento aproximado de 17,8 horas encendido, con el tanque lleno de 15 litros de gasolina. Es de gran importancia que el sistema aguante la carga mientras está activado, ya que en establecimientos que necesiten tratamiento médico es necesario que, en caso de un corte de energía, se deban implementar formas alternativas de suministro de energía (ALVES; SILVA; CARVALHO, 2017).

Con el sistema en pleno funcionamiento, brinda a los familiares y al paciente mayor seguridad y comodidad, que si por algún problema eléctrico el sistema funcionará. Permitiendo que la asistencia brindada por la aplicación de HC no se interrumpa, brindando estabilidad al paciente (MOLARI, 2007).

## 5. CONSIDERACIONES FINALES

Con el estudio elaborado sobre la implementación del Marco de Transferencia Automática, en residencias que acogen a pacientes para someterse a diversos tratamientos médicos conocidos como Home Care, con el fin de mitigar los daños ocasionados por la inestabilidad eléctrica del paciente en tratamiento, permitió obtener datos satisfactorios en relación a los aspectos constructivos. Se obtuvieron datos en relación al monto de gastos necesarios para la aplicación del sistema y el desarrollo de un circuito funcional que entraría en acción en caso de inestabilidad eléctrica en la residencia.

El primer aspecto positivo fue que el sistema se puede implementar en una residencia convencional, sin mucha complicación y modificación de la residencia, teniendo un costo de implementación relativamente bajo, incluyendo materiales y mano de obra calificada. Otro aspecto positivo fue que es posible abastecer los circuitos esenciales del paciente durante un buen tiempo sin necesidad de recargar el generador.

Debido a los datos presentados, es posible implementar un sistema de suministro eléctrico auxiliar en una residencia, brindando mayor seguridad en relación al suministro eléctrico. Provocando así más seguridad, tranquilidad y consecuentemente aportando una mejora en uno de los puntos cruciales en la aplicación del Home Care la calidad de vida del paciente.

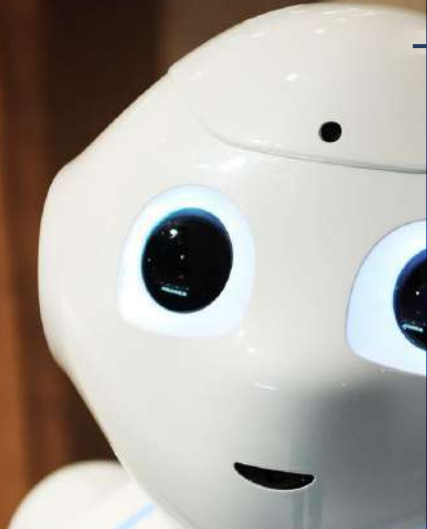


## REFERENCIAS

- Abracopel. (2020). Como funciona o dr. Disponível em: < <https://abracopel.org/download/como-funciona-o-dr/> > Acesso em 23 de outubro 2020.
- Alves, L.; Silva, P. K; Carvalho, R. O. G. (2017). Instalações elétricas em hospitais e instituições de saúde. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.
- Ambiente, M. DO M.; Educação, M. DA; Consumidor, I.B. DE D. DO. (2005). Consumo sustentável manual de educação. Brasília: Federal, Governo.
- ANEEL-Agência nacional de energia elétrica. (2008). Atlas de energia elétrica do Brasil. 3° ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica.
- ANEEL-Agência nacional de energia elétrica. (2017). Resolução normativa N° 800 de 19 de dezembro de 2017. Agência Nacional de Energia Elétrica.
- Assis, V. A. (2014). Diagnóstico energético, reforma da subestação de energia e instalação elétrica de um grupo GMG 642 kVA no hospital alvorada Brasília. Brasília: Universidade de Brasília.
- Athoselectronics. (2020b). Contator – o que é, como funciona, tipos e aplicações. Disponível em: < <https://athoselectronics.com/contator/> > Acesso em 21 de outubro 2020.
- Athoselectronics. (2020a). Disjuntor motor – o que é, como funciona e aplicações Disponível em: < <https://athoselectronics.com/disjuntor-motor/> > Acesso em 21 de outubro 2020.
- Barros, B. F.; Borelli, R.; Gedra, R.L. (2016). Gerenciamento de energia: Ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica. 2°ed. São Paulo: Editora Érica.
- Borda, M. C. V.; Gaspar, N. F. (2007). Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho. InterAcademy Council.
- Borin, F. L. (2007). Técnicas de geração de energia elétrica com sistemas de rotação ajustável. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.
- Branco (2020). Manual de instalações Araucária: Branco Motores Ltda. Disponível em: < <https://cdn2.madeiramadeira.com.br/tecnico/branco/257255-b4t-3500.pdf> > Acesso em: 26 de outubro de 2020.
- Brasil, I. A. (2014). Qualidade no fornecimento de energia elétrica: confiabilidade, conformidade e prestação 14° ed. São Paulo: White Paper.
- CEMIG – Companhia energética de Minas Gerais (2017a). ND 5.1 – Fornecimento de energia elétrica em tensão secundária – rede de distribuição aérea – edificações individuais. Belo Horizonte: CEMIG.
- CEMIG – Companhia energética de Minas Gerais (2017a). ND 5.1 – Fornecimento de energia elétrica em tensão secundária – rede de distribuição aérea – edificações individuais. Belo Horizonte: CEMIG. CEMIG – Companhia energética de Minas Gerais (2017b). ND 5.1 – Fornecimento de energia elétrica em tensão secundária – rede de distribuição aérea – edificações coletivas. Belo Horizonte: CEMIG.
- Centenaro, B.; Catapani, G. F. R. (2017). Avaliação de confiabilidade de rede de distribuição de uma concessionária brasileira via método analítico e monte carlo sequencial. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Chapman, S. J. (2013). Fundamentos de máquinas elétricas. 5° ed. São Paulo: Ltda.
- Costa, T. S. M. (2014). Impactos técnicos da integração de microrredes nos sistemas de distribuição de energia elétrica. Belo Horizonte: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.
- CRESMESP- Conselho regional do estado de São Paulo (2008). Cuidado paliativo. São Paulo.
- Elétrica, M. (2020a). Disjuntor motor – características e aplicações. Disponível em: < <https://www.mundodaeletrica.com.br/disjuntor-motor-caracteristicas-e-aplicacoes/> > Acesso em 21 de outubro de 2020a.
- Elétrica, M. (2020b). Relé falta de fase – o que é e como funciona. Disponível em: < <https://www.mundodaeletrica.com.br/rele-falta-de-fase-o-que-e-como-funciona/> > Acesso em 21 de outubro de 2020b.
- Energética, E. E. DE P. (2020a). Formas de energia. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/pt/abcedenergia/formas-de-energia> > Acesso em: 13 maio 2020a. Energética, E. E. DE P (2020b). Matriz energética e elétrica. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/pt/abcedenergia/matriz-energetica-e-eletrica> > Acesso em: 13 maio 2020b. Folux (2020). Funções e características importantes do disjuntor termomagnético. Disponível em: < <https://www.foxlux.com.br/blog/foxlux-2/funcoes-e-caracteristicas-do-disjuntor-termomagnetico/#:~:text=Prote%C3%A7%C3%A3o%20contra%20sobrecargas%3A%20%20disjuntor,provoca%20a%20abertura%20do%20mesmo.> > Acesso em 22 de outubro 2020.



- GN Automação. (2020). Painéis e acessórios para geradores. Disponível em: <<https://loja.gnautomacao.com.br/paineis-e-acesorios-para-geradores>> Acesso em: 10 maio 2020.
- Leão, R. P. S. (2012). GTD – Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Ceará: Universidade Federal do Ceará, 2012.
- Leite, A. C. G. M. (2013). A sustentabilidade empresarial, social e as fontes de energias. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.
- LIMA, R. M. F. (2011). Oportunidades de melhoria nos processos de distribuição de energia elétrica. São Carlos: Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de São Carlos.
- Menezes, V. P. (2015). Linhas de transmissão de energia elétrica: aspectos técnicos, orçamentários e construtivos. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Metaltex. (2020a). Cn/cnu contator tripolar até 630 A. Disponível em: < <https://www.metaltex.com.br/produtos/automacao/contatores/cn-cnu-contador-tripolar-ate-630a>> Acesso em 21 de outubro de 2020a.
- Metaltex. (2020b). Cx6 – contator auxiliar. Disponível em: < <https://www.metaltex.com.br/produtos/automacao/contatores/cx6-contador-auxiliar>> Acesso em 21 de outubro de 2020b.
- Minulight. (2020). Contatores auxiliares. Disponível em: < <https://www.minulight.com.br/energia-eletrica/contatores/contador-auxiliar/#:~:text=O%20contator%20auxiliar%20ou%20contactor%20auxiliar%20n%C3%A3o%20deve%20ser%20utilizados,sinaliza%C3%A7%C3%B5es%20dependendo%20do%20fechamento%20de>> Acesso em 22 de outubro de 2020.
- Molari, J. C. (2007). Home care – estrutura, funcionamento e fisioterapia. Lins- São Paulo: Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium.
- Nagano. (2020). Manual de instruções geradores estacionários 33 kVA, 72 kVA, 165 kVA. Disponível em: <<https://naganoprodutos.com.br/novosite/upload/download/3408.pdf>> Acesso em: 12 maio 2020. Paliativos, A. N. C. (2012). Manual de cuidados paliativos ANCP. 2ªed. São Paulo.
- Peres, L. M. (2013). Estudos do desempenho dinâmico de geradores síncronos de produtores independentes em sistemas de geração distribuída via ATPDraw.
- Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia. Prodanov, C. C; Freitas, E. C. (2013). Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2º ed. Rio Grande do Sul: FEEVALE.
- Ramos, M. C. G (2009). Uma contribuição para a área de saúde por meio da verificação do impacto da qualidade de energia e das instalações elétricas nos equipamentos eletromédicos. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Ruah. (2020). Ventilador pulmonar avançado manual do usuário. Disponível em: < <https://cmosdrake.com.br/content/uploads/manual/Manual%20do%20Usuario%20Ventilador%20Pulmonar%20Ruah.pdf>> Acesso em 22 de outubro 2020.
- Senra, F. O.; Lima, K. A. M. DE; Abreu, R. A. DE. (2014). Estudo da aplicação de hidrogênio e gasolina em motor ciclo otto. Itatiba: Universidade de São Francisco.
- Silva, M. C. (2017). Automatização dos grupos geradores da estação de bombas VI da unidade de germano da samarco mineração. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto.
- Solution, B. A. (2020). Quais tipos de energia renovável estão sendo mais utilizadas nas residências atualmente. Disponível em: < <https://amphenolbroadband.com.br/2020/01/06/tipos-de-energia-renovavel-mais-utilizadas-nas-residencias/>> Acesso em 12 maio 2020.
- Valente, O. S. (2017). Desempenho e emissões de um motor – gerador de energia elétrica operando com biodiesel. Belo Horizonte: Universidade Católica de Minas Gerais, 2017.
- Vitalgas (2020). Concentrador de oxigênio 110V everflo 5L/min – Philips. Disponível em: < <https://www.vitalgas.com.br/concentrador-de-oxigenio-110v-everflo-5l-min-philips.html>> Acesso em 22 de outubro 2020.
- WEG. (2020). Relés eletrônicos. Jaraguá do Sul: Automação WEG, 2020. Disponível < <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hb4/h1d/WEG-reles-temporizadores-protetores-e-de-nivel-50009830-catalogo-portugues-br-dc.pdf>> Acesso em 23 de outubro 2020b.
- WEG. (2020). Soluções integradas para instalações elétricas. Jaraguá do Sul: Automação WEG, 2020. Disponível < <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h97/hb6/WEG-solucoes-integradas-para-instalacoes-eletricas-50009824-pt.pdf>> Acesso em 23 de outubro 2020a.
- Zimmer, C.; Ortiz, G. E.; Junior, M. A. F. (2013). Estudo para melhoria do desempenho do sistema elétrico de distribuição das cidades brasileiras. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.



# BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL DESARROLLO DE LOS NIÑOS EN EL APRENDIZAJE EN LA EDUCACIÓN INFANTIL

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/09/2019 ACEPTADO: 15/03/2020 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/07/2020

### ***BENEFITS OF THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLIED TO THE DEVELOPMENT OF CHILDREN IN LEARNING IN INFANT EDUCATION***

<sup>1</sup> Rita De Kássia Dantas Silva, <sup>2</sup> Thiago Vieira Da Silva

Como citar este artículo: Dantas, R; Vieira, T, (2020), Beneficios de la utilización de la inteligencia artificial aplicada al desarrollo de los niños en el aprendizaje en la educación infantil, revista Dynamikos 1 (2). Recuperado de: <https://teinco.edu.co/wp-content/uploads/2021/07/Revista-Dinamicos-No2.pdf>

#### **RESUMEN**

Dado el avance de la inteligencia artificial y sus posibilidades, combinado con el actual escenario mundial de retraimiento social debido a la pandemia del nuevo coronavirus, vimos buenas perspectivas para llevar esta tecnología a la educación. En el estudio, la aplicación Read Along de Google, que se basa en la inteligencia artificial en su funcionamiento, una valiosa tecnología que proporciona interacción, compañía y asistencia, será objeto de análisis para identificar sus beneficios en las áreas de comportamiento, desarrollo cognitivo, concentración y enfoque del niño en la fase de aprendizaje. Los resultados se recogerán a través de formularios rellenos por un tutor pedagógico que acompañará al niño, quien analizará algunos factores en tres sesiones, tales como: el desarrollo, el comportamiento, la atención y las mejoras que presenta la interacción de la inteligencia artificial con el niño analizado. En este sentido, esta investigación tratará de explorar aspectos relacionados con la tecnología llamada inteligencia artificial y cómo está creciendo en la vida cotidiana de diversas sociedades en todo el mundo y cambiando los parámetros de la educación, donde lo que ha sido fijado y establecido durante años ahora se confía para ser completamente reformulado. Por lo tanto, evaluar la contribución real de la inteligencia artificial en el proceso de aprendizaje, atención y desarrollo de un niño, irá más allá de una situación momentánea, y contribuirá a futuras y diversas aplicaciones en diferentes ámbitos de la sociedad.

**PALABRAS CLAVE:** Inteligencia Artificial. Aplicación. Educación. Niños. Coronavirus.

#### **ABSTRACT**

Given the advancement of artificial intelligence and its possibilities, coupled with the current world scenario of social withdrawal due to the pandemic of the new coronavirus, we saw good prospects for bringing this technology to education. In the study, Google's Read Along application that relies on artificial intelligence in its operation, a valuable technology that provides interaction, companionship and assistance, will be under analysis to identify its benefits in the areas of behavioral, cognitive development, concentration and focus of the child in the learning phase. The results will be gathered through forms filled out by a pedagogical tutor who will accompany the child, who will analyze some factors in three sessions, such as: development, behavior, attention and improvements presented by the interaction of artificial intelligence with the child under analysis. In this sense, this research will seek to explore aspects related to the technology called artificial intelligence and how it is growing in the daily life of diverse societies around the world and changing the parameters of education where what has been fixed and established for years, today is entrusted to be completely reformulated. Therefore, assessing the real contribution of artificial intelligence in the process of learning, attention, and development of a child will go beyond a momentary situation, as well as contribute to future and diverse applications in different areas of society.

**KEYWORDS:** Artificial Intelligence. Application. Education. Children. Coronavirus.

Graduanda no 10º período de Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM, Brasil, [ritakassia@unipam.edu.br](mailto:ritakassia@unipam.edu.br)  
 Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso – UFMG, mestrado e com doutorado em andamento pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Brasil, [thiagovs@unipam.edu.br](mailto:thiagovs@unipam.edu.br)  
 Tradução de Rita de Kássia Dantas Silva (Graduanda em Engenharia Elétrica – UNIPAM)

**SUMARIO:** 1. Introducción. 2. Método. 2.1. Estrategias Metodológicas. 3. Referencia Teórica. 3.1. Inteligencia Artificial. 3.2. Aprendizaje Automático. 3.2.1 Aprendizaje Profundo. 3.2.2 Visión Computacional. 3.3. Redes Neuronales Artificiales. 3.4. Procesamiento Del Lenguaje Natural. 3.4.1. Big Data. 3.4.2. Algoritmos Genéticos. 3.4.3. Procesadores Cuánticos Y Capacidad De Procesamiento De Las Máquinas. 3.5. La IA En La Educación. 3.6. Proceso De Aprendizaje De La Lectura En La Educación De La Primera Infancia. 3.7. Read Along by Google. 4. Resultados. 5. Discusión y Conclusiones. 6. Referencias Bibliográficas.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Inteligencia Artificial, a pesar de ser un término antiguo, su popularización y avance son más recientes, extendiéndose a varios campos que involucran y hacen posible su aplicación, con esto es necesario el entendimiento de las tecnologías que han influido en nuestra vida, y que son capaces de realizar tareas tan bien, o incluso mejor, que nosotros los humanos (adaptado COPELAND, 2016). En este sentido, es importante destacar la cantidad de inteligencia artificial que está presente y que ha influido en nuestra vida cotidiana, se encuentra indirectamente en las redes sociales y en las aplicaciones de los teléfonos inteligentes, en las recomendaciones de productos, en las referencias de amigos -de facebook, por ejemplo-, presentes a través de asistentes virtuales, que interactúan y ayudan en el envío de mensajes, la realización de investigaciones y la generación de información que solicitamos en texto (FINZI, 2019; adaptado COPELANDIA, 2016).

Desde esta perspectiva, Turbot (2017) destaca que hoy en día está transformando el mundo de la educación a un ritmo acelerado, ya que cada vez más niños utilizan tabletas y tienen la tecnología a su alcance. Mussa, Securato y Sánchez (2020) afirman que entre todas las tecnologías que presenta la transformación digital, ciertamente la inteligencia artificial es la que impacta más en los modelos de aprendizaje. En la educación, la inteligencia artificial está estimulando la transformación de los resultados del aprendizaje, además de mejorar el comportamiento y la participación de los estudiantes. En este contexto, y en medio de la actual pandemia mundial de coronavirus, muchos estudiantes están en casa debido al cierre de las escuelas, y por consiguiente muchas familias de todo el mundo están buscando maneras de ayudar a los niños a aumentar sus habilidades y destrezas, como la lectura, que anteriormente se desarrollaban en el aula (adaptado HYDER, 2020). Así pues, una vez establecido el régimen de cuarentena y tras las iniciativas de aislamiento recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), crece la demanda de tecnologías para establecer interacciones en entornos sociales virtuales, como clases y actividades de lectura social en línea (adaptado por BARI et al., 2020).

A través de ello, el presente trabajo pretende observar el comportamiento de los niños en relación con la inteligencia artificial, desarrollada y utilizada en la aplicación de Google - Read Along, que utiliza la IA para ayudar a los niños a mejorar su lectura, comparando el desarrollo de estos niños, dada la necesidad actual de los niños de continuar sus procesos de aprendizaje en casa. La aplicación Read Along presenta a un amigo que interactúa con el niño y le ayuda en el proceso de desarrollar habilidades de lectura de forma independiente (adaptado HYDER, 2020). El perfecto funcionamiento del sistema eléctrico requiere de las cuatro subdivisiones para realizar el trabajo de la manera correcta, que son la generación, transmisión, distribución y comercialización que se ejemplificará posteriormente. Cada subsistema tiene una función, con el objetivo de poner la electricidad a disposición de los consumidores (COSTA, 2014). La generación de energía eléctrica se puede lograr de diferentes maneras,

cada método tiene sus ventajas y desventajas, apuntando a los aspectos económicos y ambientales, y puede ser generada por fuentes renovables o no renovables. (AMBIENTE; EDUCAÇÃO; CONSUMIDOR, 2005). Las fuentes de energía renovables son aquellas que utilizan recursos naturales que tienen la capacidad de reestructurarse y, por lo tanto, pueden ser reutilizados posteriormente, las fuentes no renovables no tienen la capacidad de reestructurarse y no pueden ser reutilizadas (LEITE, 2013). En la generación de energía a través de fuentes renovables, podemos encontrar algunas opciones, que se pueden implementar de acuerdo a estudios realizados con el objetivo.

## 2. MÉTODO

Así pues, el estudio que aquí se presenta tiene por objeto comprender el funcionamiento y los últimos avances de la inteligencia artificial con respecto a los posibles incrementos en el proceso de aprendizaje de los estudiantes que se encuentran al comienzo de su fase escolar. En este sentido, los resultados presentados aquí se basan en un estudio de caso de observación del comportamiento de los niños que tratan directamente con la inteligencia artificial. Así, a través de la recolección de datos sobre el comportamiento y la atención de los niños, obtenidos por un formulario aplicado al pedagogo, que jugó un papel fundamental en esta investigación, se puede comprobar que la interacción que proporciona la aplicación tiene la capacidad de mejorar y acelerar el proceso de aprendizaje del vocabulario en la educación infantil, favoreciendo y mejorando la parte cognitiva de estos niños.

### 2.1 ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

Basándose en el marco teórico, el estudio previsto será un caso de estudio en el que la aplicación Read Along by Google: A fun reading app, que es una aplicación de lectura gratuita para android en la que se pretende ayudar a los niños en desarrollo cognitivo en el proceso de lectura a divertirse mientras aprenden a leer. Read Along tiene un compañero de lectura, una tecnología hecha posible por la inteligencia artificial, que escucha al joven aprendiz leer en voz alta y le ofrece ayuda si hay dificultades o errores en el proceso de lectura o dicción, recompensándole con estrellas a medida que progresa. Si es necesario, pueden tocar cualquier palabra para oírla pronunciada. Esta aplicación ha demostrado ser más funcional para los niños que ya tienen algún conocimiento básico del alfabeto, por lo que los niños del grupo de estudio serán seleccionados en el rango de edad de 4 (cuatro) a 7 (siete), de un total de 5 (cinco) niños, que están en el proceso de aprendizaje del alfabeto y la lectura, y en retraimiento social debido a una pandemia. Los resultados de esto se recogerán a través de formularios rellenos por el tutor que acompañará al niño, siendo este tutor un profesional de la pedagogía, que analizará algunos factores siguiendo en tres sesiones, lo que el desarrollo, comportamiento, atención y mejoras presentadas por la interacción de la inteligencia artificial presente con el niño analizado, siendo con la ayuda de estos formularios que podemos implicar y presentar los resultados.

Es notorio aquí mencionar que el marcador de un estudiante en la lectura, especialmente a esta edad, es mucho más cualitativo que cuantitativo, así que de nuevo, el hecho de que podamos contactar con los educadores y tener su retroalimentación puede indicar posibles mejoras en el comportamiento y la actitud de estos niños en relación con su historial de aprendizaje en la lectura.

Como toda aplicación destinada a ser utilizada por niños muy pequeños, su plataforma es sumamente fácil de usar y sencilla, sin embargo, los padres y maestros se guiarán por las numerosas facilidades y, especialmente, los objetivos de la aplicación. El niño también tendrá que recibir orientación para el uso de la aplicación, lo que le permitirá utilizarla más tarde de forma independiente.

En cuanto al tiempo de uso, se estipulará alrededor de 10-15 (diez a quince) minutos diarios, sin embargo, si el niño o los padres entienden que el niño está entusiasmado con la herramienta y quiere seguir usándola, por voluntad libre y espontánea, aconsejaremos a los padres que dupliquen este tiempo diario.

Se refuerza que la aplicación tiene por objeto fomentar el aprendizaje con confianza, alentando a los jóvenes a aprender a su propio ritmo y a seguir los progresos individuales.

Es evidente que el proceso de alfabetización suele llevarse a cabo en el hogar por padres más educados que se preocupan por el desarrollo intelectual de sus hijos. Por otra parte, muchos niños pertenecientes a la clase C no experimentan tal dedicación -aquí es donde el estudio puede tener mayor fuerza-, por lo que el niño puede ser animado a entrar en un nuevo mundo, en interacción con la IA, y sentirse apoyado para aprender y mejorar sus capacidades intelectuales. Teniendo en cuenta estos aspectos, los pasos de este proyecto serán los siguientes:

- Seleccionar un grupo de cinco niños (de 4 a 7 años de edad) que estén en proceso de aprender a leer y en retraimiento social debido a una pandemia, ya sea hombre o mujer;
- Presénteles la inteligencia artificial de la aplicación y explíqueles cómo es posible hacer el proceso de interacción, proporcionando así asistencia en el desarrollo de las habilidades de lectura;
- Mapear el proceso de conducta, comportamiento y desarrollo del niño observándolo mediante la aplicación, que será impartida por un tutor pedagógico, en tres sesiones de al menos 10 minutos cada una;
- Identificar la ganancia potencial para el niño a través de la interacción con la IA, la atención, el entusiasmo y la compañía que proporciona la herramienta presente en la solicitud, recogida mediante formularios rellenados con información sobre cada niño. - Análisis de los resultados.

### 3. REFERENCIA TEÓRICA

#### 3.1 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Según Kleina (2018), el marcador de la IA fue en 1956 en la llamada Conferencia de Dartmouth. Esa reunión reunió a [...] John McCarthy y mucha más gente. Allí, el campo de investigación fue nombrado inteligencia artificial por McCarthy, e incluso se definió la máxima de la industria: Cada aspecto del aprendizaje u otra forma de inteligencia puede ser descrito con tanta precisión que se puede crear una máquina para simularlo.

Según Navega (2000), en esta primera reunión de científicos organizada oficialmente para debatir aspectos de la inteligencia y su aplicación en las máquinas hubo mucho entusiasmo y también algunos experimentos relativamente exitosos, a pesar de la fase primitiva de las computadoras y los lenguajes de programación disponibles.

Para la Inteligencia Artificial, también conocida como IA o IA, no existen definiciones precisas a nivel mundial, pero conceptualizarla sigue siendo importante, según el autor Nilsson es “la actividad dedicada a hacer que las máquinas sean inteligentes, y la inteligencia es aquella cualidad que permite a una entidad funcionar correctamente y con previsión en su entorno” (adaptado NILSSON, 2010). Para el autor Simon, la IA es una rama de la informática que se ocupa del comportamiento inteligente en las computadoras, es decir, sistemas computarizados que son capaces de realizar tareas que generalmente requieren conocimiento humano (adaptado SIMON, 1995).

Según Panch, Szolovits y Atun es “una amplia disciplina científica con raíces en la filosofía, las matemáticas y la informática que tiene por objeto comprender y desarrollar sistemas que exhiben propiedades de inteligencia”. Como también cita Kurzweil (1990), es “el arte de crear máquinas que realizan funciones que requieren inteligencia cuando son ejecutadas por personas”.

Según Copeland (2016), la IA se ha vuelto más popular después de 2015, y para él esto está ligado a la disponibilidad de GPU (unidades de procesamiento gráfico) que hacen que el procesamiento paralelo sea más rápido, más barato y también más potente. Además de la gran cantidad de datos que tenemos disponibles a través de Internet (todo el movimiento Big Data) - imágenes, textos, transacciones, datos de mapas, entre otros.

Cubriendo varias áreas de la informática, la IA se extiende a varios campos que involucran las capacidades de las computadoras y las máquinas, tales como el procesamiento del lenguaje natural, el aprendizaje de las máquinas, la visión computarizada, y varios otros términos que surgen y se vuelven necesarios para la comprensión de las tecnologías que son capaces de realizar tareas específicas tan bien como, o incluso mejor que, nosotros los humanos (adaptado COPELAND, 2016).

Ejemplos de IA con la que tenemos contacto en nuestra vida diaria son recomendaciones de productos, reconocimiento fácil - como las caras de facebook - asistentes virtuales, realidad aumentada, etc. Estas tecnologías muestran algunas facetas de la inteligencia humana. ¿Pero cómo? ¿De dónde podría venir esta inteligencia? Esto nos lleva al Aprendizaje Automático, como alternativa a la ampliación de los poderes de la Inteligencia Artificial (adaptado COPELAND, 2016).

### 3.2 APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

En 1959 apareció el término Aprendizaje de la Máquina “describiendo un sistema que da a los ordenadores la capacidad de aprender alguna función sin ser programados directamente para ello”. Básicamente, significa alimentar un algoritmo con datos para que la máquina aprenda a realizar una tarea automáticamente” (KLEINA, 2018).

El aprendizaje automático es un subgrupo de la IA que utiliza técnicas estadísticas para dar a las computadoras la capacidad de aprender de los datos sin ser programadas explícitamente (adaptado PANCH, SZOLOVITS, ATUN, 2018). Para Meriat (2020) “El aprendizaje automático es un área de la inteligencia artificial que permite a un sistema aprender y tomar decisiones a partir de datos, no a través de una programación explícita. Para que el Aprendizaje Automático aprenda efectivamente, defina estas correlaciones y tome decisiones, es necesario crear primero el algoritmo de aprendizaje automático, que se basa en un proceso llamado modelado.

El primer paso del proceso de modelación es Datos, donde se pasa a obtener los mismos, a trabajar y comprender, si es necesario filtrar para llegar a una mejor información y condiciones de los insumos iniciales, porque los buenos datos resultan en mejores predicciones y resultados de modelación, el siguiente paso es la Experimentación donde se investiga y diseña estrategias para tratar los datos, y qué algoritmos se utilizarán en la construcción, luego viene el Modelo, que es efectivamente lo que se consumirá y transformará en informes basados en las relaciones probabilísticas que existen entre las variables (información dentro de los Datos), relación de datos y matemáticas, para que posteriormente se produzca la implementación (MERIAT, 2020).

De esa manera, podemos dividir el aprendizaje de la máquina en:

A) Supervisado: donde hay una variable explícita que debe ser contestada; la capacitación de programas de computación para aprender las asociaciones entre las entradas y salidas en los datos a través del análisis de las salidas de interés definidas por un supervisor, generalmente un humano. Una vez que se han aprendido las asociaciones a partir de los datos existentes, pueden utilizarse para predecir ejemplos futuros (adaptado PANCH, SZOLOVITS, ATUN, 2018).

B) Sin supervisión: tratando de identificar patrones a partir de los datos, sin un objetivo específico a alcanzar. Programas informáticos que aprenden asociaciones en los datos sin definición externa de las asociaciones de interés. El aprendizaje no supervisado es capaz de identificar predictores previamente desconocidos, en vez de simplemente confiar en asociaciones conocidas (adaptado PANCH, SZOLOVITS, ATUN, 2018).

De manera más resumida, el aprendizaje automático es la práctica de utilizar algoritmos para recoger datos, aprender de ellos y luego hacer una determinación o predicción sobre algo en el mundo. Así que, en lugar de haber una implementación de rutinas de software a mano, para realizar una tarea particular, la máquina se entrena utilizando una gran cantidad de datos y algoritmos que le dan la capacidad de aprender a realizar dicha tarea (adaptado COPELAND, 2016).

### 3.2.1 APRENDIZAJE PROFUNDO

Muchas aplicaciones prácticas del aprendizaje de la máquina y por extensión del campo general de la IA, sólo han sido posibles a través del aprendizaje profundo, que se ocupa de dividir las tareas de tal manera que todos los tipos de asistencia de la máquina parecen posibles e incluso probables (adaptado COPELAND, 2016).

Para Copeland (2016), Deep Learning English es un subgrupo de Machine Learning y por consiguiente está relacionado dentro de la Inteligencia Artificial, que se ocupa del aprendizaje por máquina basado en un conjunto de algoritmos que buscan modelar abstracciones de datos de alto nivel. El aprendizaje profundo permite muchas aplicaciones prácticas del aprendizaje automático y, por consiguiente, de todo el campo de la IA.

El Aprendizaje Profundo se disuelve en varias tareas para que todo tipo de ayuda de una máquina sea posible, incluso las más remotas, los coches se conducen solos, mejora la salud preventiva, recomendaciones de películas. Con la ayuda del Aprendizaje Profundo, la IA se presenta en el presente y en el futuro, puede alcanzar el estado de ciencia ficción imaginado durante mucho tiempo (adaptado COPELAND, 2016).

A medida que el volumen de datos ha ido aumentando hasta alcanzar grandes niveles de datos, se han desarrollado sistemas de aprendizaje profundo que son esencialmente redes neuronales de múltiples capas. El aprendizaje profundo permite la captura y extracción de más y mayores volúmenes de datos, incluidos los datos no estructurados (adaptado SAS, 2019).

Según Kleina (2018), “el aprendizaje profundo puede integrarse con otro proceso: la visión por computadora, que consiste en permitir que un sistema se ocupe de la adquisición, la comprensión y el análisis de imágenes”.

### 3.2.2 VISIÓN COMPUTACIONAL

La visión por ordenador es actualmente la forma más avanzada de percepción de las máquinas. Uno de los subgrupos de la IA más transformados por el aumento del aprendizaje profundo (adaptado por PETER et al., 2016).

Según Araújo (2009) la visión por computador puede definirse como un subámbito del procesamiento de imágenes que estudia el desarrollo de métodos y técnicas que permiten a un sistema informático interpretar las imágenes. En otras palabras, un sistema de visión computarizada debe proporcionar a una máquina algunas de las capacidades del sistema visual humano, como la capacidad de describir una escena contenida en una imagen digital.

La visión por ordenador es un campo de la inteligencia artificial que entrena a los ordenadores para interpretar y comprender el mundo visual. Usando imágenes de cámara digital y video, junto con modelos de aprendizaje profundo, las máquinas pueden identificar y clasificar los objetos correctamente - y luego reaccionar a lo que “ven”. (adaptado SAS, 2019).

Además, un sistema de visión eficiente debe ser capaz de extraer un conjunto de atributos que describa con precisión una escena y que sea lo suficientemente pequeño como para reducir el tiempo de procesamiento y permitir la construcción de aplicaciones que puedan utilizarse en la práctica como sistemas de visión para robots industriales, vehículos autónomos, detección de eventos en sistemas de vigilancia, lectura automatizada de matrículas, inspección industrial y reconocimiento de estándares biométricos, entre otros (ARAÚJO, 2009).

Con el auge de Internet en la década de 1990, se pusieron a disposición grandes volúmenes de imágenes en línea para su análisis, y se avanzó en el desarrollo de programas de reconocimiento facial. Estos crecientes conjuntos de datos ayudaron a que las máquinas identificaran a personas específicas en fotos y vídeos (adaptado SAS, 2019).

Numerosos factores han convergido para revivir la investigación sobre la visión por computadora, entre ellos las tecnologías móviles con cámaras incorporadas que han saturado el mundo con fotos y vídeo, la potencia de computación más barata y comprensible, el hardware diseñado para la visión por computadora y sus análisis más disponibles (adaptado SAS, 2019).

“Desde el reconocimiento facial hasta el procesamiento de las acciones de un partido de fútbol en vivo, la visión por computadora compite y supera las capacidades de la visión humana en varias áreas”. El funcionamiento de la visión por computadora se divide básicamente en tres etapas, la primera de las cuales es la adquisición de imágenes, seguida del procesamiento de imágenes - los modelos de aprendizaje profundo automatizan gran parte de este proceso - y finalmente la comprensión de la imagen, donde se identifica o clasifica el objeto (adaptado SAS, 2019).

Las redes neuronales influyen directamente, contribuyendo a la mejora de los procesos de decisión en la visión por ordenador para interpretar fotos y vídeos no tratados, como en la imagen médica, la robótica y el reconocimiento facial (adaptado SAS, 2019).

### 3.3 REDES NEURALES ARTIFICIALES

En 1943, Warren McCulloch y Walter Pitts, presentaron un artículo sobre las redes neuronales - Un cálculo lógico de las ideas inmanentes en la actividad nerviosa - sobre cómo las neuronas deben trabajar y luego modelaron sus ideas creando una simple red neuronal con circuitos eléctricos. El innovador modelo allanó el camino para la investigación de redes neuronales en dos áreas, la de los procesos biológicos en el cerebro y la aplicación de las redes neuronales en la inteligencia artificial. (adaptado SAS, 2019).

Debido al carácter de “todo o nada” de la actividad nerviosa, los eventos neuronales y las relaciones entre ellos pueden ser tratados a través de una lógica proposicional. Se puede ver que el comportamiento de cada red puede describirse en estos términos, con la adición de medios lógicos más complicados para las redes que contienen círculos; y que para cualquier expresión lógica que satisfaga ciertas condiciones, una red puede encontrarse comportándose de la manera que describe. (adaptado MCCULLOCH, 1943).

Los ARN pueden comprender por sí mismos las características de un problema, utilizando para su aprendizaje un conjunto de ejemplos cuya respuesta ya se conoce (adaptado MÜLLER, 1990). Un modelo de red neuronal procesa ciertas características y produce respuestas y resoluciones similares a las del cerebro humano. Las redes neuronales artificiales se desarrollan a través de modelos matemáticos, en los que se hacen las siguientes suposiciones (adaptado FAUSETT, 1994):

1. El procesamiento de la información ocurre dentro de las llamadas neuronas;
2. Los estímulos son transmitidos por las neuronas a través de conexiones;
3. Cada conexión está asociada a un peso que, en una red neural estándar, se multiplica al estímulo recibido;
4. Cada neurona contribuye a la función de activación (normalmente no lineal) para determinar el estímulo de salida (respuesta de red). Las redes neuronales se inspiran en las neuronas biológicas y en todas las interconexiones entre ellas. Pero a diferencia de un cerebro biológico en el que cualquier neurona puede conectarse aleatoriamente con cualquier otra, respetando una distancia física, estas redes neuronales artificiales tienen capas, conexiones y direcciones de propagación de datos discretas (adaptado COPELAND, 2016).

Los modelos conexionistas se modifican de varias maneras, dependiendo de la necesidad de aplicación, estas diferentes posibilidades de conexiones entre capas de neuronas forman arquitecturas diferentes, por el número de capas intermedias y unidades de procesamiento - las neuronas o nodos, por la función de transferencia y el proceso de aprendizaje (FURTADO, 2019).

Las arquitecturas fundamentales se subdividen en 3 clases: Red neuronal de avance de una capa, Red neuronal de avance de varias capas, y Redes recurrentes o de avance (FURTADO, 2019):

- A) Red de avance de una capa: en estos modelos de red las neuronas se organizan en capas, los nodos de entrada se comunican directamente con los nodos de salida (nodos computacionales). Se denomina red de una capa en referencia a la capa de salida, porque los nodos de entrada no procesan nada, sólo presentan los patrones a la red.
- B) Red de alimentación de varias capas: a diferencia de la anterior, puede tener una o más capas ocultas. Como la función de las neuronas ocultas interviene entre las capas de entrada y salida de la red de manera útil, con esta adición de capas la red mejora el mapeo de problemas más complejos.
- C) Red recurrente o de retroalimentación: se diferencia de otros tipos de redes de retroalimentación al permitir la retroalimentación de una capa con información generada por la capa posterior, o incluso, una retroalimentación de la neurona con la salida misma.
- E) auto-retroalimentación. Estas redes son más robustas, pero más complejas, tanto para su uso como para el análisis de los resultados presentados.

Para entender mejor cómo funciona una red neuronal, podemos decir que el nodo está modelado según el comportamiento de una neurona humana. Por lo tanto, estos nodos se activan cuando hay suficientes estímulos o entradas, extendiéndose más tarde a través de la red y creando una respuesta al estímulo, el resultado. Estas conexiones entre neuronas artificiales actúan como simples sinapsis, haciendo que las señales se transmitan de una a otra. Hay señales entre las capas mientras caminan desde la entrada hasta el resultado, siendo procesadas a lo largo de este camino (adaptado SAS, 2019).

Cuando se enfrentan a una solicitud o problema a resolver, las neuronas realizan cálculos matemáticos para decidir si hay suficiente información para ser enviada a la siguiente neurona. En resumen, leen todos los datos y deciden dónde están las relaciones más fuertes (adaptado SAS, 2019).

A medida que aumenta el número de capas ocultas dentro de una red neuronal, se forman redes neuronales profundas, las arquitecturas de aprendizaje profundo llevan las redes neuronales simples a otro nivel. Utilizando estas capas, los científicos de los datos pueden construir sus propias redes de aprendizaje profundo que permiten el aprendizaje de las máquinas, en las que la computadora puede ser entrenada para emular con precisión las tareas humanas, como reconocer el habla, identificar imágenes o hacer predicciones. Asimismo, la computadora puede aprender por sí misma a reconocer patrones en muchas capas de procesamiento (adaptado SAS, 2019).

De esta manera, tenemos en pocas palabras que los datos se insertan en una red neuronal a través de la capa de entrada, que se comunica con las capas ocultas, por lo que el procesamiento tiene lugar en estas capas a través de un sistema de conexiones ponderadas. Los nodos de las capas ocultas combinan los datos de la capa de entrada con un conjunto de coeficientes y asignan diferentes pesos a las entradas. Los resultados de estas aportaciones evaluadas se suman a continuación. La suma pasa por la función de activación de un nodo, que determina la medida en que una señal debe progresar en la red para afectar al resultado final. Finalmente, las capas ocultas se conectan a la capa de salida, donde se obtienen los resultados (adaptado SAS, 2019).

Las redes neuronales tienen la capacidad de identificar anomalías. En el futuro, podemos usarlos para ofrecer a los médicos una segunda opinión, por ejemplo, confirmar un diagnóstico de cáncer o decir cuál es el problema del paciente. Y seremos capaces de proporcionar estas segundas opiniones de forma más rápida y precisa (HERHOLD, L. A. apud adapted SAS, 2019).

Es posible, por ejemplo, tomar una imagen y cortarla en varios trozos pequeños que serán recibidos por la primera capa de la red neural. En la primera capa las neuronas son individuales, que luego pasan los datos a la segunda capa, que hará su trabajo, y así sucesivamente, hasta que las capas finales de neuronas produzcan los resultados (adaptado COPELAND, 2016).

Aún así, según Copeland (2016), los ARNs necesitan entrenamiento, la red necesita ver millones de imágenes, hasta que los pesos de cada información recibida por las neuronas estén calibrados con precisión, para poder responder correctamente casi siempre. Aquí es donde la red neuronal ha aprendido a reconocer las caras en las imágenes/fotografías de Facebook, por ejemplo. El reconocimiento de imágenes por máquinas entrenadas a través de un aprendizaje profundo en algunos escenarios tiene una tasa de acierto mayor que la de los humanos. Google AlphaGo también ha aprendido las reglas del juego y se ha entrenado para su combate calibrando su red neural, jugando contra sí mismo repetidamente.

### 3.4 PROCESAMIENTO DEL LENGUAJE NATURAL

El campo de estudios dentro de la inteligencia artificial, utilizado para comprender el lenguaje humano y estudiar la comunicación humana a través de métodos computacionales, se denomina Procesamiento del Lenguaje Natural (FINZI, 2019). Según Kleina (2018) este sector de la IA sobre la comprensión del habla humana tiene varias aplicaciones, en las que podemos citar los traductores, la generación de lenguaje de texto, el reconocimiento del habla y el procesamiento de la voz.

El propósito del área de Procesamiento del Lenguaje Natural es analizar el lenguaje natural, el utilizado por los seres humanos ya sea escrito o hablado (adaptado MANNING; SCHIITZE, 1999). Es el resultado de “varias disciplinas, entre ellas la informática y la lingüística computacional, que tratan de salvar la brecha entre la comunicación humana y la comprensión de la informática” (adaptado SAS, 2018).

En el caso de Sanches (2017) el uso del procesamiento del lenguaje natural está cada vez más presente, debido a la creación de interfaces más naturales para la introducción de datos informáticos, que se produce desde el habla de las personas que dan órdenes a la máquina, hasta la interpretación de los textos escritos por los humanos. Las áreas de investigación dentro del procesamiento del lenguaje natural tienen diferentes propósitos, pueden tratar audio, textos transcritos y otros datos relacionados con el habla.

Mientras que las computadoras utilizan un lenguaje formal para procesar la información, los humanos utilizan un lenguaje natural, por lo que el desafío de esta tecnología aquí es permitir que los sistemas digitales entiendan el lenguaje humano según los parámetros del lenguaje formal (FINZI, 2019).

Google utiliza el procesamiento del lenguaje natural para determinar el tema de una página web, además de ofrecer la funcionalidad de búsqueda por voz. Los asistentes virtuales van desde los teléfonos inteligentes hasta las soluciones de automatización del hogar, en los dispositivos móviles Siri es muy conocida en los sistemas operativos IOS, y también Google Assistant para los sistemas Android, que mediante comandos de voz abren aplicaciones, envían mensajes, son capaces de hablar con nosotros y generar la información que solicitamos en texto (FINZI, 2019).

La completa interacción de esta tecnología es posible junto con las otras áreas presentes en la inteligencia artificial, como el aprendizaje de las máquinas y el aprendizaje profundo. El proceso del lenguaje natural está avanzando aliado al creciente interés en la comunicación hombre-máquina, junto con la disponibilidad de datos de oferta, algoritmos mejorados y una computación más potente (adaptado SAS, 2018).

### 3.4.1 BIG DATA

Big data es un término para describir un gran volumen de datos, estructurados y no estructurados. El acceso y almacenamiento de grandes cantidades de información para su análisis ha sido posible durante mucho tiempo, pero el concepto de grandes datos cobró fuerza a principios del decenio de 2000 cuando el analista de la industria Doug Laney articuló la definición actual de grandes datos que incluye las tres V:

1. Volumen - recolectando datos de varias fuentes, incluyendo transacciones comerciales, dispositivos inteligentes (IO), videos, medios sociales y otros;
2. Velocidad - datos que pasan a una velocidad sin precedentes y deben ser procesados de manera oportuna; y
3. Variedad - varios formatos en los que se proporcionan datos, datos numéricos, textos, vídeos y audios, correos electrónicos, etc. (adaptado SAS, 2020).

La importancia de los grandes datos no sólo radica en la cantidad de datos que poseen, sino también en su utilidad, en lo que hay que hacer y en cómo hacerlos útiles en los análisis necesarios. Es posible recoger datos de cualquier fuente y analizarlos para encontrar respuestas que permitan una toma de decisiones inteligente (adaptado SAS, 2020).

Teniendo en cuenta la utilización en las redes de educación, los educadores con conocimientos basados en datos pueden tener repercusiones importantes en los sistemas escolares, los estudiantes y los programas de estudios. Con un gran análisis de datos, pueden identificar a los estudiantes en situación de riesgo, asegurar que los estudiantes están progresando de manera correcta y, por lo tanto, implementar mejores sistemas de evaluación y apoyo (SAS adaptado, 2020).

### 3.4.2 ALGORITMOS GENÉTICOS

Según Nanda y Pendharkar (2001), los algoritmos genéticos son técnicas de búsqueda paralela que comienzan con un conjunto de soluciones posibles y, mediante operaciones especiales (evaluación, selección, cruce y mutación), evolucionan progresivamente hacia soluciones más prometedoras.

Así como las redes neuronales surgieron inspiradas por el funcionamiento del cerebro, los algoritmos genéticos se inspiraron en la evolución, la selección natural y la genética (adaptado NUNEZ-LETAMENDIA, 2002). Estos algoritmos dependen básicamente de una función que evalúa la calidad de una determinada solución del problema, y esta función puede obtenerse incluso para problemas difíciles de resolver con técnicas convencionales (WUERGES; BORBA, 2010).

A mediados de la década de 1970 el funcionamiento básico de los algoritmos genéticos fue descrito por John Holland, y sus primeras aplicaciones aparecieron en el campo de la Ingeniería. En busca de soluciones óptimas, los algoritmos genéticos generan primero un conjunto de soluciones aleatorias al problema, y luego calculan la calidad de cada una de estas soluciones. Luego, a través de mecanismos de crianza, combinan las mejores soluciones para dar lugar a una nueva solución más adecuada que la inicial, y así se evalúan una y otra vez nuevos conjuntos de soluciones hasta que ya no se pueden mejorar (WUERGES; BORBA, 2010).

### 3.4.3 PROCESADORES CUÁNTICOS Y CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO DE LAS MÁQUINAS

Chagas (2019), afirma que, “en áreas como la inteligencia artificial, es necesario el uso de otros tipos de computadoras y arquitecturas”. Los ordenadores actuales tienen limitaciones en cuanto a la potencia o la velocidad de procesamiento suficiente para soportar la IA avanzada. Sin embargo, la promesa es que las computadoras cuánticas permitirán un rápido análisis e integración de enormes conjuntos de datos que mejorarán y transformarán la capacidad de aprendizaje de las máquinas y la inteligencia artificial (MATOS, 2018).

La ejecución y almacenamiento secuencial de la arquitectura de von Neumann en la que se basan los ordenadores modernos, distingue los elementos de procesamiento y almacenamiento de la información, es decir, tiene un procesador y una memoria distanciados por el bus de comunicaciones, que a pesar de ser muy efectivos en otras aplicaciones, se convierte en una limitación que restringe el rendimiento de sistemas como en el reconocimiento de imágenes o los algoritmos de procesamiento del habla (CHAGAS, 2019).

Para este tipo de aplicación, es más interesante tener una computadora con suficiente capacidad de procesamiento para hacer la correspondencia para identificar la forma (el principio común para resolver estos problemas). Entre las diferentes alternativas, los ordenadores cuánticos son los más prometedores, precisamente porque la computación cuántica difiere de la estructura de von Neumann por tener un enorme poder de procesamiento paralelo (CHAGAS, 2019).

Según Kleina (2019), la computación tradicional está compuesta de bits y también en forma binaria, es decir, en valores 0 o 1, para apagar y encender respectivamente, ya en el cuántico estas partículas pasan por estas dos fases y la superposición, existente en ambas formas al mismo tiempo, en la computación se llama Qubit o bit cuántico, que funciona con probabilidades. El procesamiento se beneficia con la capacidad multiplicada en relación con el bit común, los bits especiales son capaces de analizar muchos escenarios y hacer muchos cálculos al mismo tiempo.

Con una operación muy específica, para permitir la acción de la mecánica cuántica de los Qubits, los dispositivos deben estar en ambientes especiales, sin ruido exterior y a bajas temperaturas. Su utilidad es para resolver problemas y operaciones que los modelos convencionales no pueden o tardan en realizar, como cálculos más absurdos o el procesamiento de bases de datos muy grandes (KLEINA, 2019).

Por lo tanto, puede decirse que los ordenadores cuánticos deliberarán de manera concreta y efectiva los problemas resueltos por los ordenadores clásicos, además de ser aplicados donde no se había encontrado una solución efectiva en problemas como la criptografía y la inteligencia artificial, resolviendo completamente los problemas extremadamente complejos de la computación clásica. (CHAGAS, 2019).

Sin embargo, sigue siendo una tecnología muy costosa de instalar y mantener, con gastos de refrigeración, blindaje de las máquinas y el desarrollo de los componentes necesarios. Con esto, una solución más cercana a corto plazo es la computación híbrida, que es un sistema que utiliza tanto las ideas de los modelos tradicionales como las de los modelos cuánticos, dando más posibilidades de uso comercial y con toda la potencia de los cálculos y la capacidad de procesamiento (KLEINA, 2019).

### 3.5 LA IA EN LA EDUCACIÓN

La generación Alfa, formada por los nacidos después de 2010, es la generación más rodeada de tecnología en su proceso de crecimiento, y permanentemente impactada por ella. Para estos niños, la inteligencia artificial debe estar presente en todos los aspectos, como resultado de las investigaciones realizadas por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos de los Estados Unidos. Este estudio también mostró que la mayoría de los padres de los niños de la generación Alfa consideran al tutor de la IA como una herramienta que aumenta las expectativas de mejora y de aprendizaje más rápido para sus hijos (SOUZA, 2017).

La IA en la Educación se caracteriza por la tecnología de IA aplicada a la educación, y agrega dos grandes áreas: la Informática y las Ciencias del Aprendizaje - un área aún poco difundida en Brasil, que reúne diferentes campos del conocimiento, como la psicología, la ciencia cognitiva, la antropología, la lingüística y la neurociencia, para tener una visión más amplia, en diferentes perspectivas del proceso de enseñanza y aprendizaje (CIEB, 2019).

Turbot (2017) dice que “este “regalo” está transformando el mundo de la educación a un ritmo rápido. Con el uso cada vez mayor de tabletas y programas por parte de los niños en los planes de estudio nacionales de todo el mundo, la tecnología se está convirtiendo en una parte integral de las aulas, al igual que la tiza y el pizarrón”.

Mussa, Securato y Sánchez (2020) afirman que de todas las tecnologías que presenta la transformación digital, ciertamente la inteligencia artificial es la que más impacta en los modelos de aprendizaje. En la educación, la IA está estimulando la transformación de los resultados del aprendizaje, además de mejorar el comportamiento y la participación de los estudiantes, acelerando la innovación y la eficacia general en las escuelas y universidades.

Las escuelas y universidades que no invierten en inteligencia artificial para mejorar sus procesos de aprendizaje en pocos años se han vuelto obsoletas en cuanto al uso de la tecnología para implementar modelos de aprendizaje personalizables, en cualquier momento y que sean más modernos, fluidos e interactúen con el estudiante. (MUSSA; SECURATO; SANCHEZ, 2020).

Kurshan (2016), afirma en *The Future of Artificial Intelligence in Education*, revista Forbes, que “la inteligencia artificial puede desempeñar un papel en el creciente campo del análisis del aprendizaje, en la evaluación de la calidad de los materiales de los planes de estudio y en los mecanismos adaptativos de aprendizaje y recomendación”.

Una de las formas en que la inteligencia artificial ha dado frutos en la educación es con las denominadas plataformas adaptativas, que se denominan así al proponer vías de aprendizaje individualizadas, a través de los datos recogidos por la experiencia de cada usuario y sus conocimientos previos, analizar y proponer vías específicas a los usuarios (ROCHA, 2018).

Según Rocha (2018), el uso efectivo de las plataformas adaptativas se hace de forma integrada en el aula, ya que ofrecen una serie de informes que permiten al profesorado seguir la evolución del alumno y de la clase en su conjunto en los contenidos ya explorados, identificando si los alumnos se acercan o no a los objetivos de aprendizaje esperados, lo que permite planificar con mayor precisión las próximas experiencias de aprendizaje.

El informe *Intelligence Unleashed*, preparado por Pearson, muestra que los recursos de inteligencia artificial en la educación han avanzado a grandes pasos en todo el mundo, con más y más escuelas y universidades analizando sus herramientas y tecnologías para mejorar la enseñanza y el aprendizaje. Entre las tecnologías más extendidas están los sistemas de tutoría, el aprendizaje profundo y el uso de robots en las aulas (DINIZ, 2017).

Según Diniz (2017) “las máquinas inteligentes están transformando prácticamente todos los sectores para mejor, no hay razón para que la Educación se quede fuera de esta revolución”. Hay varios ejemplos de iniciativas que han tenido éxito en esta área en diferentes lugares.

En Altschool, California, los estudiantes tienen una plataforma personalizada con una especie de “lista de reproducción” (con textos, vídeos y ejercicios) creada a partir de las preferencias y deficiencias de cada estudiante. La Escuela Summit [...], está revolucionando la experiencia de aprendizaje a través de una plataforma inteligente donde cada estudiante aprende a su propio ritmo y de forma personalizada.

Sin embargo, en Brasil todavía tenemos pocas experiencias exitosas, generalmente en escuelas de alto nivel. Pero aquí, podemos citar un ejemplo de la red pública, donde la tecnología puede ser bastante transformadora. En un centro de educación infantil en Santa Catarina, pequeños robots interactúan con estudiantes de 4 a 7 años de edad, con el propósito de mejorar el desarrollo cognitivo y motor, además de estimular el razonamiento lógico (DINIZ, 2017).

De acuerdo con el informe Pearson - *Inteligencia desatada*. Un argumento a favor de la IA en la Educación - Luckin, et al., (2016) destaca que la inteligencia artificial todavía tiene mucho que añadir, además de que puede contribuir eficazmente a la Educación de varias maneras, y hace hincapié en la provisión de tutoría a tiempo completo a los estudiantes a través de tutores virtuales, plataformas personalizadas, que dan autonomía y condiciones para la evaluación del rendimiento y la planificación de acuerdo con las facilidades y dificultades, además de información cruzada y datos que ayudan al profesor en la supervisión.

Diniz (2017), complementa la afirmación de que la inteligencia artificial está transformando para mejor algunos sectores, como la salud, la industria y el sector financiero, y está avanzando con todo el potencial para ayudar a dar un increíble salto en la Educación en el país. “Tal vez en diez años podamos despejar nuestro atraso si decidimos usar la inteligencia artificial de manera estratégica y directiva, con el objetivo de aumentar significativamente el aprendizaje de nuestros hijos.

### 3.6 PROCESO DE APRENDIZAJE DE LA LECTURA EN LA EDUCACIÓN DE LA PRIMERA INFANCIA

Silva y Morino (2012), señalan que el conocimiento de las estructuras del sistema nervioso y sus funciones como la atención, la memoria, la emoción, la expresión, la motivación, el sueño, entre otras, puede ser fundamental para trabajar en múltiples áreas y no sólo la médica o psicológica. Por lo tanto, es un conocimiento importante para aquellos que desean y necesitan entender los modelos de aprendizaje.

En resumen, el procesamiento de la información se compone de la recepción, el análisis y la integración del conocimiento o el aprendizaje almacenado en la memoria (SILVA; MORINO, 2012). La inserción de los avances de las neurociencias en los procesos educativos ha dado lugar a nuevas estrategias de enseñanza y aprendizaje, en el desarrollo de acciones más dinámicas relacionadas con el aprendizaje, hay algunas formas de insertar innovaciones pedagógicas, como los juegos pedagógicos y didácticos y los métodos de asociación de información e imágenes (SOUSA; ALVES, 2017).

El funcionamiento del sistema nervioso central se produce a través de una intersección de factores en los que están imbuidos: la interacción, el entorno del individuo, los estímulos y la canalización de habilidades. Además, existe otra relación importante para este proceso, en la que podemos citar la emoción, que interfiere en el proceso de retención de la información, la motivación y la atención para la realización del aprendizaje, y la memoria cuando se asocia con el conocimiento previo (SALLA, 2012).

Según Gomes y Monteiro (2005), las interacciones sociales son un factor esencial para el desarrollo, de ahí la necesidad y el valor del papel de las interacciones en el aula cuando se enseña a leer y escribir, dando el apoyo necesario. En el caso de los niños, un medio importante para el desarrollo cultural es el juego, especialmente a la edad de seis o siete años, la edad en que comienza la lectura y la escritura.

No se puede enseñar a los niños a través de explicaciones artificiales, por memorización compulsiva y repetición solamente. Lo que un niño necesita es adquirir nuevos conceptos y palabras para dar sentido a lo que aprende. Y un concepto no es sólo la suma de ciertas conexiones asociativas formadas por la memoria, sino que tampoco es un simple hábito mental; es un complejo y genuino acto de pensamiento, un acto de generalización que implica atención deliberada, lógica, abstracción y la capacidad de comparar y diferenciar.

Estos procesos psicológicos no se adquieren por simple repetición o rutina pedagógica, sino por un largo esfuerzo mental por parte del niño, en interacción con los adultos y otros niños (VYGOTSKY apud GOMES; MONTEIRO, 2005).

De esta manera, el proceso de aprendizaje de la lectura y la escritura es la construcción y atribución de sentido a lo que se aprende, mediante usos funcionales del lenguaje que son relevantes, enfatizando la creación de contextos sociales que estimulan los espacios de posibilidades que se establecen a partir de las capacidades y competencias ya consolidadas por el niño, hacia aquellas que están en proceso de desarrollo efectivo, gracias a la mediación de otra más entendida, estimulando al niño a aprender interactivamente a usar, probar y manipular el lenguaje (GOMES; FILHO, 1997).

### 3.7 READ ALONG BY GOOGLE: UNA APLICACIÓN DE LECTURA DIVERTIDA

El director general de Google, Sundar Pichai (2020), destaca la importancia que la inteligencia artificial tendrá para la humanidad: “La inteligencia artificial es una de las cosas más profundas en las que estamos trabajando como humanidad. Va más allá del fuego o la electricidad”.

Google siempre ha invertido en el desarrollo de tecnologías aliadas a la inteligencia artificial en varios segmentos, y ahora está usando la IA para ayudar a los niños a mejorar sus habilidades de lectura. La empresa ha creado una aplicación que une el reconocimiento de voz y la gamificación para ayudarles en este proceso de aprendizaje (FREITAS, 2019).

Google.org ha concedido 50 millones de dólares y conocimientos técnicos a innovadores sin fines de lucro que utilizan la tecnología para llenar vacíos en la educación. Estas organizaciones han llegado a más de 30 millones de estudiantes y están mejorando el rendimiento de los estudiantes y la eficacia de los maestros. Se están asegurando de que la tecnología mejore la experiencia educativa de todos, independientemente de su ubicación o entorno de aprendizaje. Además, los avances en la tecnología del habla de las aplicaciones y la mejora de su IA, se cree que la aplicación tiene mucho espacio para hacer aún más (adaptado SHAH, 2019).

Las pruebas de la aplicación Android habilitada para la IA para ayudar a los niños a mejorar sus habilidades de lectura por parte de Google tuvieron lugar en la India en 2019, donde el 64% de los niños que utilizaron la aplicación mostraron una mejora en su capacidad de lectura (adaptado SHAH, 2019). La empresa espera que la aplicación se utilice para apoyar a los niños que se encuentran en esta etapa de la alfabetización, además de contribuir a los padres que no pueden seguir o enseñar a sus hijos (FREITAS, 2019).

La aplicación con el nombre de Read Along está disponible en Brasil para su descarga desde el 7 de mayo de 2020, “Con muchos estudiantes actualmente en casa debido al cierre de las escuelas, las familias de todo el mundo están buscando maneras de ayudar a los niños a aumentar sus habilidades de lectura. Para apoyar a las familias, hoy compartimos el acceso temprano a Google Read Along. Es una aplicación Android para niños de 5 años en adelante que les ayuda a aprender a leer, proporcionándoles retroalimentación verbal y visual mientras leen historias en voz alta. (adaptado HYDER, 2020). Según Freitas (2019), la aplicación “actúa como asistente de lectura para los niños. Están acompañados por una guía virtual que los corrige, si es necesario, o los felicita. La aplicación tiene varias historias y juegos donde pueden escribir palabras”.

Read Along utiliza la tecnología de reconocimiento de voz de Google para ayudar a desarrollar las habilidades de alfabetización, la aplicación fue lanzada por primera vez en la India, donde se llamó Cake, y ahora está disponible en más de 180 países y nueve idiomas, llegando a más niños y estudiantes de todo el mundo (adaptado HYDER, 2020).

La aplicación Read Along tiene una amiga de lectura llamada Diya, que ayuda a los niños a aprender y desarrollar sus habilidades de lectura de forma independiente. Mientras los niños leen en voz alta, Diya utiliza la tecnología de reconocimiento de texto y habla de Google para detectar si el niño tiene dificultades o está leyendo el pasaje con éxito. Diya interactúa dando retroalimentación positiva y estímulo a lo largo del camino de la alfabetización, tal como lo harían los padres o los maestros, además de que los niños pueden tocar a Diya en cualquier momento para recibir ayuda con la pronunciación de palabras o frases (adaptado HYDER, 2020).

También según el líder de la ingeniería de Google Hyder (2020), "Read Along mantiene a las mentes jóvenes involucradas con una colección de historias diversas e interesantes de todo el mundo, y los juegos se extienden a través de estas historias. Los niños pueden coleccionar estrellas e insignias a medida que aprenden, lo que les motiva a seguir jugando y leyendo. [...] Read Along personalizará la experiencia recomendando el nivel de dificultad adecuado de las historias y los juegos en función del rendimiento del nivel de lectura.

La aplicación también está diseñada teniendo en cuenta la seguridad y la privacidad de los usuarios, y una vez que la aplicación y las historias se descargan, Read Along funciona sin conexión, sin Wi-Fi ni datos, contribuyendo a un acceso supervisado a Internet. La aplicación es fácil de lanzar y no requiere de ingreso. Incluso los datos de voz son escaneados en tiempo real - por lo que funciona fuera de línea - y no se envían a ningún servidor de Google (adaptado HYDER, 2020).

#### 4. RESULTADOS

El presente tema se centra en la presentación y el análisis de las respuestas obtenidas a través de los formularios cumplimentados tras la solicitud y el seguimiento del uso de la aplicación Read Along por parte de los niños seleccionados, que son tres niños y dos niñas en el grupo de edad de 4 a 7 años, según la metodología propuesta.

Las sesiones tenían un tiempo mínimo de 10 minutos, orientado como un tiempo mínimo de uso diario por la aplicación, y variando hasta un máximo de 20 minutos dependiendo del ingenio del niño y el tiempo empleado para completar las actividades propuestas, en todas las sesiones los niños leían al menos un cuento y jugaban un juego.

Cada pregunta del formulario se presentará y explorará por separado, con los respectivos resultados y datos recopilados. Para conocer el grupo seleccionado para realizar la investigación en relación con la fase de aprendizaje y la capacidad de lectura, de manera que pudieran contribuir a las conclusiones y comparaciones adecuadas, el formulario preguntaba: ¿el niño ya tenía un buen desarrollo en la lectura? ¿Qué conocimiento tiene el niño del idioma, el alfabeto y la pronunciación? En cuanto a la pregunta, el autor entiende como posibles respuestas:

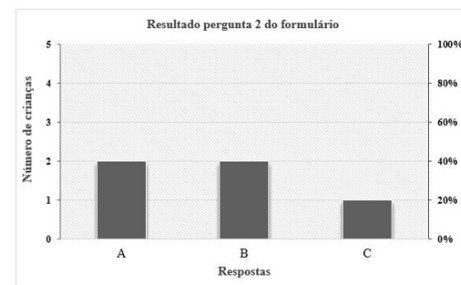
A) Un niño con bajo conocimiento lingüístico e intercambio de fonemas en la pronunciación. Hizo las lecturas repitiendo la IA.

B) Cuando era niño y mejoraba su conocimiento alfabético, usaba la ayuda de la IA para hacer algunas lecturas por repetición, y presentaba conocimientos lingüísticos y alfabéticos, y eficiencia en la pronunciación.

C) Un niño con buen desarrollo en la lectura y conocimiento lingüístico y silábico, hizo la lectura con facilidad en la pronunciación.

Condensando las respuestas de una manera gráfica que tenemos:

**Gráfico 1- Resultado pregunta 2 de la forma**



**Fuente:** Elaborado por el autor, 2020.

Como se muestra en el gráfico anterior, vemos que la mayoría de los perfiles de los niños tienen una introducción al conocimiento del lenguaje, con un 40% todavía en la fase introductoria y otro 40% en la fase de desarrollo de las pronunciaciones y cruces silábicos, donde en ambas situaciones la aplicación introducida marca una diferencia total al ayudar al niño a leer a través de la repetición, en la que el niño solicitaba la ayuda de la IA que leía y la escuchaba repetir, ayudando al niño a completar toda la historia correctamente. Sólo el 20% del grupo investigado hizo las lecturas de forma independiente, siendo corregidas unas cuantas veces en las pronunciaciones por la IA.

Continuando, para entender la reacción del niño cuando se le presenta la solicitud y sus funcionalidades, la tercera pregunta del formulario era: ¿Cuáles fueron las primeras reacciones del niño a la solicitud? Y entre las tres sesiones, ¿hubo cambios en esta reacción y/o comportamiento?

El autor interpreta como posibles respuestas a esta pregunta:

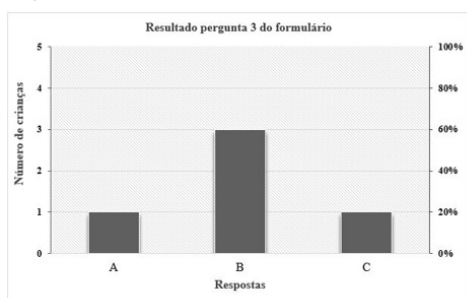
A) Reacción de la inseguridad. Hubo un cambio, al tener mayor familiaridad e ingenio.

B) Una reacción de sorpresa y excitación. Hubo más interacción y concentración durante las siguientes sesiones.

C) Reacción de ansiedad al completar rápidamente todo lo que la solicitud podía ofrecer. Hubo cambios en la atención y la concentración en las siguientes sesiones.

De los formularios obtuvimos las siguientes respuestas:

**Gráfico 2 - Pregunta de resultado 3 de la forma**



Fuente: Elaborado por el autor, 2020.

De esta pregunta podemos ahora concluir que el 60% de los niños tuvieron una buena reacción cuando se les presentó la aplicación, una sensación de sorpresa y excitación, y que se intensificaron en las dos sesiones siguientes, llegando a concentrarse a partir de la interacción. El 20% del grupo analizado presentó una inseguridad en el primer contacto, fue ganando ingenio en las sesiones siguientes, pero con un déficit de concentración, dispersándose más fácilmente, por otro lado el 20% a pesar de la primera reacción de ansiedad y desconcentración fue progresando en las sesiones siguientes, ganando concentración y atención en el desarrollo de lecturas y juegos.

En esta misma dirección, la cuarta pregunta, para entender y comparar la forma de incentivo que proporciona la aplicación con la IA con la convencional, era: ¿Había entusiasmo o diferencia de comportamiento en comparación con la forma convencional de incentivo y la enseñanza de la lectura?

Está vinculado como respuesta a esta pregunta:

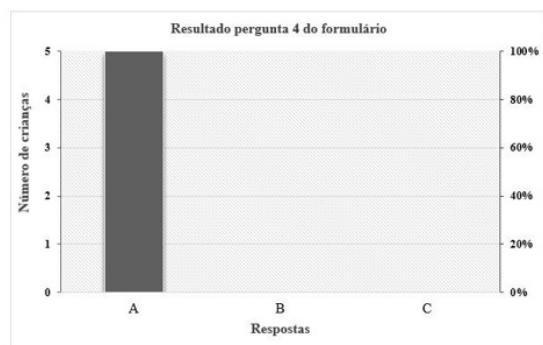
A) Sí, el niño se sintió más motivado, entusiasta y atento cuando leyó la aplicación.

B) No, el comportamiento era el mismo que el de la forma convencional de enseñanza.

C) Indiferente.

Analizando los formularios, obtenemos el siguiente resultado:

**Gráfico 3 - Resultado pregunta 4 de la forma**



Fuente: Elaborado por el autor, 2020.

En esta pregunta, obtuvimos resultados satisfactorios en relación con la comparación de la forma en que app fomenta y enseña/realza la lectura y las habilidades lingüísticas de la forma convencional a la que los niños están acostumbrados en el aula o en casa, el 100% de los niños estaban más entusiasmados y motivados, independientemente de la etapa de aprendizaje en la que se encuentre cada uno de ellos. También es importante destacar que el despertar del interés y la atención provino de una combinación de factores que se mencionaron en el formulario, como la interacción, la disposición de los colores y la logística de las ilustraciones que la aplicación proporciona a los usuarios.

Para continuar, a fin de cumplir con el progreso del desarrollo también se preguntó:

¿Hubo un desarrollo en el aprendizaje? ¿Y en la atención y la conducta? Por ser respuestas amplias, el autor entiende como respuestas posibles:

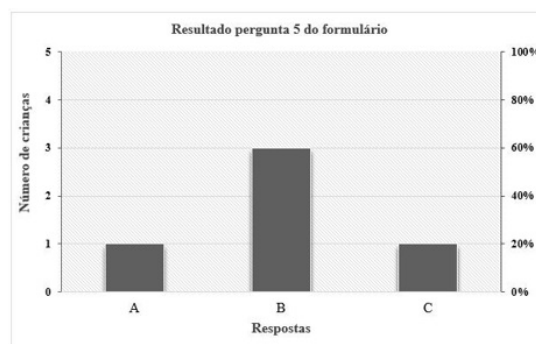
A) No se pudo observar un desarrollo en el aprendizaje y la atención.

B) Sí, hubo un avance en el desarrollo del niño y la autonomía en la lectura al utilizar la aplicación. La atención y la conducta se mantuvieron equilibradas o con una ganancia de atención en lo que se estaba leyendo.

C) No fue posible percibir un desarrollo en el aprendizaje, sin embargo, hubo un aumento significativo en la atención y la conducta.

Los resultados de las respuestas recogidas fueron

**Gráfico 4 - Pregunta de resultado 5 de la forma**



Fuente: Elaborado por el autor, 2020.

En cuanto al desarrollo del aprendizaje, apoyado por el hecho de que hubo pocas sesiones de contacto y estimulación en el uso de la aplicación, en el 20% del grupo investigado no fue posible consolidar un progreso en el aprendizaje, ni siquiera una atención completa.

En el 60% de los niños se observó un avance en la lectura y el juego, mostrando autonomía en el uso de la aplicación y el rendimiento y una mejora en la atención y la conducta. Y en el 20% se observó un aumento muy significativo de la atención, pero no fue posible percibir el desarrollo en el aprendizaje.

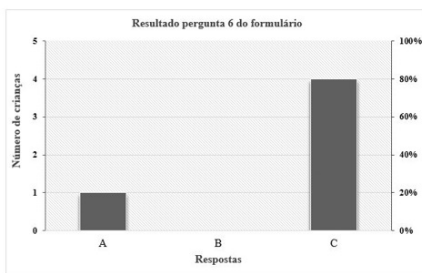
De acuerdo con los objetivos de la investigación, una pregunta importante para la correlación del comportamiento del niño que interactuaba con la inteligencia artificial y sus posibles ganancias era: En cuanto al comportamiento, ¿cómo era la interacción del niño con la inteligencia artificial presente en la aplicación? ¿Podría destacar una ganancia potencial para el niño por la interacción del niño con la aplicación?

Para esta pregunta, el autor considera las siguientes respuestas:

- A) Interacción indiferente sin destacar las posibles ganancias.
- B) Interacción negativa sin destacar las posibles ganancias.
- C) Interacción positiva con la ganancia de motivación e independencia.

A continuación, se muestra el esquema gráfico de los datos de la respuesta a la pregunta.

**Gráfico 5 - Resultado pregunta 6 del formulario**



Fuente: Elaborado por el autor, 2020.

Obtuvimos un resultado muy satisfactorio en esta cuestión sumamente importante, porque está directamente vinculada a las funciones que se relacionan con el uso de la inteligencia artificial en la aplicación, lo que demuestra la eficacia de su interacción. Donde el 80% de los niños tuvieron un comportamiento positivo frente a la comunicación de la aplicación, destacándose importantes logros, cuando la aplicación elogió al niño y lo premió con estrellas se mostró motivado, lo cual es de suma importancia para la fase de alfabetización del niño, además de la ganancia en la independencia de continuar el proceso de lectura haciendo las correcciones necesarias con la ayuda de la IA, sin necesidad de intervenir con la ayuda del tutor. Otro claro y destacado logro fue el desarrollo del lenguaje oral del niño.

Sin embargo, en el 20% se observó una interacción indiferente, donde el niño, a pesar de tener una socialización con la IA, en vista de los colores, el juego y la interacción de la aplicación, se observó una dispersión frente a lo que se le pedía apoyada por el tiempo de maduración que se estaba reduciendo.

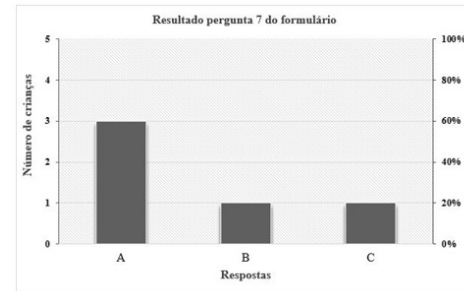
Avanzando en la forma, la séptima pregunta era: ¿Hubo una ganancia en la concentración del niño?

Como respuestas a esta pregunta, considere:

- A) Sí
- B) No
- C) Irrelevante

Presentando los siguientes resultados:

**Gráfico 6 - Resultado pregunta 7 del formulario**



Fuente: Elaborado por el autor, 2020.

En cuanto al aumento de la concentración, el 60% de los niños desarrollaron la capacidad de mantener la concentración en la lectura y el juego, este aumento se observó de una sesión a otra, especialmente en los momentos de interacción de la aplicación. En el 20% no fue posible identificar un aumento de la concentración, en el que fueron necesarias algunas intervenciones para que el niño se concentrara. Y esta ganancia fue indiferente en el otro 20%, que obtuvo una concentración equilibrada apoyada por el hecho de que es algo característico de la personalidad del niño analizado.

Avanzando en los datos analizados, para entender las reacciones del niño al ser corregido por la IA o al escucharla dando orientación, la octava pregunta del formulario fue: ¿Cuál es la reacción del niño al leer los cuentos intermediados por la ayuda y las correcciones de la inteligencia artificial en la pronunciación?

En cuanto a la pregunta, el autor entiende como posibles respuestas:

- A) Positivo
- B) Negativo
- C) Irrelevante

Después de interpretar los resultados, obtuvimos los siguientes datos de respuesta:

**Gráfico 7 - Resultado pregunta 8 del formulario**



Fuente: Elaborado por el autor, 2020.

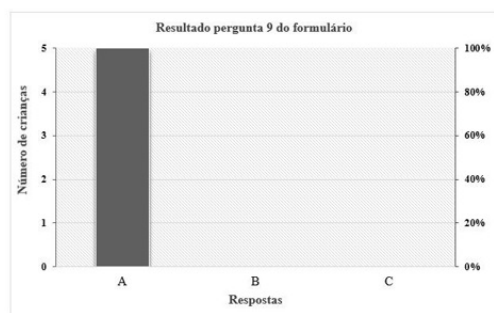
Las reacciones cuando se les puso a leer los cuentos en el 100% de los niños fueron positivas, en las que se pudo observar motivación, atención y agilidad para poder hacer lo propuesto y recibir elogios siempre que leyeron correctamente y muy bien, hubo plena aceptación de las correcciones, en algunos casos es notorio destacar la reacción de afecto con la aplicación, donde el niño se sintió capaz y realizado.

Siguiendo en sintonía con los propósitos de la investigación, la pregunta nueve de la forma aliada a la anterior, se hizo con el objetivo de comprender los efectos en el niño con la interacción: En cuanto a la interacción proporcionada por la aplicación, ¿probó el niño ser desafiante, independiente, motivado o acompañado?

Las respuestas se basaron en:

- A) Sí
- B) No
- C) irrelevante

**Gráfico 8 - Resultado pregunta 9 del formulario**



Fuente: Elaborado por el autor, 2020.

Como se demuestra en el gráfico anterior, la interacción proporcionada por la aplicación efectiva en el niño la motivación para ser controlado, corregido y recompensado, lo que lo hace más divertido y desafiante en el 100% de los casos. Una vez que esta comunicación genera independencia en el niño en dar continuidad a la solicitud de ayuda para el amigo virtual de la aplicación con total autonomía, motivo de eficacia para que las habilidades propuestas por la inteligencia artificial se desarrollen a favor del proceso de aprendizaje del niño.

Añadiendo las preguntas, la décima y última del formulario para añadir información además de las otras ya formuladas anteriormente, y que eran adecuadas e importantes para el resultado dentro de la investigación, fue: ¿Hay alguna otra observación que hacer, respecto a la contribución, beneficios o desventajas, que el uso de la aplicación proporcionó?

Podemos destacar algo que se mencionó en la mayoría de las respuestas, acerca de los premios otorgados por la aplicación en retribución a los esfuerzos y éxitos de los niños, esto fue calificado como un factor muy positivo, porque es a través de esta función que el niño se siente aún más motivado e interesado, lo cual es esencial para el desarrollo del niño, promoviendo los objetivos de aprendizaje del mismo.

Las bonificaciones que la solicitud otorga al niño, al alcanzar alguna meta es muy importante en el período de alfabetización, no como un sentido de intercambio (si el niño hace esto, gana aquello), sino como un reconocimiento de lo que se ha logrado. Después de todo, el niño necesita sentirse capaz y motivado, incluso frente a los errores, para persistir en lo que está haciendo.

En este contexto, además de frases motivacionales como: “leíste muy bien; fantástico; lo hiciste; etc.”, la solicitud concede la acumulación de estrellas y trofeos. Al recibirlas, el niño comprendió que con cada sesión iban aumentando y, en consecuencia, despertó el interés por seguir utilizando la aplicación.

Cabe mencionar que en el caso del grupo de edad de siete años, la solicitud tiene mucho que ver con el período de alfabetización. Tanto por tener la opción de historias largas (desarrollando así el lenguaje oral y la concentración del niño), como por los juegos, porque exploran varios temas como: reconocimiento alfabético aleatorio, formación de palabras, lectura, oralidad, razonamiento, agilidad, atención, etc.

Otro punto que debe observarse es la fuente de la aplicación, porque todo está en minúsculas (prensa), y para la edad de la alfabetización, el alfabeto se indica en recuadro alto (palo), por lo que los beneficios pueden ser aún más positivos.

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A partir de la información obtenida durante la metodología propuesta en este trabajo, en la que se observó el uso de la tecnología llamada inteligencia artificial interactuando con los niños como ayuda en el proceso de aprendizaje y mejora de la lectura a través de la aplicación Google Read Along, al observar los aspectos analizados podemos ver un desarrollo y ganancia conductual en la concentración y enfoque de la pregunta como objetivo propuesto.

De acuerdo con los resultados de este trabajo podemos condensar las preguntas y destacar algunos puntos principales, en los que se encontró la efectividad de los beneficios conductuales en el desarrollo del interés y la motivación del niño, la independencia en el proceso de aprendizaje, en la mayoría de los casos la ganancia de tiempo de atención, favoreciendo la parte cognitiva del niño y la mejora de la implicación.

Considerando los aspectos observados y descritos en los formularios de información recopilados, podemos concluir cuánto puede agregar la IA y contribuir al proceso de enseñanza del niño, ayudándolo no sólo en el desarrollo del proceso sistemático de alfabetización, que son procesos únicos y se dan de manera muy individualizada en cada uno de ellos, sino también en la contribución del interés, la disposición y el tiempo de concentración del niño, donde de manera divertida y lúdica la aplicación proporciona importantes estímulos al proceso de alfabetización, repercutiendo en los modelos de aprendizaje y estimulando la transformación beneficiosa de los resultados.

Teniendo en cuenta los avances e implementaciones de la inteligencia artificial, se espera que los productos obtenidos en esta investigación puedan hacer una valiosa contribución para transformar la calidad de la educación y áreas relacionadas, con la influencia de la IA en las personas y la sociedad, trayendo grandes cambios positivos en el crecimiento y aprendizaje de los niños.

La aplicación Read Along se utilizó en su sesgo en esta investigación, se encuentra todavía en etapas de actualización de desarrollo, y tiene varias funcionalidades que pueden ser continuadas con observaciones efectivas de sus aportes, y la contribución de la inteligencia artificial en este proceso en diferentes campos, además de las que ya se encuentran en este trabajo, se sugiere como un trabajo futuro.



## REFERENCIAS

- Araújo, S. A. Casamento de padrões em imagens digitais livre de segmentação e invariante sob transformações de similaridade. Tese Doutorado – Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2009. Barari, S. et al. Evaluating Covid-19 public health messaging in Italy: Self-reported compliance and growing mental health concerns. 2020. Disponível em: <<https://gking.harvard.edu/files/gking/files/covid-italy.pdf>> Acesso em: 10 jun 2020.
- Chagas, Edgar Thiago de Oliveira. Inteligência artificial, Computação Quântica, Robótica e Blockchain. Qual a realidade destas tecnologias em tempos atuais e futuros?. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 06, Vol. 09, pp. 72-95, junho de 2019.
- CIEB. Inteligência Artificial na Educação. Centro de Inovação para a Educação Brasileira, 2019. Notas Técnicas #16. Disponível em: <[https://cieb.net.br/wp-content/uploads/2019/11/CIEB\\_Nota\\_Tecnica16\\_nov\\_2019\\_digital.pdf](https://cieb.net.br/wp-content/uploads/2019/11/CIEB_Nota_Tecnica16_nov_2019_digital.pdf)> Acesso em: 05 mai 2020.
- Copeland, Michael. What's the Difference Between Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning?. Blog NVIDIA. Publicado em: 29 de jul de 2016. Disponível em: <<https://blogs.nvidia.com/blog/2016/07/29/whats-difference-artificial-intelligence-machine-learning-deep-learning-ai/>> Acesso em: 14 mai 2020.
- Diniz, Ana Maria. O futuro da inteligência artificial na Educação. Jornal Estadão. Publicado em: 02 de nov de 2017. Disponível em: <<https://educacao.estadao.com.br/blogs/ana-maria-diniz/o-futuro-da-inteligencia-artificial-na-educacao/>> Acesso em: 04 jun 2020.
- Fausett, L. Fundamentals of Neural Networks — Architectures, Algorithms, and Applications, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ 1994.
- Finzi, Eduardo. Linguagem natural: entenda o que é e a importância na era de chatbots. Blog CedroTech. Publicado em: 6 de maio de 2019. Disponível em: <<https://blog.cedrotech.com/linguagem-natural-entenda-o-que-e-a-importancia-na-era-de-chatbots/>> Acesso em: 02 jun 2020.
- Freitas, Tainá. Google lançará app que usa inteligência artificial para ajudar crianças a ler. Startse. Publicado em 11 de set de 2019. Disponível em: <<https://www.startse.com/noticia/nova-economia/google-bolo-ia-leitura>> Acesso em: 26 mar 2020.
- Furtado, Maria Inês Vasconcellos. Redes neurais artificiais: uma abordagem para sala de aula. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.
- Gomes, Maria de Fátima C.; FILHO, Luciano M. Faria. Memória e aprendizagem: uma perspectiva sócio-histórica. Presença Pedagógica. Belo Horizonte: Dimensão, v. 3, n. 15, maio/jun., 1997.
- Gomes, Maria de Fátima C.; MONTEIRO, Sara Mourão. A aprendizagem e o ensino da linguagem escrita: caderno do professor - Belo Horizonte: Ceale/FaE/UFMG, 2005. 84 p. - (Coleção Alfabetização e Letramento).
- Hyder, Zohair. Kids can learn at home with Read Along by Google. Blog Google. Publicado em 07 de mai de 2020. Disponível em: <<https://www.blog.google/outreach-initiatives/education/early-access-read-along/>> Acesso em: 08 mai 2020. Kleina, Nilton. A história da Inteligência Artificial [vídeo] TecMundo 2018. Publicado em: 23 de out de 2018. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/mercado/135413-historia-inteligencia-artificial-video.htm>> Acesso em: 26 fev 2020.
- Kleina, Nilton. Entenda: o que são os computadores quânticos – TecMundo. YouTube 2019. [Vídeo file]. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=1EpLuvmmQWc>> Acesso em: 21 mai 2020.
- Kurshan, Barbara. The Future of Artificial Intelligence in Education. Revista Forbes. 2016. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/barbarakurshan/2016/03/10/the-future-of-artificial-intelligence-in-education/#1dbd847b2e4d>> Acesso em: 09 jun 2020. Kurzweil, Raymond. The Age of Intelligent Machines. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1990.
- Luckin, Rose; HOLMES, Wayne; GRIFFITHS, Mark; FORCIER, Laurie B. Intelligence Unleashed. An argument for AI in Education. (2016). London: Pearson.
- Manning, Christopher D.; SCHITZ, Hinrich. Foundations of Statistical Natural Language Processing. [S.l.]: MIT Press, Cambridge, Massachusetts. 1999.
- Matos, David. Como a Computação Quântica vai revolucionar a Inteligência Artificial, Machine Learning e Big Data. Ciência e Dados. Publicado em 13 de março de 2018. Disponível em: <<http://www.cienciaedados.com/como-a-computacao-quantica-vai-revolucionar-a-inteligencia-artificial-machine-learning-e-big-data/>> Acesso em: 20 mai 2020.
- McCulloch, Warren S. PITTS, Walter. A Logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. Bulletin Of Mathematical Biophysics Volume 5, 1943. Meriat, Vitor. Conceitos introdutórios ao desenvolvimento e implementação de uma solução de Inteligência Artificial. Academia Microsoft 2020. Disponível em: <[https://info.microsoft.com/LA-AI-WBNR-FY20-12Dec-10-AcademiaMicrosoft-SRDEM\\_10339\\_LP02OnDemandRegistration-ForminBody.html](https://info.microsoft.com/LA-AI-WBNR-FY20-12Dec-10-AcademiaMicrosoft-SRDEM_10339_LP02OnDemandRegistration-ForminBody.html)> Acesso em: 25 mar 2020.
- Müller, B., & Reinhardt, J. Neural networks: an introduction. Berlin: SpringerVerlag. (1990).
- Mussa, A.; Securato, J. C.; Sanchez, M. Usando a inteligência artificial na educação | Case Saint Paul – Stefanini. YouTube. [Vídeo file]. Publicado em: 4 de jun de 2020. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=aeK5f92lYs&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?v=aeK5f92lYs&feature=emb_logo)> Acesso em: 03 mai 2020.



- Nanda, Sudhir. Pendharkar, Parag. Linear models for minimizing misclassification costs in bankruptcy prediction. *International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, 10 (3): 155. 2001.
- Navega, Sérgio. *Inteligência Artificial, Educação de Crianças e o Cérebro Humano*. Leopoldianum, Revista de Estudos de Comunicações of the University of Santos (Ano 25, No. 72, Fev. 2000, pp 87-102). Nilsson, Nils J. *The Quest for Artificial Intelligence: A History of Ideas and Achievements* (Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2010).
- Nunez-Letamendia, Laura. Trading systems designed by genetic algorithms. *Managerial Finance*, Patrinton, v. 28, n. 8, p. 87, 2002.
- Panch, T., Szolovits, P., Atun, R. Artificial intelligence, machine learning and health systems. *J. Glob. Health* 2018; 8: 020303.
- Peter Stone, Brooks, R., Brynjolfsson, E., et al. Artificial intelligence and life in 2030. One hundred year study on artificial intelligence: report of the 2015-2016 study panel. Stanford University. 2016.
- Pichai, Sundar. Grupos de interesse para um mundo coeso e sustentável. 50ª edição do Fórum Econômico Mundial em Davos, na Suíça. Jan de 2020.
- Rocha, Julci. O que a Inteligência Artificial pode fazer pela educação?. *Geekie*. Publicado em 20 de jul de 2018. Disponível em: <<https://www.geekie.com.br/blog/inteligencia-artificial-educacao/>> Acesso em: 02 abr 2020.
- Salla, Fernanda. *Neurociência: como ela ajuda a entender a aprendizagem*. Nova Escola, 2012. Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/217/neurociencia-aprendizagem>>. Acesso em: 16 jun 2020.
- Sanches, Matheus Ferraroni. *Processamento e entendimento de linguagem natural no gerenciamento de emergências para obtenção de consciência situacional*. Centro universitário Eurípides de Marília. Marília – SP (2017). SAS Institute Inc. 2018. *Natural Language Processing (NLP) - What it is and why it matters*. Publicado em: 14 de ago de 2018. Disponível em: <[https://www.sas.com/en\\_us/insights/analytics/what-is-natural-language-processing-nlp.html](https://www.sas.com/en_us/insights/analytics/what-is-natural-language-processing-nlp.html)> Acesso em: 04 jun 2020.
- SAS Institute Inc. 2019. *Computer Vision - What it is and why it matters*. Publicado em 25 de out de 2019. Disponível em: <[https://www.sas.com/en\\_us/insights/analytics/computer-vision.html](https://www.sas.com/en_us/insights/analytics/computer-vision.html)> Acesso em: 08 jun 2020.
- SAS Institute Inc. 2019. *Neural Networks - What they are and why they matter*. Publicado em: 4 de dez de 2019. Disponível em: <[https://www.sas.com/en\\_us/insights/analytics/neural-networks.html](https://www.sas.com/en_us/insights/analytics/neural-networks.html)> Acesso em: 13 mai 2020.
- SAS Institute Inc. 2020. *Big Data. What it is and why it matters*. Publicado em: 06 de fev de 2020. Disponível em: <[https://www.sas.com/en\\_us/insights/big-data/what-is-big-data.html](https://www.sas.com/en_us/insights/big-data/what-is-big-data.html)> Acesso em: 13 mai 2020.
- Shah, Avni. Tornando o aprendizado da leitura acessível e divertido com o Bolo. *Blog Google*. Set 2019. Disponível em: <<https://blog.google/technology/ai/bolo-literacy/>> Acesso em: 20 abr 2020
- Silva, Fiderisa da; MORINO, Carlos R. I. A importância das neurociências na formação de professores. *Momento*, Rio Grande. v. 21, n. 1, p. 29 - 50, 2012.
- Simon, Herbert A. *Artificial Intelligence: An Empirical Science*, *Artificial Intelligence* 77, no. 2 (1995):95–127.
- Sousa, Anne M. Oliveira Pereira de; ALVES, Ricardo R. Nogueira. A neurociência na formação dos educadores e sua contribuição no processo de aprendizagem. *Revista Psicopedagogia* Vol. 34 Ed. 105 São Paulo. 2017. Souza, Ludmilla. Pais acreditam que inteligência artificial pode ajudar no aprendizado dos filhos. *Agência Brasil*. São Paulo. Publicado em 05 de ago de 2017. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/pesquisa-e-inovacao/noticia/2017-08/pais-confiam-na-tecnologia-de-inteligencia-artificial-para>> Acesso em: 26 mar 2020.
- Turbot, Sébastien. *Inteligência artificial na educação: não ignore, faça bom uso!*. Porvir. Publicado em: 4 de set de 2017. Disponível em: <<https://porvir.org/inteligencia-artificial-na-educacao-nao-ignore-faca-bom-uso/>> Acesso em: 18 abr 2020.
- Wuerges, Artur Filipe Ewald. BORBA, José Alonso. *Redes neurais, lógica nebulosa e algoritmos genéticos: aplicações e possibilidades em finanças e contabilidade*. *JISTEM Journal of Information Systems and Technology Management*. 2010, vol.7, n.1, pp.163-182 Youtube. *The story of Nutan and her daughters* | Google Bolo. YouTube Google Índia, 2019. [Vídeo file]. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=YyIUsbV6L9I>> Acesso em: 20 abr 2020

# ESTUDIO COMPARATIVO DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A TRAVÉS DE LA FERMENTACIÓN EN BATCH USANDO SACCHAROMYCES

ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/07/2019 ACEPTADO: 15/09/2019 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/02/2020

## COMPARATIVE STUDY OF BIOETHANOL PRODUCTION THROUGH BATCH FERMENTATION USING SACCHAROMYCES

<sup>1</sup> Adolfo León Agatón<sup>2</sup> Jennifer Yuliet Balcazar Alarcón

Como citar este artículo: Leon, A; Balcazar, J, (2020) Estudio comparativo de producción de bioetanol a través de la fermentación en batch usando saccharomyces, revista científica Dynamikos 1 (1).  
Recuperado de: <https://teinco.edu.co/revistas-2-2/>

### RESUMEN

Este artículo de investigación plantea un análisis comparativo entre tres alternativas para la producción de Bioetanol mediante un sistema diseñado para la fermentación alcohólica en Batch con la levadura de cerveza (*Saccharomyces Cerevisiae*) frente a la uva común (*Vitis vinífera*) (Hurtado Rodríguez & Jiménez Sabi, 2018), la cáscara de mango (*mangifera indica*) (Marín Carvajal, 2018) y la biomasa hidrolizada de la planta Lirio Acuático o buchón de agua (*Eichhornia Crassipes*) (Jimenez Fonseca, 2018); a su vez estas fueron sometidas a distintos procesos en los laboratorios de la facultad de ingeniería de la Fundación Universitaria Los Libertadores, donde se utilizaron diferentes equipos y herramientas para el control de la aireación, pH, temperatura, cantidad de glucosa y la concentración de producto. Luego del análisis estructural se identificó cuál de los tres es más efectivo en la obtención del Bioetanol teniendo en cuenta como preámbulo los resultados obtenidos de las investigaciones realizadas.

**PALABRAS CLAVE:** *Saccharomyce Cerevisiae*, *Vitis vinífera* uva común, *mangifera indica* (la cáscara de mango), *Eichhornia Crassipes* (buchón de agua), sistema de fermentación.

### ABSTRACT

This research article proposes a comparative analysis between three alternatives for the production of bioethanol by means of a system designed for the alcoholic fermentation in Batch with brewer yeast *Saccharomyces Cerevisiae* versus common grape (*Vitis vinífera*) (*Eichhornia Crassipes*) (Jimenez Fonseca, 2018); in turn these were subjected to different processes in the laboratories of the engineering faculty of the Fundación Universitaria Los Libertadores, where different equipment and tools were used to control aeration, pH, temperature, glucose quantity and product concentration. After the structural analysis it was identified which of the three is more effective.

**KEYWORDS:** *Saccharomyce Cerevisiae*, *Vitis common grape vine*, *mangifera indica* (mango peel) *Eichhornia Crassipes* (water buchón), fermentation system.

1 Profesor de la Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria los Libertadores (FULL), Bogotá D.C., Colombia, [aleona@libertadores.edu.co](mailto:aleona@libertadores.edu.co)

2 Estudiante de la Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria los Libertadores (FULL), Bogotá D.C., Colombia, [jybalcazara@libertadores.edu.co](mailto:jybalcazara@libertadores.edu.co).

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el propósito de contribuir en la preservación y el cuidado del medio ambiente se han buscado alternativas para reducir la dependencia de los combustibles fósiles, y como consecuencia de dicha necesidad se han transformado productos agrícolas o materiales orgánicos convirtiéndolos en Biocombustible; del cual sobresale “el etanol” como el más eficaz para disminuir el nivel de contaminación por emisiones de gases que provocan el efecto invernadero. El alcohol etílico o etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en la materia orgánica de las plantas, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar, sorgo o biomasa. Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa (Orozco & Martínez, 2018). Se considera que el etanol es un combustible de alto desempeño en los motores de combustión interna, esto se debe a su oxigenación en la gasolina que mejora el octanaje en ellas brindándole mayor rendimiento, la gasolina con el etanol (Gasohol oalconafta) y el etanol puro en los motores a diferencia de la gasolina pura logra producir menos monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SOx), hidrocarburos y otros compuestos contaminantes (Trumper & Cabanillas, s.f.).

Como referencia inicial se le acredita a Henry Ford su esfuerzo por tratar de adaptar el etanol como combustible en el diseño de su primer auto modelo T en 1908. Años más tardes con la crisis del petróleo se estableció una mezcla de gasolina y etanol (Gasohol oalconafta), la cual demostró que el biocombustible era otra alternativa como fuente de energía renovable al alza del petróleo y así mismo al agotamiento de los recursos no renovables. Brasil fue uno de los países más afectados con el petróleo en 1975, por eso desarrolló el proyecto proalcohol, cuya finalidad era la sustitución total de los combustibles de origen fósil por medio del etanol proveniente de la caña de azúcar (CGEE, 2008). Actualmente Brasil es uno de los países que más produce bioetanol.

Debido a los grandes beneficios que conlleva la utilización del etanol en los campos económico, social, ambiental y político otros países han implementado esta alternativa proveniente de diferentes materias primas, como Estados Unidos que lo produce a partir del maíz; Rusia, centro y norte de Europa, de la remolacha y en Colombia de la caña de azúcar y la yuca (Anaya Ortega & Jimenez Galván, 2014). Es importante aclarar que existen otras alternativas fuera de las anteriores para la obtención de bioetanol, el cual se evidencian en este artículo.

Con la finalidad de conservar la producción de bioetanol a futuro es necesario ampliar las opciones de materias primas y al mismo tiempo aprovechar al máximo los residuos fermentables. Por tal motivo, en este artículo se expone a continuación tres posibilidades que ayudarán a la obtención del bioetanol: la uva común (*Vitis vinífera*), la cáscara de mango (*mangifera indica*) y la biomasa hidrolizada de la planta Lirio Acuático o buchón de agua (*Eichhornia Crassipes*).

## 2. MÉTODO

### 2.1. Estrategias metodológicas

#### Fermentación:

Es un proceso metabólico de las levaduras y de varias bacterias que transforman compuestos químicos orgánicos como los azúcares, en otras sustancias orgánicas más simples como etanol, ácido láctico y ácido butírico (Puerta Quintero).

#### Hidrólisis ácida:

Es el proceso mediante el cual se transforma los polisacáridos de la biomasa lignocelulosa en monómeros con ayuda de catalizadores como ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y ácido clorhídrico (HCl) de este modo puede resultar una mejora en la obtención de los azúcares fermentables (Morales de la Rosa, 2015).

#### Hidrólisis alcalina:

Es el proceso capaz de separar tanto la hemicelulosa como la lignina con ayuda de reactivos como hidróxido de sodio (NaOH), amoníaco ( $NH_3$ ), Óxido de calcio (CaO) e hidróxido de calcio ( $Ca(OH)_2$ ) sin generar daños a los demás componentes. Este proceso no requiere de temperaturas altas, pero sí de tiempo de prolongación para reaccionar (Morales de la Rosa, 2015). De este modo hace más accesible las enzimas.

### 2.1.2. Población y muestra

**Ilustración 1. Comparación de los materiales entre materiales de la uva común (*Vitis vinífera*) (Hurtado Rodríguez & Jiménez Sabi, 2018), cáscara de Mango (*Mangifera indica* L) (Marín Carvajal, 2018), la biomasa hidrolizada de la *Eichhornia Crassipes* o lirio acuático (Jimenez Fonseca, 2018).**

| LA UVA COMÚN ( <i>VITIS VINÍFERA</i> )     | EL MANGO ( <i>MANGIFERA INDICA</i> L) | LA EICHHORNIA CRASSIPES                   |
|--------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| • 2 sistema piloto de fermentación.        | • 2 sistema piloto de fermentación.   | • 2 sistema piloto de fermentación.       |
| • <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> .        | • <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> .   | • <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> .       |
| • Uva Isabelina ( <i>Vitis Vinífera</i> ). | • Cáscara de mango seca y triturada.  | • <i>Eichhornia Crassipes</i> .           |
| • Balanza de precisión.                    | • Balanza de precisión.               | • 1 Balanza de precisión.                 |
| • Alcohómetro de Inmersión.                | • Alcohómetro de Inmersión.           | • 1 Alcohómetro de Inmersión.             |
| • Glucómetro.                              | • Glucómetro.                         | • Glucómetro.                             |
| • Tiras de Glucómetro.                     | • Tiras de Glucómetro.                | • Tiras de Glucómetro.                    |
| • Tiras de pH.                             | • Tiras de pH.                        | • Potenciómetro.                          |
| • 2 barras de agitación 51.16mm.           | • 2 barras de agitación 51.16mm.      | • EPP.                                    |
| • 2 probetas de 250 ml.                    | • 2 probetas de 1000 ml.              | • Ph = metro.                             |
| • 3 frascos de 100ml.                      | • 1 pipeta de 25ml.                   | • Filtro.                                 |
| • Potenciómetro.                           | • Potenciómetro.                      | • 1 Motor de pecera.                      |
| • EPP.                                     | • EPP.                                | • 2 Stirrer (barra de agitación) 51.16mm. |
| • Licuadora.                               | • Molinillo de Café/Triturador.       | • 2 Probetas de 250ml.                    |
|                                            | • Horno microondas.                   | • Frascos para muestreo de 100ml.         |
|                                            | • Sistema de destilación casero.      | • Horno de crisol.                        |
|                                            | • Matraz aforado de 500 ml.           | • Molino tradicional.                     |



Fuente: Elaborado por el autor, 2020.

### La uva común (*Vitis vinífera*):

Se cultiva en clima cálido o templado, es muy difundida en Colombia y en países de la región andina; su origen probable es de Asia occidental. Es un fruto muy jugoso, que puede presentarse como uva de color verde o morado. Sus azúcares fermentables pueden ser metabolizados por la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) siendo esta usual en los procesos de fabricación de bebidas alcohólicas como el aguardiente, los llamados licores, y en la fortificación alcohólica de vino; además para la producción de biocombustibles tales como el bioetanol y biogás (Mojica Gómez & Pérez Mora, 2019) (Suárez Moreno, 2003).

### El Mango (*Mangifera indica* L):

El mango pertenece a la familia Anacardiácea en la especie (*Mangifera indica* L). Es originario del Noroeste de la India, de la Región Indo-Birmanica y las montañas Chittagong en Bangladesh (Gutiérrez, 2009). Esta fruta es muy conocida debido a su particular sabor, aroma y nutrientes como ácidos, ácidos grasos, proteínas, aminoácidos, azúcares, etc. El mango está compuesto por cuarto parte: semilla, pulpa y cascara (Correa M). Actualmente en muchos lugares a nivel mundial se industrializa el mango como materia prima para generar otros productos, pero sus residuos como la cascara han sido un gran inconveniente.

### La cascara del mango:

Debido al alto contenido de la cascara de mango de polifenoles, carotenoides, enzimas, vitamina E y vitamina C, que tienen propiedades funcionales y antioxidantes predominantes, además de ser una fuente de fibra dietética, celulosa, hemicelulosa, lípidos, proteínas, enzimas y pectina; ha sido considerada como parte de la materia prima para la producción de otros productos como el biogás (Guadalupe Morales, y otros).

### La *Eichhornia Crassipes* o lirio acuático:

Es una planta libre flotadora miembro de la familia de las Pontederiaceae, sus medidas pueden variar entre 50 cm a 1 metro de altura y su longitud puede llegar a ser de hasta 30 cm; este arbusto ocupa un lugar sobresaliente entre los ecosistemas de hidrófitas de agua dulce de las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Debido a su rápido crecimiento y reproducción es considerada como una maleza ya que altera los hábitats florales y acuáticos generando inconvenientes fluviales, además de impedir el ingreso de luz al fondo de los ecosistemas acuáticos (Miranda & Lot Helgueras, 1999).

### *Saccharomyces Cerevisiae*:

Es una levadura heterótrofa que obtiene la energía a partir de la glucosa logrando una alta capacidad de fermentación y hace parte del proceso de la producción del alcohol (Suárez Machín, 2016). Esta levadura puede fermentar la glucosa a etanol, se produce de diferentes maneras en las tres técnicas de cultivo: discontinuo (bach), semicontinuo (fedbatch) y continuo (chemostat) (De Martín Barry, 2005).

### Levadura:

Todas las levaduras son hongos unicelulares que metabolizan azúcares como la glucosa, fructosa, y manosa, pero algunas son capaces de hacerlo en condiciones anaeróbicas, con la producción de alcohol y anhídrido carbónico, en el proceso conocido como fermentación (De Martín Barry, 2005).

### 2.1.3. INSTRUMENTOS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

Tomando como preámbulo las tres alternativas estudiadas para la obtención del bioetanol mediante el sistema piloto de fermentación desarrollado por Cuchimaque en el 2018 en la Fundación universitaria Los Libertadores, se representa los siguientes diagramas de procesos realizados en cada escala de investigación, con el fin de hacer su respectiva comparación.

**Ilustración 2. Proceso de la uva común (*Vitis vinífera*) para la obtención (Hurtado Rodríguez & Jiménez Sabi, 2018).**



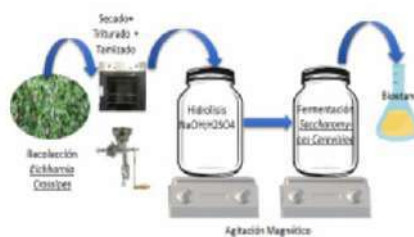
Fuente. Completamente generada por el autor, del año 2020.

**Ilustración 3. Proceso de la cáscara Mango (*Mangifera indica* L) para la obtención del Bioetanol (Marín Carvajal, 2018).**



Fuente. Completamente generada por el autor, del año 2020.

**Ilustración 4. Proceso para la obtención del bioetanol a partir de la biomasa hidrolizada de la *Eichhornia Crassipes* o lirio acuático (Jimenez Fonseca, 2018).**



Fuente. Completamente generada por el autor, del año 2020.

### 2.4.1 PROCEDIMIENTO

Comparativo del pretratamiento entre la uva (*Vitis vinífera*), el mango (*Mangifera indica* L) y la *Eichhornia crassipes* o lirio acuático.

Para esta fase del proceso el mango y la *Eichhornia Crassipes* fueron sometidos a secado y posteriormente a triturados a diferencia de la uva que solo fue licuada para iniciar la siguiente fase.

**Ilustración 5. Secado y triturado de la cáscara de mango**

Fuente: Tomada literalmente de la tesis de Tatiana Andrea Marín Carvajal, del año 2018.

**Ilustración 6. Secado y triturado de la cáscara de mango**

Fuente: Tomada literalmente de la tesis de Andrés Leonardo Jiménez Fonseca, del año 2018.

Comparación del proceso de hidrólisis entre la uva (*Vitis vinífera*), el mango (*Mangifera indica* L) y la *Eichhornia crassipes* o lirio acuático.

Debido a que la “uva (*Vitis Vinífera*)” (Hurtado Rodríguez & Jiménez Sabi, 2018) tiene un porcentaje alto en azúcar no necesita de una reacción química que requiera de otras sustancias, por lo tanto solo fue sometida a licuado convencional como se había mencionado anteriormente y a proceso físico de lisis en el biorreactor #1 a temperatura y agitación constante de 30°C y 120 RPM durante una hora, a diferencia de “la cáscara del mango (*Mangifera indica* L)” (Marín Carvajal, 2018) que fue disuelta con agua destilada para el proceso de hidrólisis alcalina, en el cual se hizo reaccionar con soda cáustica (NaOH) a una temperatura de 50°C durante 90 minutos con agitación constante de 125 RPM en el biorreactor #1. El mismo procedimiento se realizó con la muestra de “*Eichhornia Crassipes*” (Jimenez Fonseca, 2018) pero a temperatura ambiente de 22.9 °C y agitación de 150 RPM y antes de agregarle hidrólisis ácida se lava el mosto con agua de grifo para bajar el PH. Este proceso de hidrólisis alcalina se realiza con el fin de hacer más accesible las enzimas eliminando compuestos inhibidores de la fermentación y removiendo la lignina.

Al Finalizar la hidrólisis alcalina con la muestra o mosto de cáscara de mango, se realiza la hidrólisis ácida de disolución de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), preparado previamente en una relación con la cantidad de la muestra o mosto. Se hace reaccionar a una temperatura 50 °C, en constante agitación a 200 RPM durante 24 horas, logrando de esta manera neutralizar el PH. Para la *Eichhornia Crassipes* se realizó el mismo proceso, pero a temperatura ambiente y 250 RPM de agitación durante un tiempo de 6 horas. Esta fase del proceso se inicia en el biorreactor # 1.

**Ilustración 7. Sistema piloto de fermentación Bach**

Fuente: Adaptado de Autor a partir del Sistema desarrollado por Cuchimaque en la Fundación Universitaria Los Libertadores, 2018.

El proceso de hidrólisis se hace con el objetivo de liberar los azúcares que se pueden fermentar para ser metabolizados por levaduras en este caso la *Saccharomyces cerevisiae*.

Comparativo entre la uva (*Vitis vinífera*), el mango (*Mangifera indica* L) y la *Eichhornia crassipes* o lirio acuático a partir del proceso de fermentación.

Después del proceso de hidrólisis se inicia la fermentación Bach, en el cual para cada estudio realizado se agregaron 7 gr de inóculo de la levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*) en el biorreactor # 2. Este sistema de fermentación inicia cuando el biorreactor # 1 transporta el hidrolizado hacia el biorreactor #2, en el cual contiene la levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*). Posteriormente se tomaron muestras para realizar las mediciones de glucosa, % de alcohol a una temperatura y agitación constante.

**Ilustración 8. Proceso de fermentación alcohólica de la uva (*Vitis Vinífera*)**

Fuente: Tomada literalmente de la tesis de Lucy Jullieth Hurtado Rodríguez, Luis Antonio Jiménez Sabi en la Fundación Universitaria Los Libertadores, 2018.

**Ilustración 9. Proceso de fermentación alcohólica de la cáscara Mango (*Mangifera indica* L)**



Fuente: Tomada literalmente de la tesis de Tatiana Andrea Marín Carvajal en la Fundación Universitaria Los Libertadores, 2018.

**Ilustración 10. Proceso de fermentación alcohólica de la de la *Eichhornia Crassipes* o lirio acuático**



Fuente: Tomada literalmente de la tesis de Andrés Leonardo Jiménez Fonseca en la Fundación Universitaria Los Libertadores, 2018.

### 3. RESULTADOS

**Tabla 1:**  
Medición de la glucosa y alcohol de la uva (*Vitis Vinífera*), la cáscara Mango (*Mangifera indica* L), la *Eichhornia Crassipes* o lirio acuático

| TIEMPO (HORAS) | UVA             |           | MANGO           |           | AICHHORNIA CRASSEPE |           |
|----------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|---------------------|-----------|
|                | GLUCOSA (mg/dl) | ALCOHOL % | GLUCOSA (mg/dl) | ALCOHOL % | GLUCOSA (mg/dl)     | ALCOHOL % |
| 0              | 320             | 0         | 198,8           | 0         | 125                 | 0         |
| 1              | -               | -         | -               | 1         | 36,2                | 1         |
| 2              | 282             | 1,8       | 159,6           | 2,1       | -                   | -         |
| 5              | 244             | 3,6       | 98              | 4,2       | -                   | -         |
| 6              | 225             | 4,6       | 77              | 4,9       | E-2                 | 1         |
| 7              | 189             | 5,4       | 60,2            | 5,4       | E-2                 | 1         |
| 8              | 164             | 6,3       | 21              | 5,32      | E-2                 | 1         |

Fuente. Completamente generada por el autor, 2020.

En la tabla anterior se puede evidencia los resultados de las mediciones realizadas para cada alternativa, en la cual se visualiza que entre más tiempo (hora) la glucosa (mg/dl) disminuye y en relación a ella el % de alcohol aumenta. Para la “*Eichhornia Crassipes*” (Jimenez Fonseca, 2018) el % de alcohol después de 6 horas se mantiene en (1), y de las tres alternativas “la uva (*Vitis Vinífera*)”, (Hurtado Rodríguez & Jiménez Sabi, 2018) es la que muestra mayor concentrado, es decir que a diferencia de las otras esta sobresale en el nivel de % de alcohol.

### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

\* De acuerdo al proceso, “la uva (*Vitis Vinífera*)” (Hurtado Rodríguez & Jiménez Sabi, 2018) resulta ser la más eficiente para la obtención del bioetanol, ya que a diferencias de “la cascara de mango (*Mangifera indica* L)” (Marín Carvajal, 2018) y “*Eichhornia Crassipes*” (Jimenez Fonseca, 2018), la uva no requiere de otras sustancias químicas para liberar sus azúcares y eliminar compuestos inhibidores que no permitan la fermentación con la levadura *Saccharomyces Cerevisiae*.

\* A medida que aumenta las horas la glucosa va disminuyendo en las tres alternativas que se visualizan en la tabla anterior, pero sin embargo desde el inicio del proceso “la uva (*Vitis Vinífera*)” (Hurtado Rodríguez & Jiménez Sabi, 2018) demuestra tener más glucosa y al finalizar es la que obtiene mayor % de ETANOL a diferencia de las demás.

\* El sistema desarrollado por Cuchimaque en el 2018 en la Fundación Universitaria Los Libertadores fue óptima para cada uno de los estudios realizados en los laboratorios, ya que cumplió con los objetivos propuesto en el desarrollo de las investigaciones.

\* Respecto a la viabilidad en la obtención de la materia prima para la producción de bioetanol, “la cascara de mango (*Mangifera indica* L)” (Marín Carvajal, 2018) y “*Eichhornia Crassipes*” (Jimenez Fonseca, 2018) son las más adecuadas, ya que por un lado tenemos un desecho orgánico que sale en cantidades debido a que el mango es una fruta muy consumida en diferentes formas a nivel nacional. Por lo tanto, su adquisición para la elaboración del bioetanol no tendría un mayor costo si no un aporte positivo para el medio ambiente. Por otro lado, tenemos la *Eichhornia Crassipes* que es una planta flotadora, conocida por ser una maleza para los ecosistemas acuáticos debido a su rápido crecimiento y reproducción como se mencionó anteriormente en su definición, por ende, obtenerla al igual que la cascara de mango no generaría un costo alto si no una ayuda para el medio ambiente.



## REFERENCIAS



- Anaya Ortega, J. E., & Jimenez Galván, I. (2014). Elementos de sostenibilidad para la producción y uso del etanol como combustible. Cartagena de India: Universidad Tecnológica de Bolívar.
- CGEE, B. (2008). Biotanol de Caña de Azúcar Energía para el Desarrollo Sostenible. Río de Janeiro: BNDES.
- Correa M, C. A. (s.f.). Riqueza química del mango. Revista Universidad EAFIT, 83. Cuchimaque Bolívar, Y. A. (2018). Diseño y optimización de un sistema piloto de fermentación de Batch para la producción de Bioetanol.
- De Martín Barry, A. M. (2005). Control del metabolismo de *Saccharomyces cerevisiae* en la síntesis de clutation. Granada: Universidad de Granada.
- Guadalupe Morales, M., Fernández Flores, O., Pérez Martínez, J., Medina Rendon, A., Virgen Navarro, L., García Fajardo, J., & Arriola Guevara, E. (s.f.). Nuevos productos a partir de residuos de mango. Obtenido de Ciatej.mx: <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/>
- Gutiérrez, S. E. (2009). Obtención de biotanol a partir del mango criollo del Istmo de Tehuantepec. Santo Domingo: Universidad del Istmo.
- Hurtado Rodríguez, L. J., & Jiménez Sabi, A. (2018). Proceso de fermentación alcohólica a partir de la uva común (*Vitis* Proceso de producción de bioetanol, a partir de la biomasa hidrolizada de la *Eichhornia Crassipes* con la levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*). Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores.
- Jimenez Fonseca, A. L. (2018). Proceso de producción de bioetanol, a partir de la biomasa hidrolizada de la *Eichhornia Crassipes* con la levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*). Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores.
- Marín Carvajal, T. A. (2018). Producción de biotanol a través de la fermentación en batch de la cáscara de mango (*Mangifera indica*) usando como inóculo la *Saccharomyces cerevisiae*. Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores.
- Miranda, M. G., & Lot Helgueras, A. (1999). El lirio acuático, ¿una planta nativa de México? Cultura Científica, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mojica Gómez, J., & Pérez Mora, W. (2019). Aprovechamiento de residuos agroindustriales de la industria vinícola del Valle de Sábica. Bogotá, D.C.: Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA.
- Morales de la Rosa, S. (2015). Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Orozco, P., & Martínez, K. (2018). Aplicaciones de los carbohidratos en el ambiente. Puerta Quintero, G. I. (s.f.). Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. Avances técnicos cenicafé, 12.
- Suárez Machín, C. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. ResearchGate.
- Suárez Moreno, D. X. (2003). Guía de procesos para la elaboración de néctares, mermelada, uvas pasas y vinos. Bogotá: CAB.

# EXTRACCIÓN DE ÁCIDO ANACÁRDICO Y CARDANOL A PARTIR DE ACEITE DE CASCARA DE NUEZ DE MARAÑÓN

(*Anacardium occidentale L.*)

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/07/2019 ACEPTADO: 15/09/2019 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/02/2020

<sup>1</sup> Jorge Alberto Ducuara Hernández

<sup>2</sup> Alvaro Angel Arrieta Almario

Como citar este artículo: Ducuara, J; Arrieta, A, (2020) Extracción de ácido anacárdico y cardanol a partir de aceite de cascara de nuez de marañón, revista científica Dynamikos 1 (1). Recuperado de: <https://teinco.edu.co/revistas-2-2/>

## RESUMEN

La ciencia y tecnología junto a las políticas públicas gubernamentales, se están proyectando las investigaciones a la invención y descubrimiento de nuevos materiales que sean renovables y degradables, sobretodo que en algunos sectores económicos puedan reemplazarse los polímeros derivados del petróleo; por lo cual este estudio tiene como objetivo la extracción de ácido anacárdico y cardanol con el fin de dar paso para realizar trabajos posteriores; Metodología: las cáscaras de la nuez de marañón de la microempresa ASOPROMARSAB; para la extracción del aceite inicialmente se realizó una limpieza de las cascara con agua destilada y secado a temperatura ambiente, se molieron las cascara para luego prensarse; posteriormente se realizó la extracción el ácido anacárdico y cardanol a partir de una extracción química; resultados: se obtuvo 5 gramos de ácido anacárdico a partir de 6 gramos de muestra de anacardato de calcio del total de 40 gramos obtenidos a partir 50 gramos de aceite, las características de este subproducto fue un polvo fino de color rojizo y 10 gramos de cardanol a partir de 50 gramos de aceite, este subproducto fue líquido de color marrón rojizo; el rendimiento de obtención de ácido anacárdico respecto al aceite fue del 66.6 % y del cardanol fue del 49%; discusión: estos resultados fueron menores a los planteados en la metodología, posiblemente por errores procedimentales, estos resultados permitirán realizar trabajos para la elaboración de biopolímeros compuestos biodegradables que impacten en el sector industrial reemplazando algunos polímeros convencionales, y potencializando el uso de residuos agrícolas.

## ABSTRACT

Introduction: Science and technology together with government public policies, research is being projected to the invention and discovery of new materials that are renewable and degradable, especially that in some economic sectors, polymers derived from petroleum can be replaced; For this reason, this study aims to extract anacardial acid and cardanol in order to make way for further work; Methodology: cashew nut shells from ASOPROMARSAB microenterprise; To extract the oil, the shells were initially cleaned with distilled water and dried at room temperature, the shells were ground and then pressed; Subsequently, the anacardic acid and cardanol were extracted from a chemical extraction; Results: 5 grams of anacardial acid were obtained from 6 grams of calcium cashew sample from the total of 40 grams obtained from 50 grams of oil, the characteristics of this by-product were a fine reddish powder and 10 grams of cardanol from 50 grams of oil, this by-product was a reddish-brown liquid; the yield to obtain anacardial acid with respect to the oil was 66.6% and that of cardanol was 49%; discussion: these results were lower than those raised in the methodology, possibly due to procedural errors, these results will allow carrying out work for the elaboration of biodegradable composite biopolymers that impact the industrial sector by replacing some conventional polymers, and potentiating the use of agricultural residues.

<sup>1</sup> Estudiante de pregrado - Universidad de Sucre, UDS, Colombia - jaducuarah@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5310-9443 Estudiante de Universidad Departamento de Biología y Química, Universidad de Sucre Facultad de Educación y Ciencias Cra. 28 #5-267, Puerta Roja, Sincelejo, Sucre Tel. 3014550716 aducuarah@gmail.com

<sup>2</sup> Profesor de planta del Departamento de Biología y Química - Universidad de Sucre, UDS, Colombia – Alvaro.arrieta@unisucra.edu.co

## RESUMO

**Introdução:** Ciência e tecnologia juntamente com políticas públicas governamentais, pesquisas estão sendo projetadas para a invenção e descoberta de novos materiais renováveis e degradáveis, especialmente que em alguns setores econômicos, polímeros derivados do petróleo podem ser substituídos; Por esse motivo, este estudo tem como objetivo extrair o ácido anacárdico e o cardanol a fim de abrir caminho para trabalhos futuros; **Metodologia:** cascas de castanha de caju da microempresa ASOPROMARSAB; Para a extração do óleo, as cascas foram inicialmente limpas com água destilada e secas em temperatura ambiente, as cascas foram moídas e depois prensadas; Posteriormente, o ácido anacárdico e o cardanol foram extraídos por extração química; **Resultados:** 5 gramas de ácido anacárdico foram obtidos a partir de 6 gramas de amostra de cálcio de caju do total de 40 gramas obtidos a partir de 50 gramas de óleo, as características deste subproduto foram um pó fino avermelhado e 10 gramas de cardanol de 50 gramas de óleo, este subproduto era um líquido marrom avermelhado; o rendimento de obtenção do ácido anacárdico em relação ao óleo foi de 66,6% e o do cardanol de 49%; **discussão:** esses resultados foram inferiores aos levantados na metodologia, possivelmente por erros de procedimento, esses resultados permitirão a realização de trabalhos para a elaboração de biopolímeros compósitos biodegradáveis que impactam o setor industrial, substituindo alguns polímeros convencionais, e potencializando o uso de resíduos agrícolas.

**PALABRAS CLAVE:** Extracción química, Ácido anacárdico, Cardanol, Biopolímeros.

**KEYWORDS:** Chemycal extraction, Anacardic acid, Cardanol, Biopolymers.

**PALAVRAS-CHAVE:** Extração química, Ácido anacárdico, Cardanol, Biopolímeros.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente muchos centros de investigación y la industria buscan desarrollar nuevos materiales para reemplazar los productos no renovables y no degradables por materiales amigables con el medio ambiente que puedan ser funcionales, biodegradados y de bajo costo (Arrieta et al, 2011; Valencia, 2015). Además, que puedan ser elaborados a partir de productos o subproductos agroindustriales, lo que impactaría la economía de las regiones y la reducción de los residuos post cosecha en el caso de ser originados a partir de residuos (Cereda et al, 2000).

Con el fin de satisfacer sus necesidades, el hombre ha fabricado un sin número de materiales que ayuden a mejorar la calidad de vida y proveer algunas comodidades, la mayoría de estos productos son de un único uso que como bolsas plásticas, envases plásticos, biofilms, pitillos, isopos, que es de uso diario y exceden en el caso de las bolsas plásticas, más de 1 millón de bolsas son compradas en todo el mundo cada minuto, siendo innecesario el uso desmedido de estos materiales. La materia prima utilizada para la producción de esos materiales proviene mayormente de recursos no renovables como fuentes fósiles que generan impactos ambientales negativos, provocando cada vez más, un gran deterioro ambiental y la escasez de dichas fuentes, entre estos materiales destacan los plásticos, a partir de los cuales se fabrican productos tecnológicos de primera necesidad. Este tipo de material dura en promedio 500 años para “degradarse”, en realidad el plástico se convierte en partículas más pequeñas por acción de la degradación ambiental donde influyen los efectos combinados y acumulados de la luz, el calor, el oxígeno, el agua, la contaminación química, y en condiciones especiales los microorganismos, por lo cual los ecosistemas empiezan a acumular y lógicamente no existe una biodegradación porque no hay transformación química y eventualmente una asimilación de las sustancias simples o componentes menores en este proceso por parte de los microorganismos (Frias et al, 2003; Bustamante, 2012).

Globalmente existe una problemática referente a la contaminación del agua, aire y suelo, que ha sido ocasionada en gran medida por las grandes cantidades y volúmenes

de residuos sólidos que se generan diariamente y que en muy pocas ocasiones reciben tratamiento adecuado, pero casi siempre su tratamiento es nulo, la situación es más agravante porque la basura, está conformada por residuos de composición muy variada, generalmente se junta y mezcla durante las labores de recolección lo que dificulta su manejo final, esto es debido a una falta también de concienciación social y falta de control y políticas públicas que le exijan a la población el tratamiento de estas basuras. La mayoría por su composición no representan un mayor riesgo para el ambiente si son un problema mayor porque no pueden ser degradados por el entorno como otros materiales como la madera, el papel, las fibras naturales e incluso el metal y el vidrio, los plásticos no se oxidan ni se descomponen con el tiempo. La síntesis de plásticos degradables se ha priorizado para mitigar el negativo impacto ambiental, pero ninguno ha demostrado ser válido para las condiciones requeridas en la mayoría de los vertederos de basura.

Estados Unidos es el principal país en consumo de petróleo y también uno de los primeros en producir polímeros de esta fuente, en el año 2009 se generaron 13 millones de toneladas de plásticos en envases y embalajes; más de 11 millones de toneladas en objetos de duración prolongada y alrededor de 7 millones de toneladas en objetos de duración corta (Serrano, 2010). Como alternativa a esta situación, se ha promovido el aprovechamiento de recursos naturales renovables para la producción de materiales biodegradables que en realidad puedan ser asimilados, que sean amigables con el ambiente y ayuden a mitigar los altos niveles de contaminación, debido a que la acumulación de materiales a base de petróleo está provocando un gran deterioro ambiental, sobre todo cuando estos son desechados en la naturaleza, lo cual obliga a los investigadores y gobiernos a buscar alternativas de fuentes renovables que sean viables comercialmente.

Uno de los principales problemas de los ecosistemas son los plásticos de un solo uso, sobre todo en los cuerpos de agua (Ilustración 1) que anualmente son arrojados 8 millones de toneladas de este mismo afectando la vida marina, cada minuto se están comprando un millón de botellas de

plástico en todo el mundo, y anualmente 500.000 millones de bolsas, la tercera parte de estos plásticos salen de los sistemas de alcantarillado y terminan las toneladas en el océano, ríos, arroyos, según la ONU para el 2050 habrán 12 mil millones de toneladas de desechos plásticos en la naturaleza y en los basureros, esto implica que hay una crisis a nivel global con los plásticos destinados a un solo uso, que en realidad son usados una o dos veces y son desechados sin ningún tipo de reciclaje o tratamiento especial, esto se relaciona a un problema de conciencia social, no existe directrices ni controles a los deberes sociales de separación de los plásticos para reciclaje, es increíble que se desechen tantas toneladas de plástico al océano anualmente y que la dimensión del problema es totalmente inmedible; en Colombia por medio de un proyecto de ley se busca prohibir la fabricación, importación, venta y distribución de estos materiales, el objeto de ley es prohibir en el territorio nacional a partir del año 2030, la fabricación, importación, venta y distribución de plásticos de un solo uso y se dictan otras disposiciones que permitan su sustitución y cierre de ciclos, para controlar la contaminación y proteger el medio ambiente y la salud de los seres vivos, contemplando la prohibición de aquellos plásticos a partir de Tereftalato de Polietileno (PET), Polietileno de Baja Densidad (LDPE), Polietileno de Alta Densidad (HDPE), Poliestireno (PS), Polipropileno (PP) y Poliestireno Expandido, que son usados por una sola vez y cuya vida útil es muy corta, inclusive de minutos, para luego ser desechados; Aunque este proyecto no fue aprobado en el congreso porque contemplaba de manera muy general los productos comerciales y cabe destacar que muchas familias dependen de esta actividad comercial, por lo cual, el congreso de la república abrió la posibilidad de presentar un proyecto de ley que permita regular y realizar una transición para abrir las puertas al reciclaje y a la inversión en productos naturales que puedan reemplazar los plásticos de un solo uso, aparte de ser el plástico un problema, la concientización sobre el problema que genera no hacer un uso adecuado del plástico, reutilizarlo y reciclarlo, ha sido el mayor problema que ha tenido el hombre.

Las materias primas de bajo costo despiertan interés para la elaboración de nuevos materiales y más si estas materias son originadas a partir de subproductos que tengan estructuras químicas viables, muchas investigaciones han demostrado que se pueden sintetizar nuevos materiales con propiedades que permitan ser asimilados por el ambiente y puedan ser degradados sin ningún problema, los gobiernos internacionales han propuesto estar a la vanguardia para el uso de material vegetal que pueda reemplazar los derivados del petróleo, debido a que primeramente la explotación de este hidrocarburo por medio de fracking por ejemplo, compromete el uso de hasta 500 sustancias entre las que figuran 17 tóxicos para organismos acuáticos, 38 tóxicos agudos, 8 cancerígenos probados, 7 elementos mutagénicos, etc. (ácidos, antioxidantes, biocidas, benceno, xileno, disulfuro de carbono, compuestos de piridina, etc.), y normalmente cada perforación, se necesitan unos 200.000 m<sup>3</sup> de agua para la fracturación hidráulica, se necesitan toneladas de las sustancias tóxicas para la explotación y una gestión para poder extraerla del pozo cavado, pero es una falacia admitir que todos estos compuestos son extraídos, siempre cierta cantidad queda atrapada y puede contaminar cuerpos de agua aledaños al pozo de excavación (The Tyndall Center, 2011), a medida que avance la explotación del petróleo, seguirán aumentando la contaminación, la destrucción de bosques, páramos y cuerpos de agua con el fin de extraer el hidrocarburo, agregando que se necesita un alto costo para la extracción y la transformación del crudo en productos comerciales también debe pasar por un proceso

que necesita agentes contaminantes generando así una contaminación desenfrenada; por eso es imperante que los gobiernos opten por hacer una transición de políticas de financiamiento y apoyar iniciativas que represente una alternativa para poder disminuir la explotación petrolera, que finalmente los productos son de difícil degradación o duran miles de años en degradarse y sobre todo que para poder obtener el petróleo en muchos casos deben “desplazar” cobertura vegetal provocando un daño ecológico en bosques nativos afectando el ciclo normal del agua que será contraproducente tanto para los ecosistemas como también para el mismo hombre.

La capacidad mundial de producción de polímeros biobasados creció un 4 % y alcanzó los 6,6 millones de toneladas en 2016, las proyecciones se esperan que continúen, pero solamente en Italia y Francia han recibido apoyo político por parte del gobierno, influyendo así que haya una educación ambiental para poder reemplazar los plásticos de un solo uso y preservar los ecosistemas y la vida; los expertos en biopolímeros han resaltado que está en aumento la producción de este material y que posiblemente para 2021 las proyecciones sean muy positivas, dependiendo de los gobiernos nacionales como operan para apoyar la comercialización de éstos, permitiendo que se adopte un nuevo estilo de vida de manejo de polímeros biodegradables.

El Marañón (*Anacardium occidentale* L.), es un árbol silvestre que pertenece a la familia Anacardiaceae, originario de las zonas tropicales de América y del noroeste brasileño que presenta excelentes propiedades medicinales y nutricionales (Ofusori et al, 2008), antifúngicas y antibacterianas, por lo cual cobra un gran interés en las áreas como productos naturales, medicina, biología y química. El fruto se compone de dos partes: el pseudofruto (fruto falso) y la nuez y esta consta de varias partes como la cascara, el tegumento y la almendra (Peso, 1994), esta planta ha sido un cultivo de potencial exportación en países como Vietnam, India y Nigeria los cuales comercializan solamente la almendra de la nuez siendo este el 24% del fruto, mientras que la cascara es un 49% - 50%, los aceites un 23% y humedad entre 3% y 4%; en Colombia este fruto está causando un impacto en el producto interno bruto (PIB) debido a su incremento en las exportaciones, las ventas han sido destinada hacia los Estados Unidos, India y Vietnam, según Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), en el país hay aproximadamente 6000 hectáreas destinadas para la producción de Marañón, con unas proyecciones de triplicarse la producción en los próximos 10 años y llegar a las 20.000 hectáreas, este fruto se convertirá con el paso del tiempo y el aumento de las exportaciones en un nuevo producto estrella de la canasta exportadora colombiana, siendo este nativo de la Orinoquía, el mantenimiento del cultivo es de bajo costo y no se requiere un gran conocimiento agrícola para cosecharlo; en la Costa Caribe este cultivo mueve aproximadamente 8.000 millones de dólares al año; en Córdoba y Sucre hay diferentes empresas productoras de este fruto, las cuales importan para otros departamentos más que todo la almendra, el vino, Marañón en polvo o la pulpa, aunque también este producto sea exportado; los productores de este fruto en estos departamento desechan las cáscaras de la nuez, las cuales contienen el aceite que es corrosivo por su contenido de fenoles y ácidos, al momento de ser desechado en grandes cantidades suele alterar el suelo provocando disminución del pH y pérdida de fertilidad de éste, lo cual lo convierte en un desecho agroindustrial peligroso en grandes cantidades, y teniendo en cuenta

las proyecciones ante la comercialización de este fruto, se triplicarían los residuos de cáscara. En algunos países utilizan la cascara para la extracción de aceite enfocando su uso en la farmacología, medicina, etnomedicina y la investigación con diferentes fines comerciales (Leitao et al, 2013); el aceite de este residuo agrícola (que es un material renovable de base biológica), está compuestas por estructuras químicas fenólicas que han despertado interés en el campo de los biomateriales y se ha descubierto que tiene el potencial de ser útil para sintetizar biopolímeros y productos agroquímicos (Leitao et al, 2013). Actualmente se ha estudiado la biodegradabilidad de materiales a base de este subproducto, más que todo del cardanol, ya que puede ser fabricado, envasado, usado y desechado, se ha comprobado que los materiales a base de aceite de cascara de marañón pueden ser biodegradados por microorganismos, pero hace falta más estudios en síntesis de materiales biopolímeros para un sector industrial determinado y la precisión de estudios sobre su biodegradabilidad, debido a que no todos los biopolímeros biobasados son biodegradables, porque en muchos productos hay componentes que no permiten la asimilación por parte de los microorganismos en el suelo; la funcionalidad de un biopolímero a partir de este subproducto podría darle un valor agregado a la comercialización del marañón y se aprovecharía la cascara, disminuyendo el deterioro de los suelos donde es actualmente depositado como residuo sólido, sería aún más favorable que pueda tener un proceso asimilación y biodegradación para poder ser un reemplazante de productos plástico en todo sentido.

El aceite de la cascara de la nuez de marañón químicamente está compuesto en un 70% de ácido anacárdico, 5% de cardanol y 18% de cardol, la presencia de la cadena lateral alifática proporciona una hidrofobicidad pronunciada, propiedad importante para varias aplicaciones, la insaturación de esta cadena es la base de la polimerización por adición, utilizando radicales libres o iniciadores iónicos, se pueden usar  $H_2SO_4$ ,  $HCl$  o ácido paratoluenosulfónico (PTSA) para polimerizar; una de las características comparables de este aceite es que es similar al caucho y tiene baja susceptibilidad a la oxidación (Lubi y tachil, 2000; Machado et al, 2010; Rwahwire et al, 2019).

El ácido anacárdico constituye el 70 - 80% del aceite de marañón, está compuesto por cuatro monofenoles que difieren entre sí solo en el nivel de insaturación de su cadena lateral alifática ( $C_{15}H_{31}-n$ ) (Ilustración 2). los dobles enlaces presentes en la cadena lateral en los componentes mono, di y triinsaturados junto a la estructura aromática que contienen grupos de ácido fenólico y carboxílico, confieren propiedades químicas interesantes que generan la búsqueda de estrategias para sintetizar polímeros (Philip et al, 2007), además de las ya descritas múltiples aplicaciones como acción antiinflamatoria (Falcão et al, 2005; Andrade, 2011) acción antidiabética (Olajide et al, 2004; Kamtchouing et al, 1998); acción inhibitoria de la enzima acetilcolinesterasa (Agra et al, 2007) y sustancias derivadas del fruto demostraron ser antagonistas de la enzima tirosinasa (Agra et al, 2007). También es útil como antioxidante para la estabilización de la gasolina (Carvalho, 2011).

El Cardanol tiene alrededor del 30–41% de fenoles con cadenas de hidrocarburos  $C_{15}$  con tres enlaces dobles ( $C_8-C_9$ ,  $C_{11}-C_{12}$  y  $C_{14}-C_{15}$ ), 16–22% de fenoles con cadenas de hidrocarburos con dos enlaces dobles ( $C_8-C_9$  y  $C_{11}-C_{12}$ ), 25–36% de fenoles con cadenas de hidrocarburos con un doble enlace ( $C_8-C_9$ ) y alrededor de 4% de cardol, un fenol que tiene dos hidroxilos en las posiciones 1 y 5 y una cadena de hidrocarburos de 15 átomos de carbono en la posición 3

(Fiore y Valenza, 2013) su estructura fenólica lo hace atractivo para estudios de nuevos envases y biopolímeros por lo cual ya se han elaborado diferentes productos biodegradables (Da Silva, 2016) (Ilustración 2).

El aceite de marañón ha llamado el interés de los investigadores porque ha sido eje de estudio en diferentes trabajos investigativos. Bhunia y colaboradores en 1997 sintetizan un poliuretano a partir de monómeros del cardanol extraído del aceite de la cascara de la nuez de marañón, para la síntesis primeramente extrajeron los monómeros de 4-[(4-Hydroxy-2-pentadecenylphenyl) diazenyl] phenol, que se obtuvieron y con una reacción de policondensación a temperatura elevada según el método descrito por Stenhouse et al, 1989. Los resultados demostraron que gracias a la presencia de anillos aromáticos en la estructura de los polioles de Mannich de anacardo mejoró las propiedades de resistencia al fuego de las espumas rígidas de poliuretano. Después de la prueba de fuego, la muestra perdió solo un 6.2–6.6% del peso inicial, los autores concluyeron que el líquido de cascara de la nuez de marañón fue usado con éxito para sintetizar los nuevos polioles de Mannich de base biológica utilizando una ruta de oxazolidina. A comparación de los polioles petroquímicos de Mannich de fenol y nonilfenol, los polioles de Mannich de aceite de la cascara de la nuez de marañón tienen una viscosidad mucho menor y, por supuesto, un alto contenido de renovación. Los nuevos polioles de Mannich se utilizaron con éxito para obtener espumas rígidas de poliuretano con buenas propiedades físico - mecánicas y retardantes del fuego, estos polioles de base biológica pueden ser usados en diferentes campos de la industria, pero aún faltan pruebas de biodegradabilidad y de tratamiento para poder establecer su impacto en la mitigación de la degradación ambiental.

Lubi y Tachil en el 2000, que el aceite de la nuez de marañón puede ser base para síntesis de materiales en materiales de fricción, automóviles, recubrimientos de superficie, adhesivos, laminados, compuestos de caucho, y tienen varias aplicaciones diversas, según los autores, los polímeros muestran flexibilidad por la composición de una cadena alifática lateral larga que también le confiere resistencia al agua.

Edoga y colaboradores en el 2006 realizaron la extracción de polifenoles y concluyen en su trabajo que esta materia prima es potencial para sustituir ciertos materiales que son producidos a partir del fenol del petróleo, resaltan la importancia que al ser un producto que es desecho de la agroindustria y de bajo costo puede potencializar económicamente los productores de este producto alimenticio, además que el marañón es comercializado en muchas partes del mundo y también aquí en Colombia y aquellas empresas que tienen problema de poscosecha junto a que no aprovechan los subproductos, pueden dinamizarse con la investigación para el aprovechamiento y pueda tener uso para posteriores investigaciones y pruebas.

Ionescu y colaboradores en el 2012 realizaron la síntesis de nuevos polioles de Mannich de base biológica para la elaboración de espumas rígidas de poliuretano, su metodología consistió en dos pasos: síntesis de bases de Mannich aprovechando la propiedad del anillo fenólico de cardanol con N - (2-hidroxietil) - 1, 3 - oxazolidina seguido la reacción de alcoxilación. Los polioles de Mannich del cardanol son excelentes reemplazos para los que son derivados de petroquímicos basados en nonilfenol. Estos polioles se utilizaron para las preparaciones exitosas de espumas de poliuretano rígidas con propiedades físico - mecánicas y de resistencia al fuego, en estos estudios los autores no hicieron

pruebas de biodegradabilidad que puedan indicar su impacto ambiental.

Más reciente da Silva et al, 2016 usaron al cardanol como bloque de construcción para el desarrollo de una matriz termoreducible la cual reforzaron con fibras de calabaza (*Luffa cylindrica*) crudas y modificadas, los biocompuestos que fueron reforzados con fibras de calabaza fueron con NaOH al 10% en peso tenían la mayor estabilidad térmica, además tenían el mejor rendimiento en prueba de tracción mostrando resultados positivos en incorporación, adhesión y dispersión al polímero, la presencia de las fibras de calabaza en el biocompuesto permitía una mejor biodegradabilidad, y estos materiales son potenciales para varias aplicaciones como la fabricación de artículos para la industria del mueble y automotriz, en este estudio los autores realizaron una prueba de biodegradabilidad con suelo simulado preparado con 23% de limo limoso, 23% de materia orgánica (estiércol de vaca), 23% de arena y 31% de agua destilada (todo en peso / peso), las muestras se expusieron en el suelo simulado: se pesaron 10 a 20 gramos y se enterraron a 10 cm de profundidad a  $25 \pm 3^\circ \text{C}$ . La biodegradación se controló durante 80 días midiendo la variación de masa, las muestras enterradas se recuperaron, posteriormente se lavaron con agua destilada y se secaron a temperatura ambiente hasta que no hubo más variación de peso, y luego se pesaron; después de pesar, los especímenes fueron enterrados nuevamente. Los experimentos se realizaron por cuadruplicado; los resultados obtenidos es que hubo una variabilidad de peso, indicando que en los 80 días que estuvieron enterrados, Se descubrió que la presencia de fibra tratada permitió un mejor comportamiento de biodegradabilidad a los biocompuestos. A nivel industrial es de suma importancia el mejoramiento de las resinas epoxi, con agentes curado, Wazarkar et al, 2018 realizaron la síntesis de un compuesto dianhídrido a partir de cardanol, para ser utilizado como agente de curado. Para confirmar la estructura del compuesto generado fue comprobado usando análisis químico, espectroscópico y cromatográfico, por estas investigaciones el marañón cada vez despierta más interés y el uso de los subproductos del aceite han sido indispensables para mejorar polímeros convencionales que se encuentran en el mercado.

Actualmente muy pocos son los estudios del potencial biodegradabilidad de materiales a base de subproductos del aceite de marañón ya que podría ser fabricado, envasado, usado y desechado, en los escasos estudios se han comprobado que los materiales de este aceite pueden ser biodegradados por microorganismos, pero hace falta estudios en síntesis de materiales biopolímeros para un sector industrial determinado y la precisión de estudios sobre su biodegradabilidad; la funcionalidad de un biopolímero a partir de este subproducto podría darle un valor agregado a la comercialización del marañón y se aprovecharía la cascara.

Estos estudios han permitido abrir la posibilidad de investigar más a fondo la síntesis de biopolímero a partir del aceite de la nuez, es muy importante resaltar que hoy en día existen biobasados o biopolímeros como solución para reemplazar los derivados del petróleo, la alineación de políticas públicas para estas actividades generará mayores expectativas y posibles resultados en los países que adopten la transición de polímeros derivados del petróleo a biopolímeros degradables, todo depende de la voluntad política que tengan los gobiernos para poder abrir paso a una transformación industrial, científica y social.

Los polímeros son materiales de mucha importancia en el quehacer cotidiano, gran parte de lo que usamos para el

desarrollo de nuestro día a día requiere de estos materiales derivados del petróleo, que hoy en día son un problema debido a la acumulación de éstos y sobre todo, su impacto ambiental negativo. El desarrollo de biopolímeros para la elaboración de utensilios y dispositivos ha sido un tema muy relevante para disminuir el impacto ambiental de los polímeros, por ser estos de origen biológico se pueden degradar a corto plazo por la acción de microorganismos. Según la International Standard Organization (ISO) los bioplásticos o biopolímeros mantienen su integridad física desde su manufactura, almacenamiento, envasado, vida en estanterías y uso por el consumidor, al terminar su vida útil y posterior desecho, sufren cambios químicos por agentes ambientales y microorganismos, que transforman estos polímeros en estructuras simples que serán asimilados por el medio ambiente (Rodríguez, 2012).

Las biopelículas son una matriz de biopolímeros construidos a partir de una o más bases macromoleculares biológicas, los biopolímeros comúnmente usados para realizar biopelículas son almidón, pectina, celulosa y sus derivados, colágeno, gelatina y proteínas miofibrilares, y una propiedad muy fundamental es la biodegradabilidad de estos materiales (Cereda et al, 2000). Aun no existen estudios de biopelículas basadas en ácido anacárdico ni cardanol y han sido usados mayormente para mejorar polímeros que se encuentran en el mercado.

El objetivo de esta investigación es realizar la extracción del aceite de la cáscara de la nuez de marañón por método físico y posteriormente la extracción de cardanol y ácido anacárdico, con el fin de determinar su rendimiento en el proceso y proyectar su uso para las futuras investigaciones en síntesis de biopolímeros compuestos o aditivos de productos comerciales que puedan ser funcionales y generar un impacto positivo en la mitigación del deterioro medio ambiente aprovechando las potencialidades que tiene la cáscara de marañón como desecho agrícola.

## 2. MÉTODO

### Estrategias metodológicas

En la planificación del experimento se recopiló información del aceite de la nuez de marañón y de los subproductos cardanol y ácido anacárdico, en cuanto a su extracción e investigaciones que estén relacionadas del uso de estos subproductos en la síntesis de biopolímeros; para la extracción del aceite de la cáscara se puede realizar a través del equipo Soxhlet, rotaevaporación, o extracción mecánica con el uso de una prensa hidráulica pero primeramente se hace una respectiva molienda de las cáscaras, para ello se optó por este último debido a que se obtiene el ácido sin ninguna impureza de los solventes orgánicos usados, cabe resaltar que el rendimiento es menor que las extracciones químicas, pero esto permitirá realizar pruebas en investigaciones futuras para la síntesis y producción de biopolímeros; para la extracción del cardanol se utilizó el método establecido por Kumar por la practicidad, rendimiento reportado y disponibilidad de reactivos, al igual que el método propuesto para la extracción de ácido anacárdico.

## PROCEDIMIENTO

### Obtención de la materia prima:

Las cáscaras de la nuez de marañón se obtendrán de la microempresa ASOPROMARSAB ubicada en el corregimiento Pisabonito - Chinú- Córdoba (Ilustración 3), por ser un material de desecho, estas fueron obsequiadas por los trabajadores de la empresa.

### EXTRACCIÓN DEL ACEITE.

La extracción del aceite de las cáscaras de nuez de marañón (Ilustración 4) se realiza mediante el método mecánico, se pesó 800 gramos de muestra en una balanza analítica Sartorius AX224; antes de iniciar el proceso se lavó con abundante agua destilada y se secó a temperatura de 30°C en un horno de secado Memmert por 120 minutos, con el fin de eliminar las impurezas que puedan alterar la composición del aceite. Posteriormente las cáscaras pasaron por un proceso de molienda usando un molino para granos Corona, el producto de la molienda se introdujo en un cilindro de acero (Ilustración 5) para ser prensadas mediante fuerza de compresión con la prensa hidráulica (Ilustración 6); el aceite extraído se recogió en un beaker de 250ml. Para extraer mayor cantidad de aceite, se reprensó la torta de prensado contenida en el cilindro para obtener mayor líquido.

Al cilindro de metal se le hicieron unas aberturas en la zona inferior con el fin de aprovechar el prensado y no se desperdiciara aceite, también se hizo una muesca para que el aceite saliera por este lugar y poder depositarlo en el beaker.

### EXTRACCIÓN DEL ÁCIDO ANACÁRDICO.

Se disolvió 50 gramos de aceite en 400 ml de metanol y agua al 5%, se añadió lentamente 25 gramos de hidróxido de calcio (Ilustración 7); se formó un precipitado de anacardato de calcio (Ilustración 8), este se filtró, se lavó, se calentó a 45-50 °C durante 3 h, y luego se suspendió en agua destilada y HCl 11 M, se extrajo el ácido (Ilustración 9) con acetato de etilo y se secó con sulfato de sodio seco; el ácido se lavó repetidamente con agua para retirar desechos, el disolvente y el agua restante se evaporaron en horno de secado Memmert a 60°C durante 24 h (Morais et al, 2017).

### EXTRACCIÓN DEL CARDANOL

El CNSL técnico (100 g) se disolvió en metanol (Ilustración 10) (320 ml) y se añadió hidróxido de amonio (25%, 200 ml); Se agitó durante 15 minutos, esta solución se extrajo luego con hexano (4200 ml), la capa orgánica se lavó con HCl al 5% (100 ml) seguido de agua destilada (100 ml) (Ilustración 11), se añadió carbón activado (10 g) a la capa orgánica, se agitó durante 10 minutos y se filtró a través de Celite (15 g). El filtrado se secó sobre sulfato de sodio anhidro y se concentró para obtener cardanol puro.

## 3.RESULTADOS

### OBTENCIÓN DE LAS CÁSCARAS DE LA NUEZ DE MARAÑÓN

Las cáscaras de la nuez de marañón se obtuvo de la microempresa ASOPROMARSAB ubicada en el corregimiento Pisabonito – Chinú- Córdoba, es un producto de desecho con un terreno específico cercado para su destino, la nuez(fruto) era separado de su pedúnculo el cual es rojizo cuando está maduro (pseudofruto) y era cortado por la mitad para la extracción de la almendra.

### EXTRACCIÓN DEL ACEITE

El aceite es de color marrón oscuro (casi negro), cáustico y viscoso, con un olor característico, este se suspendía en la superficie de la prensa y por medio de las aberturas y muescas del cilindro, finalmente era almacenado en un beaker de 250 mililitros para así posteriormente realizar las siguientes extracciones.

### ÁCIDO ANACÁRDICO

La extracción de este ácido se hace directamente del aceite, pero primeramente debe formarse el anacardato de calcio (20g), el cual es un polvo sólido compacto de color marrón rojizo, para posteriormente mediante la extracción con acetato de etilo y el secado con sulfato de sodio seco se obtenga el ácido anacárdico, las características físicas es que es un polvo fino de color marrón claro; se realizó varios lavados con agua destilada debido a que luego del proceso de extracción quedó con impurezas del sulfato de sodio seco y es muy importante tener la alícuota lo más limpia posible para lograr resultados positivos en el análisis infrarrojo.

### CARDANOL

El cardanol es un líquido viscoso color marrón rojizo, en la obtención hubo variación en la metodologías propuestas para la extracción, debido a que luego que se realizara el lavado de HCl 5% pasaron aproximadamente una hora y media para la separación del ácido de la capa orgánica, luego se lavó con 50ml de agua y se esperó hasta que se separara las fases, en este punto no hubo separación de fases para lo cual se debió agregar nuevamente HCl al 5%, esto permitió la separación de fases y lavado de la capa orgánica; el cardanol se extrajo finalmente con carbón activado, y para separar estos compuestos se hizo una filtración con piedra celite.

#### 4.DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Sucre y Cordoba son departamentos que se reconocen por ser de economía agrícola, se encuentran diferentes empresas encargadas de la producción de productos de la canasta familiar y que su producción genera residuos que pueden ser aprovechados para la biotecnología, entre ellos se encuentran las asociaciones productoras de yuca, ñame, maíz como también empresas grandes como Almidones de Sucre, entre otros; para la producción de marañón se encuentran diferentes microempresas como Bendito Maraño en el municipio de San Benito Abad en Sucre y la microempresa ASOPROMARSAB que se dedica a la comercialización de productos de consumo alimenticio como nuez tostada, pulpa del pseudofruto y vino obtenidos del marañón (*Anacardium occidentale* L.), anualmente establece convenios con diferentes empresas e instituciones con la finalidad de comercializar sus productos, principalmente su producción se basa más que todo en la obtención de la almendra, para lo cual deben con un máquina cortar en dos la nuez, al obtener el producto final se genera el desecho que son las cáscaras de la nuez; los productores destinan este desecho a un terreno específico, la explicación dada por estos indican que la cascara contiene un aceite que en grandes cantidades es corrosivo y que puede infertilizar el suelo donde se está sembrando los diferentes cultivos que se relacionan a la actividad económica del corregimiento donde se encuentra ubicada; la importancia del aprovechamiento de las cáscaras como desechos es que no tiene costo de obtención y es una materia prima para la extracción de diferentes subproductos del aceite de la nuez, que hoy en día es eje de investigación para la elaboración de polímeros que tengan alto impacto en la industria en general.

La prensa hidráulica es una herramienta muy útil para la obtención de aceites por medio de prensado que se encuentran en cáscaras y semillas, otros métodos pueden ser útiles para la obtención directa, como por ejemplo la extracción por solvente como el hexano que por su fácil recuperación gracias a su bajo punto de ebullición (63 - 69) y su gran capacidad de solubilizar la fase oleosa, permite ser eficaz en la extracción, pero este método no es tan popular debido a que este reactivo aun siendo por excelencia un extractor de aceite, le preceden cuestionamientos vinculados a la salud, seguridad e impacto ambiental, siendo así que se optan por otros métodos ya sean físicos o químicos; aunque los métodos químicos han demostrado en algunos casos ser más eficientes para la extracción en cuanto a tiempo y rendimiento, ha comprometido también cambios en la estructura principal de los aceites, o cambios en las propiedades físico - químicas como en el pH, mayor presencia de peróxidos, entre otros desechos orgánicos del solvente que pueden afectar el fin específico del aceite; es por ello que la obtención por prensado fue el procedimiento en esta investigación, evitando así cambios en la estructura y que los componentes no hayan sido afectados ni por calor, ni por solvente, tal cual lo recomienda la literatura, promoviendo el menor uso posible de reactivos contaminantes para la extracción, exceptuando los casos donde es indispensable por medio de extracciones químicas y uso de equipos específicos.

El uso del molino es esencial para realizar el prensado, debido a que se tritura la semilla en partículas más pequeñas que quedarán más susceptibles a la presión de la prensa hidráulica, generando un mejor rendimiento a

comparación de cuando se prensa las cáscaras enteras, en la cual gran parte del aceite queda entre los espacios de las cáscaras provocando así menor rendimiento de extracción y mayor tiempo de trabajo; agregando que el proceso de molienda también provoca un triturado de las paredes celulares liberando pequeñas cantidades de aceite, por lo cual por rendimiento, tiempo de trabajo y practicidad, la molienda se convierte en una parte esencial para la extracción del aceite como método mecánico.

Para poder obtener 100 gramos de aceite de la cáscara de la nuez de marañón fue necesario pesar 800 gramos de triturado de cáscara, obteniendo como resultado un rendimiento del 12,5% de aceite respecto al peso de la cáscara, la composición de la cáscara de la nuez de marañón contiene en su peso total un 23% de aceite, resultando que posiblemente no hubo un rendimiento mayor porque al prensar no hay rompimiento de gran parte de las paredes celulares de la cáscara, además, es posible que gran parte del aceite también quede atrapado entre la masa resultado del prensado; los métodos químicos demuestran un mayor rendimiento de extracción pero la finalidad de la extracción física es obtener el aceite lo más impoluto posible, evitando así contaminantes como se mencionó anteriormente que puedan alterar la estructura química o interferir en procesos posteriores como la polimerización.

En otros estudios se realizaron extracciones y purificación del aceite de la almendra del Maraño, como objetivo de escala piloto, en este proceso se realizó la extracción por medio de un equipo Soxhlet, en el cual tuvieron como resultado un rendimiento del 28% para 1 kg de semillas y 6,0 L de solvente (n - hexano), en cuanto a la cascara de la nuez se realiza el proceso de extracción sometiendo a la oscuridad y sumergirlo en ciclohexano durante 24 horas, posteriormente tamizan las cáscaras y filtran la solución, para someterse a un rotaevaporador a 40° C obteniendo así el aceite; cabe resaltar que el resultado obtenido es ampliamente mayor y viable que el método mecánico, pero el uso de n - Hexano implica tanto riesgos para la salud como mayor inversión económica aunque en función del tiempo es menor; para evitar el uso de reactivos que puedan ser un riesgo para la salud o los ecosistemas, se ha probado con éxito para la extracción de aceites en otras especies vegetales con enzimas, comprendiendo una operación simple y fácil, un menor consumo de energía y es económicamente viable, generando también así porcentajes de rendimiento elevado, en cuanto al marañón el obstáculo ha sido la dureza de la cáscara lo cual genera rendimientos bajos durante la extracción; cabe resaltar que los rendimientos aunque sean mayores en los métodos químicos, la diferencia no es tan marcada respecto al método físico como se evidencia en la extracción realizada.

El cultivo de Marañón se ha convertido en una alternativa viable, ha despertado el interés de los investigadores, por sus constituyentes que son el cardanol, el cardol y el ácido anacárdico, estos han sido ejes de estudio por su composición química, ya que son bases para la síntesis de biopolímeros que hoy en día están presente en algunos productos cotidianos o están en fase de estudio o prueba, además, que este cultivo está teniendo relevancia económica en Colombia en cuanto a importación y exportación, siendo en muchas ocasiones la cáscara de la nuez desechada y que podría tener un uso científico e industrial que impactará positivamente para la el aprovechamiento de la cascara y de residuos post cosechas, en este caso las cáscaras que emanan el aceite y pueden infertilizar el suelo, la generación de valor agregado a la comercialización y un plus a la economía de los productores, teniendo en cuenta que la producción de este fruto está en constante aumento en el territorio colombiano.

Los principales componentes del aceite son compuestos fenólicos con sustitución de cadena larga en la posición meta permitiendo así que se den la mayoría de las reacciones de los fenoles y pueden aprovecharse como bases para la producción de polímeros que pueden ser ampliamente usados en la industria, la importancia para los investigadores es que la cascara de la nuez de marañón es un desecho agrícola que puede ser utilizado para la elaboración de materiales poliméricos que pueden reemplazar a los de origen petroquímico por la naturaleza renovable y ser amigables con el medio ambiente (Lubi y tachil, 2000).

El ácido anacárdico tuvo que ser lavado en distintas ocasiones con agua destilada, debido a que quedaban impurezas de color blanco, estos son residuos de sulfato de sodio seco con el que se realizó la extracción del ácido, es conveniente el lavado hasta que quede de color rojo, simultáneamente se agregaba agua destilada y se retiraba el sobrenadante, esto permitirá que haya más pureza del ácido y no existan futuros problemas en el momento de realizar las pruebas de infrarrojo para la posterior polimerización con diferentes monómeros, para la extracción se tomó una muestra de 6 gramos del anacardato de calcio obtenido para obtener 5 gramos de ácido anacárdico, indicando que hay un porcentaje de rendimiento del 66,6%

La relevancia de este subproducto del aceite ha sido versátilmente enfocado porque de este mismo se extrae el cardanol y también puede polimerizarse con otras bases poliméricas, permitiendo ser un aditivo para diferentes productos químicos, antes de ser objeto de estudio para la síntesis de biopolímeros, ha sido investigado en áreas de la medicina, siendo estudiado como antioxidante ante agentes tumorales, teniendo excelentes resultados disminuyendo la actividad microbiana por las cadenas hidrocarbonadas de la estructura química; la estructura favorece al ácido como un antioxidante de combustibles como el biodiesel convirtiéndose en una alternativa para el reemplazo de otros compuestos químicos que son de mayor costo de obtención tanto económicamente como ambientalmente; la versatilidad de esta estructura es el atractivo de los investigadores para la síntesis de biopolímeros, puede ser aditivo para la síntesis de poliuretanos o materia prima para la obtención de diferentes monómeros como el Metacrilato de anacardanilo, que se obtiene directamente del ácido anacárdico disolviéndose en piridina y anhídrido metilacrílico, este monómero se

obtiene de color amarillo pardo; el Acrilato de anacardanilo es otro monómero del ácido anacárdico que se obtiene transfiriendo este último a un matraz de reacción con cloroformo y Trietilamina (0,42 ml, 3,6 mmol) y cloruro de acrilato (0,40 ml, 3,6 mmol), este también es un aceite amarillo pardo; el ácido anacárdico en algunos casos no es capaz de polimerizar por el grupo fenol, es por ello que diferentes estudios sugieren que se bloquee este grupo a partir de la acrilación y metacrilación, esto permitirá que los monómeros resultantes actuarán como buenos monómeros funcionales; se debe tener en cuenta que los trabajos de biopolímeros funcionales en ácido anacárdico son muy escasos, aunque cuente con una estructura favorable y ya se hayan realizado investigaciones sobre monómeros, pero específicamente en el campo de los biomateriales no ha tenido prioridad o relevancia que indique que pueda ser una alternativa viable, a futuro es recomendable explorar las posibilidades y beneficios que este ácido puede obtener, porque su investigación y uso ha sido enfocado en la medicina, en la tecnología de combustibles y no en los nuevos materiales; la síntesis de biopolímeros compuestos a partir de este producto puede generar nuevas oportunidades y rutas de investigación y conocimiento, además, las propiedades que puedan ser aprovechables permitirá amplios estudios en su estructura y función como base de polímeros, consecutivamente, tendrá relevancia en el área ambiental, primero por la reducción de los residuos, residuos post cosecha del marañón que se sabe que su aceite se compone del 70% de ácido anacárdico y fenoles, dándole propiedades causticas y también por la versatilidad en el campo de la biotecnología, con altas probabilidades de ser un punto objetivo para iniciar la síntesis y producción que pueda reemplazar los plásticos convencionales.

El Cardanol tuvo un rendimiento del 49%, menor que los resultados obtenidos en los estudios que proponen la metodología para la extracción, en el que obtuvieron un 65% de rendimiento, probablemente se haya obtenido menor por algún error procedimental; este producto a comparación con el ácido anacárdico, representa una mayor importancia para la elaboración de biopolímeros, se han realizado trabajos investigativos exitosos como la elaboración de una resina biodegradable, ser aditivo en poliuretanos, nuevos polioles de Mannich los cuales son poliéteres aminados y aromáticos, con una muy buena compatibilidad, se obtuvo como resultado una alta reactividad que permite bajos niveles de catálisis y su estructura aromática da espumas con muy buena resistencia al fuego; al sintetizar biopolímeros compuestos con resina y reforzado con esponja (Luffa cylindrica) se pueden obtener un material biodegradable que por sus propiedades puedan ser usados en el sector de la industria automotriz, de muebles, de empaques y demás; también se destaca en diferentes investigaciones el uso del cardanol para mostrar, sintetizar o mejorar, algunos elementos o propiedades de resinas y aditivos para polímeros, uno de ellos son las resinas epoxi son uno de los materiales termoestables más utilizados comercialmente, las mismas poseen excelente adhesión, resistencia química, con buenas propiedades mecánicas y resistencia anticorrosiva (Herrera et al, 2019).

El cardanol posee una estructura química en la que se presencia un grupo no saturado en posición meta del anillo, esto permite la posibilidad de generar nuevos compuestos basados en el cardanol, ya que son susceptibles a reacciones de sulfonación, nitración, esterificación, halogenación, eterificación, epoxidación, y otras más.

Las extracciones de estos dos compuestos proyecta a futuras investigaciones con el objetivo de elaborar polímeros compuestos, a parte que estos materiales son recursos vegetales, son renovables y biodegradables, orientar nuevos estudios con la síntesis compuestas con materiales como el almidón, el quitosano, entre otros biopolímeros que han sido estudiados, son el atractivo para esta línea temática; entre más la investigación esté orientada a generar nuevas alternativas que ayuden a disminuir los impactos ambientales negativos, mayores serán las posibilidades de reemplazar los materiales que no son degradables y que su extracción y transformación repercute a los ecosistemas de manera agresiva; hoy en día existen trabajos con otros productos vegetales como el almidón de yuca que generan residuos poscosecha al momento de cosechar la yuca, esto generaría un valor agregado a los residuos y así disminuir las pérdidas de los productores que se dedican a esta actividad económica y que se han visto afectados por este problema, por la existencia de productos biodegradables en el mercado, los productores se han beneficiando de los residuos que se generan convirtiendo este en un plus agroindustrial para mejorar la economía generando ingresos adicionales por el valor agregado sumado, el almidón como polímero tiene las propiedades para realizar la síntesis de biopelículas conductoras de electricidad o incluso productos que se usan en la agricultura como el Solanyl BP, el cual es un polímero biodegradable al 100% que utiliza el almidón como materia prima y cuyas propiedades mecánicas son similares a las del polietileno o poliestireno, también se pueden encontrar en el mercado marcas comerciales como bolsas biodegradables, entre otros productos de investigaciones realizadas en este campo, han dado como resultado, materiales poliméricos biodegradables que ya se utilizan comercialmente, este es el caso del Mater-Bi, una mezcla de almidón y PVA (acetato de polivinilo); a comparación del ácido anacárdico y el cardanol que no han generado productos con un valor comercial y que las investigaciones podrían ser dirigidas a la elaboración de empaques, plásticos de forrar, vasos, pitillos, entre otros objetos que están elaborados a base de petróleo y que no son biodegradables, puesto que su degradación suele tardar más de 100 años.

Es válido afirmar que los subcompuestos del aceite de la cáscara de la nuez de marañón por ser un material de origen vegetal puede ser biodegradado, pero hay muy escasos estudios en biopolímeros de esta naturaleza que permita dilucidar si efectivamente son biodegradables, lo cual sería impactante en la industria, abriendo las posibilidades de una mayor confianza en el uso de estos subproductos y que los productos tanto de desecho como poscosecha no sean pérdidas para los pequeños productores, sino, un potencializador de su economía, porque el problema que existe es que los cultivadores de Marañón subaproveen la producción como resultado de un sistema productivo direccionado a un sólo producto, en consecuencia no se aprovechan otros componentes esenciales asociados con la biomasa residual, su contenido metabólico, o componentes del fruto.

Actualmente en Colombia existe una apertura económica que permite y estimula la comercialización de biopolímeros importados y el gobierno nacional a través del ministerio de Ciencia y Tecnología ha promovido programas para impulsar el desarrollo de proyectos sostenibles, sin embargo estos recursos no tiene un gran presupuesto asignado, pero la importancia que cobra los biopolímeros a medida del tiempo permitirán que se fortalezcan las políticas públicas que se encaminen en el aprovechamiento de residuos agrícolas para la elaboración de biopolímeros y reemplazar productos plásticos a base de petróleo, porque la producción de este último en masa implica que tengan que destruirse ecosistemas marinos y terrestres con el fin de obtener el hidrocarburo para así transformarlo en el producto final, hoy en día hay en curso diferentes proyectos de ley que proponen medidas tendientes a la reducción de la producción y el consumo, de los plásticos de un solo uso en el territorio nacional, se regula un régimen de transición para reemplazar progresivamente por alternativas reutilizables, biodegradables u otras cuya degradación no genere contaminación, en la cual destaca que se deben adoptar materiales reutilizables o biodegradables, reglamentados para el reemplazo progresivo de plásticos de un solo uso, esto indica la gran posibilidad de establecer políticas progresivas para la exploración de biopolímeros que cumplan con los estándares para poder reemplazar a los plásticos derivados del petróleo como de un solo uso, para ello se busca que haya un “Fomento de la investigación científica y social para la sustitución de productos plásticos de un solo uso por alternativas renovables, compostables y sostenibles.

Las entidades del Sistema Ambiental Colombiano, y demás entidades de apoyo técnico y científico, el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología y Educación (Colciencias), las asociaciones de profesionales de las distintas disciplinas científicas y sociales, y las instancias de participación del sector educativo, promoverán la educación, y la investigación científica y social en las instituciones educativas para la sustitución de productos plásticos de un solo uso por alternativas renovables, compostables y sostenibles. Dicha educación e investigación tendrá en cuenta la importancia de proteger las comunidades, los ecosistemas y los animales afectados por la contaminación de plásticos y basura marina de origen plástico, con observancia de los principios de justicia ambiental además de los incluidos en la presente ley”, la aprobación de este tipo de propuesta generará mayor interés gubernamental para el fortalecimiento de las capacidades tecnológicas de los centros tecnológicos, institutos de educación superior y laboratorios con el fin de impulsar progresivamente la elaboración de nuevos materiales, sobre todo de aquellos que pueden ser elaborados con productos de desecho agrícola o agroindustrial que permita dinamizar la economía con los diferentes productores debido a que la cantidad de residuos agrícolas y agroindustriales generados en Colombia, tienen como destino en su gran mayoría a los rellenos sanitarios y fuentes hídricas, generando así un impacto ambiental negativo. Cabe destacar que estos residuos tienen una gran potencial, que por faltas de políticas no se han convertido en una fuente de producción científica y tecnológica que brinde soluciones y oportunidades a los problemas que enfrenta el país, dentro de los sectores en los cuales se pueden usar los diferentes residuos agrícolas o agropecuarios se encuentran: el farmacéutico, construcción, cosméticos, nutricionales, entre otros.

Cabe mencionar que las políticas ambientales mundiales están dirigidas a la conservación del medio ambiente y mitigación de los efectos del cambio climático, en donde se proponen el uso de productos biodegradables, que generen el más mínimo impacto ambiental, ya que hoy en día muchos de los ecosistemas tanto terrestres como marinos se han visto degradados, en el caso del bosque seco tropical, ha sido fragmentado también por actividades mineras; es por ello que las distintas investigaciones científicas han de estar enfocadas a la producción de este tipo de materiales, como por ejemplo los productores de papa que proveen almidón, al igual que productores de yuca que proveen almidón y desechos postcosecha, los productores de mariscos en el caso de la quitina del exoesqueleto del camarón, en este caso los productores de Maraño que generan la cascara como desecho por la economía monótona que puede fortalecerse con el desarrollo de la industrialización de biopolímeros de Ácido anacárdico y Cardanol; no solamente en Colombia busca la regulación de la producción y comercio de plástico de un solo uso, internacionalmente en algunos países ya han avanzado significativamente prohibiendo la producción y buscando alternativas que puedan reemplazar estos productos por medio de polímeros biodegradables; los biopolímeros merecen mayor atención por parte de los entes gubernamentales, estos han sido foco de desarrollo e industrialización con una economía circular más sana que permita en el hecho preservar el medio ambiente, dinamizar la economía, aprovechar de los residuos de los productos agrícolas y que finalmente generen valor agregado y se sustituyan los productos plásticos y demás derivados petroquímicos.

Uno de los principales obstáculos que presenta el reemplazo de aditivos de origen vegetal o en algunos casos animal, es el alto costo de extracción, en el caso del cardanol y el ácido anacárdico, aunque se obtenga como residuo agrícola, postcosecha o agroindustrial, los reactivos que se necesitan son de regulado acceso, pueden ser tóxicos como el  $n$  – hexano, pero se puede estandarizar como prueba piloto para su extracción en masa, comparado con los petroquímicos, la materia prima no tendría un costo ambiental para su obtención, además que está siendo desechada; en ese sentido acorde a los resultados del rendimiento, las futuras investigaciones en este campo deben apuntar a la extracción en masa de aceite de la cáscara de la nuez de Maraño, del cardanol y del ácido anacárdico para así producir en masa la síntesis de biopolímeros compuestos con otros polímeros de origen vegetal, sujeto a que se realicen pruebas de biodegradabilidad y sea un potencial para poder impactar en el mercado y mitigar en parte el gran impacto ambiental negativo.

Mediante más se proyecten estudios enfocados en la síntesis de estos materiales avanzados, podría ser posible que puedan iniciar la fabricación o mejorar nuevos empaques biodegradables para diferentes productos de la industria, que pueda mitigar y reducir el impacto ambiental que ha generado la explotación del petróleo, la producción y envasado de productos plásticos de un solo uso; esto ayudaría a generar alternativas para el tratado y desecho de estos materiales que no son posibles con los derivados del petróleo. Es posible que ante la transición del plástico a polímeros biodegradables de origen natural, los pequeños y medianos productores agricultores tengan mayor importancia en la participación de la economía y desarrollo tecnológico ya que han sido rezagados, sobre todo cuando pequeñas localidades subsisten de esta actividad económica; en países como Italia y Francia donde las políticas públicas han apoyado y afianzado el reemplazo de plásticos convencionales, ha tenido que pasar por una transición de concientización social para poder hacer uso correcto de los nuevos productos que entraron al mercado para poder reemplazar y subsanar el daño que ha realizado el plástico; se ha marcado la prioridad de salvaguardar la integridad de los ecosistemas que han sido afectados severamente.

Finalmente se concluye que se extrajo aceite de la cáscara de la nuez de maraño con un procedimiento de extracción mecánica con un rendimiento por debajo del reportado en las extracciones químicas, pero la implicación es que este aceite no tendrá desechos ni riesgos para la salud al momento de extraerse; el ácido anacárdico y cardanol se extrajeron con un rendimiento por debajo del reportado en las investigaciones que proponen la metodología, esto es debido a posibles errores de cuantificación o procedimentales; las investigaciones actuales de estos productos indican que tienen potencial para la elaboración de biopolímeros biodegradables que puedan impactar en el mercado gracias a su estructura química, sobre todo los estudios del cardanol, pero hace falta más investigaciones en el área que pueda definir la biodegradabilidad y posibles usos en la vida cotidiana e industria; los estudios posteriores se enfocarán en la extracción en masa y uso de estos monómeros para la síntesis de polímeros compuestos con el objetivo de generar atracción al eje de estudio que permita a futuro la obtención de un polímero que impacten en la investigación, economía y sociedad, como ya han impactado otros polímeros de origen natural que son obtenidos de desechos agrícolas permitiendo también generar un valor agregado a los productos y engranar el desarrollo de nuevos productos con los productores de materia prima del campo; esto permitiría que hayan nuevos biopolímeros en el mercado reemplazando más productos derivados del petróleo.



## REFERENCIAS



- Aristizabal, J., y Sanchez, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Issn 1020-4334
- Arrieta, A., Gañán, F., Márquez, E., y Zuluaga, R. (2011). Electrically conductive bioplastics from cassava starch. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 22(6), 1170-1176.
- Bhunia, H., Jana, R., Basak, A., Lenka, S., y Nando, G. (1997). Synthesis of Polyurethane from Cashew Nut Shell Liquid (CNSL), a Renewable Resource. *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry*. 36, 391-400.
- Bustamante, B. (2012) La degradación de los plásticos. *Revista Universidad EAFIT*. 30(94), 67-86.
- Conesa, V. (2010). Guía metodológica para la evaluación el impacto ambiental, Bilbao, Ediciones Mundi Prensa.
- Cereda, M., Henrique, C., Oliveira, M., Ferraz, M., y Vicentini, N. (2000). Characterization of Edible Films of Cassava Starch by Electron Microscopy. *Brazilian journal of food technology*. 3, 91-95.
- Da Silva, A., Da Silva, L., Camargo, I., Da Silva, D., Dos Santos, D., Vasconcelos, L., Almeida, O., y Mazzeto, S. (2016). Cardanol-based thermoset plastic reinforced by sponge gourd fibers (*Luffa cylindrica*). *Polímeros*, 26(1), 21-29.
- Ionescu, M., Wan, X., Bilié, N., y Petrovic, Z. (2012). Polyols and Rigid Polyurethane Foams from Cashew Nut Shell Liquid. *J Polym Environ*. 20, 647-658.
- Fiore, V., & Valenza, A. (2013). Epoxy resins as a matrix material in advanced fiber-reinforced polymer (FRP) composites. *Advanced Fibre-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Structural Applications*, 88-121.
- Frias, A., Lema, I., y Gavilan, A. (2003). La Situación de los envases plásticos en México. *Gaceta ecológica*. 69, 67-82.
- Kumar, P., Paramashivappa, R., Vithayathil, P., Subba, P., y Srinivasa, A. (2002). Process for Isolation of Cardanol from Technical Cashew (*Anacardium occidentale* L.) Nut Shell Liquid. *J. Agric. Food chem*. 50, 4705-4708.
- Leitao, N., Prado, G., Veggi, P., Meireles, M. y Pereira, C. (2013). *Anacardium occidentale* L. leaves extraction via SFE: Global yields, extraction kinetics, mathematical modeling and economic evaluation. *The Journal of Supercritical Fluids*. 78, 114-123.
- Lubi, M. y Thachil, E. (2000). Cashew nut shell liquid (CNSL) — a versatile monomer for polymer synthesis. *Designed Monomers and Polymers*, 3(2), 123-153.
- Machado, A., Oliveira, E., Santos, E., y Oliveira, A. (2010). Estudio del Secado de Anacardo (*Anacardium occidentale* L.) mediante Secador Solar de Radiación Directa. *Inf. tecnol*. 21 (1), 31-37.
- Morais, S., Silva, K., Araujo, S., Vieira, I., Alves, D., Fontenelle, R., y Silva, M. (2017). Anacardic Acid Constituents from Cashew Nut Shell Liquid: NMR Characterization and the Effect of Unsaturaton on Its Biological Activities. *Journals Pharmaceuticals*. 10 (31), 1-10.
- Philip, J., Buchweishaija, J., Mkyula, L. Y Ye. L. (2007). Preparation of Molecularly Imprinted Polymers Using Anacardic Acid Monomers Derived from Cashew Nut Shell Liquid. *J. Agric. Food Chem*, 55, 8870-8876.
- Herrera, B., Vargas, C., Herrera, M., y Vega, J. (2019). Cardanol: una alternativa ecológica para potenciales aplicaciones en la industria de los polímeros. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 20(6), 262-278.
- Rodríguez, A. (2012). Biodegradabilidad De Materiales Bioplásticos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 22, (3), 69-72.
- Rwahwire, S., Tomkova, B., Periyasamy, A. P., & Kale, B. M. (2019). Green thermoset reinforced biocomposites. *Green Composites for Automotive Applications*, 61-80. doi:10.1016/b978-0-08-102177-4.00003-3
- Serrano, J. (2010). Polihidroxialcanoatos (PHAs): Biopolímeros producidos por microorganismos. Una solución frente a la contaminación del medio ambiente. *Revista Teoría Y Praxis Investigativa*. 5 (2), 79-84.
- Silva, A., Rocha, L., Camargo, I., Silva, D., Dos Santos, D., Vasconcelos, O., Almeida, P., y Mazzeto, S. (2016). Cardanol-based thermoset plastic reinforced by sponge gourd fibers (*Luffa cylindrica*). *Polímeros*. 26(1), 21-19.
- The tyndall center for climate change research (2011), «Shale gas: a provisional assessment of climate change and environmental impacts», Universidad de Manchester.
- Valencia, A. (2015). Los nuevos materiales y el ambiente. *Revista facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. 58-70.
- Wazarkar K, Kathalewar M, Sabnis A. Anticorrosive and insulating properties of cardanol based anhydride curing agent for epoxy coatings. *Reactive and Functional Polymers*, 122, 148-157 (2018).
- Whistler, R., y Daniel, J. (1998). Starch. En K. Othmer(Editorial Limusa S.A. De C.V). *Encyclopedia of Chemical Technology*. (pp. 1-15). Mexico: Editorial Limusa S.A. De C.V

# LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO DAS TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM PARA RESOLUÇÃO DO SUDOKU

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/07/2019 ACEPTADO: 15/09/2019 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/02/2020

### BIBLIOGRAPHIC SURVEY OF IMAGE PROCESSING TECHNIQUES FOR SUDOKU RESOLUTION

<sup>1</sup> João Marcos de Andrade

<sup>2</sup> Me. Wesley Pereira Marcos

Como citar este artículo: Andrade, J; Pereira, W, (2020) Levantamiento bibliografico das técnicas de processamento de imagem para resolucao do sudoku, revista científica Dynamikos 1 (1). Recuperado de: <https://teinco.edu.co/revistas-2-2/>

## RESUMEN

Sudoku es un juego lógico y un problema matemático muy famoso que requiere ciertas rutinas de resolución. Cuando se utiliza un ordenador para resolverlo es necesario transponer el juego del papel al ordenador, donde el procesamiento de imágenes entra para realizar una tarea de este tipo. Así, el presente estudio tiene como objetivo estudiar la bibliografía sobre algoritmos para la resolución del juego con la ayuda del procesamiento de imágenes, además de realizar una ligera comparación entre los algoritmos más utilizados.

**PALABRAS CLAVE:** Sudoku, Procesamiento de imágenes, Sudoku Solver, Backtracking, Algoritmos

## ABSTRACT

Sudoku is a logical game and a very famous mathematical problem which demands certain solving routines. When using a computer to solve it, it is necessary to transpose the paper game to the computer, where image processing enters to perform this task. Thus, the present study aims at a bibliographic survey on algorithms for solving the game with the aid of image processing, in addition to performing a slight comparison between the most used algorithms.

**KEYWORDS:** Sudoku, Image processing, Sudoku solver, Backtracking, Algorithms.

Sumario: 1. Introducción. 2. Método. 2.1. Imagen digital. 2.1.2. Muestreo y cuantificación de imágenes. 2.1.3. Representación de imágenes digitales. 2.1.4. Herramientas utilizadas en el procesamiento de imágenes. 2.2. Sudoku 2.2.2. Historia 2.2.3. Reglas del juego 2.2.4. Algoritmo de solución 2.3. Trabajos relacionados 3. Resultados. 4. Discusión y conclusiones. 5. Referencia bibliográfica.  
Contents: 1. Introduction. 2. Method. 2.1. Digital image. 2.1.2. Image sampling and quantization. 2.1.3. Representation of digital images. 2.1.4. Tools used in image processing. 2.2. Sudoku 2.2.2. History 2.2.3. Rules of the game 2.2.4. Solution algorithm 2.3. Related works 3. Results. 4. Discussion and conclusions. 5. Bibliographic reference.

**1** Estudiante del Curso de Ingeniería Eléctrica - Centro Universitario de Patos de Minas, UNIPAM, Brasil— joaomarcos1@unipam.edu.br

**2** Profesor, Departamento de Ingeniería Eléctrica - Centro Universitario de Patos de Minas, UNIPAM, Brasil— wesleypm@unipam.edu.br

## 1. INTRODUCCIÓN

La visión es el más avanzado de nuestros sentidos, por lo que no es de extrañar que las imágenes jueguen el papel más importante en la percepción humana. Sin embargo, a diferencia de las máquinas, que cubren casi todo el espectro electromagnético (EM), que van desde el rango hasta las ondas de radio, la visión humana se limita a la banda visual del espectro EM (GONZALEZ y WOODS, 2008).

Las máquinas pueden operar en imágenes generadas por fuentes que los humanos no están acostumbrados a asociar imágenes. Esto incluye ultrasonido, microscopía electrónica e imágenes generadas por computadora. Así, el procesamiento de imágenes digitales abarca un amplio y variado campo de aplicaciones (GONZALEZ y WOODS, 2008).

El área de procesamiento de imágenes se ha desarrollado significativamente en las últimas décadas. Dado que el crecimiento se observa en el área académica, donde el tema es objeto de investigación, tesis y tesis en las universidades más importantes de Brasil y el mundo. Y con el tiempo aumentó el número de empresas que utilizan soluciones de procesamiento de imágenes en sus segmentos (NETO y FILHO, 1999). Una posible aplicación es para la resolución del sudoku de una manera computacional.

Sudoku es un rompecabezas donde el jugador necesita llenar los espacios vacíos de una cuadrícula de  $9 \times 9$  con números del 1 al 9, con la condición de que cada dígito aparezca una sola vez, en todas las filas, columnas y regiones  $3 \times 3$ , respetando un conjunto de espacios previamente llenos, llamados pistas (FELISBERTO et al, 2016).

Este artículo tiene como objetivo llevar a cabo una encuesta bibliográfica sobre el procesamiento de imágenes juntos de algoritmos de resolución de sudoku.

## 2. MÉTODO

Para entender el procesamiento de imágenes, primero hay que entender qué es una imagen, de qué está compuesta y similar. Como describe González y Woods (2018), una imagen se puede definir como una función bidimensional  $f(x,y)$ , donde  $x$  e  $y$  son las coordenadas del plano, y la amplitud de 'f', en cualquier coordenadas que se llame el nivel gris en el punto dado. Es decir, cuando los valores de 'x', 'y' y 'f' son finitos y en cantidades discretas, la imagen se llama como imagen digital.

### 2.1 Imagen digital

Una imagen digital es una herramienta útil para los estudios, ya que puede ser la imagen de un espectro que el ser humano no es capaz de visualizar, como fuentes ultrasónicas y electrones microscópicos. Con este procesamiento de imágenes nos proporciona varias aplicaciones en diferentes campos de la ciencia (GONZALEZ E WOODS, 2008).

Como afirman Solomon y Breckon (2010), el campo del procesamiento de imágenes digitales se refiere al procesamiento de imágenes digitales por un ordenador digital. El procesamiento digital de imágenes implica procesos, cuyos inputs y salidas son imágenes y, además,

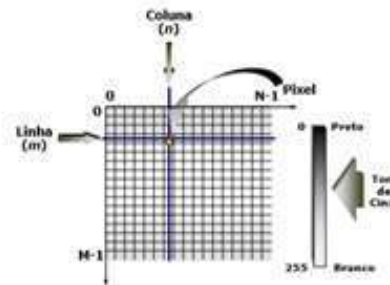
implica procesos de extracción de atributos de imagen e incluso el reconocimiento de objetos individuales, como describe González y Woods (2008).

El interés en los métodos de procesamiento de imágenes proviene de dos áreas de aplicación principales. La mejora de la información visual para la interpretación humana y el procesamiento de datos de imágenes para almacenamiento, transmisión y representación, considerando la percepción automática por máquinas, como menciona Gonzalez et al (2003).

Queiroz y Gomes (2006) dicen que “debido a que las computadoras no son capaces de procesar imágenes continuas, sino sólo matrices de números digitales, es necesario representar las imágenes como arreglos bidimensionales de puntos”. Por lo tanto, cada elemento que da como resultado la imagen digital se denomina píxel

(Figura.1).

Figura 1- Representación de una imagen bidimensional.



Fuente: Queiroz e Gomes, 2006.

Como se puede ver en la Figura 1, es una matriz común para localizar un píxel en una imagen. Se puede señalar “[...] el sentido de lectura (escaneo) y la convención generalmente adoptada en la representación espacial de una imagen digital.” (QUEIROZ y GOMES, 2006).

González y Madera (2002) complementa al decir que la descomposición de la intensidad luminosa (Figura 1) en el punto  $(x,y)$  en: (i) componente de iluminación,  $i(x,y)$ , que se entiende por la cantidad de luz incidente en el punto; y el componente de reflectancia,  $r(x,y)$ , que se refiere a la luz reflejada por el punto. El Producto de  $i(x,y)$  y  $r(x,y)$  resultando en:

$$f(x,y)=i(x,y)*r(x,y) \quad (1)$$

Dónde, y, depender de los matices de la fuente de iluminación, ya depende de las propiedades de las superficies de los objetos.  $0 < i(x,y) < \infty$   $0 < r(x,y) < 1$   $i(x,y)r(x,y)$

Un elemento importante en la creación de una imagen es el color, y los ordenadores utilizan el sistema RGB (rojo-verde-azul) en el procesamiento, donde se controla la intensidad de los colores primarios (SPECHT et al, 2013). Según González y Woods (2003) y González et al (2004), en el sistema RGB, el valor (0.0.0) corresponde al color negro, absorción total, lo que significa que es la intensidad cero en los tres componentes, y el valor (255.255.255) indica el color blanco, la reflexión total.

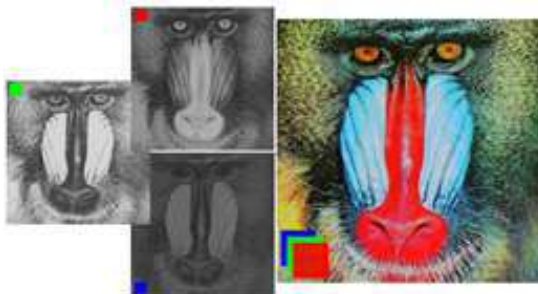
Según Queiroz y Gomes (2006), una imagen digital a color en el sistema RGB, las intensidades de los colores rojo, verde y azul son componentes vectoriales que son lo que llamamos el píxel. Así, la combinación de tres imágenes monocromáticas que forman la imagen en color que se puede ver:

$$f(x,y) = fR(x,y) + fG(x,y) + fB(x,y) \quad (2)$$

Donde, representan las intensidades de luz de los tres componentes primarios. en un momento dado.

$fR(x,y)$ ,  $fG(x,y)$  e  $fB(x,y)$

Figura 2 - Representación de una imagen digital bidimensional.



Fuente: Queiroz e Gomes, 2006.

La Figura 2 muestra los planos monocromos de una imagen y el resultado de la composición de los tres planos. Los mismos conceptos formulados para una imagen digital monocroma se aplican a cada plano de una imagen a color (GONZALEZ y WOODS, 2002).

### 2.1.2 Muestreo y cuantificación de imágenes

Mediante varios métodos se puede obtener una imagen, pero para realizar el procesamiento y almacenamiento de imágenes digitales en un ordenador es necesario realizar su discretización a niveles de coordenadas espaciales y brillo, donde la discretización de las coordenadas espaciales y el brillo se denominan respectivamente muestreo y cuantificación (GONZALEZ y WOODS, 2002).

Queiroz y Gomes (2006) describen que normalmente ambos procedimientos son uniformes, lo que implica el muestreo de la imagen  $f(x,y)$  en puntos equidistantes y cuya forma es una matriz  $M \times N$ , donde cada elemento es una aproximación del nivel gris en el punto muestreado de la imagen a un valor en el conjunto  $0, 1, \dots, L-1$ , como se puede observar en la Figura 3.

Figura 3 - Representación de la matriz  $M \times N$ .

$$F \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix}$$

Fuente: Queiroz e Gomes, 2006.

Asociar el límite inferior (0) del rango de nivel de gris de un píxel, por lo tanto, el color negro y el límite superior ( $L-1$ ) al blanco. Así, los píxeles que están entre 0 y  $L-1$  presentaron diferentes tonos de gris donde más cerca de cero más oscuro estará la sombra (GONZALEZ y WOODS, 2002).

Las características de la imagen, sus dimensiones y la complejidad de los objetivos contenidos en ella, en cuanto a la aplicación a la que está destinada, pueden proporcionar el número de muestras y niveles de gris necesarios para la representación de la imagen digital de calidad adecuada. (QUEIROZ y GOMES, 2006). Figura 4 de (A) a (D) este concepto se ejemplifica.

Figura 4 – Influencia de la variación del número de muestras y niveles de cuantificación en la calidad de una imagen digital: (A) 200 x 200 píxeles / 256 niveles; (B) 100 x 100 píxeles / 256 niveles; (C) 25 x 25 píxeles / 256 niveles; y (D) 200 x 200 píxeles / 2 niveles.



Fuente: Queiroz e Gomes, 2006.

Al obtener una imagen de calidad de televisión, se necesitan 512 x 512 píxeles y 128 niveles de gris. La cantidad de niveles de ceniza considerados suficientes para la visión humana es de 64 niveles. Sin embargo, la mayoría de los sistemas de visión artificial utilizan imágenes con 256 niveles de ceniza (FILHO y NETO, 1999).

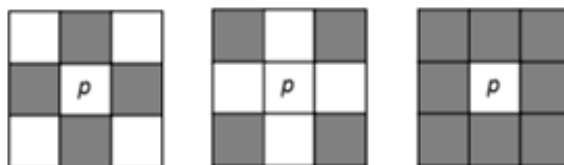
### 2.1.3 Representación de imágenes digitales

Como se describe en el artículo anterior, González y Woods (2018) describen una imagen como una función de  $f(x,y)$ , es decir, una función bidimensional. Por lo tanto, hay a su vez una relación entre los píxeles de una imagen digital que puede influir en su procesamiento. Como factores de vecindad, adyacencia, conectividad, distancia, regiones y fronteras.

El factor de vecindad de un píxel es ejemplificado por Filho y Neto (1999) como, los píxeles que están directamente al lado del píxel  $p(x,y)$ , es decir, el píxel  $p$  presenta 4 vecinos, siendo 2 horizontales y 2 verticales que las coordenadas son:  $(x+1,y)$ ,  $(x-1,y)$ ,  $(x,y+1)$  y  $(x,y-1)$ .

Estos píxeles son el '4-vecindario' del píxel 'p' mencionado anteriormente, el conjunto. Sin embargo, los píxeles que se encuentran en la diagonal del píxel 'p', los que se encuentran en las coordenadas  $(x+1,y+1)$ ,  $(x+1,y-1)$ ,  $(x-1,y+1)$  y  $(x-1,y-1)$  constituyen una vecindad junto a la '4-vecindario', que se llama '8-neighborhood', o bien el conjunto. González y Madera (2008) añade que a veces algunos puntos de este barrio no existirán porque el píxel 'p' está situado en el borde de la imagen digital. Como se puede ver en la Figura 5.

Figura 5 - Representación gráfica de 4-vecindad, vecindad diagonal y 8-vecindad, respectivamente.



Fuente: Filho e Neto, 1999.

El factor de adyacencia es considerado por González y Woods (2008) como 3 tipos, '4-adyacencia', '8-adyacencia' y 'm-adyacencia' (adyacencia mixta). Cuando hacer tal distinción es necesario considerar 'V' siendo este el valor de intensidad utilizado para definir la adyacencia entre píxeles.

Por ejemplo, puede utilizar una imagen binaria en la que el valor de  $V = \{1\}$ , si hace referencia a la adyacencia del valor 1 entre píxeles. En una escala de grises, se sigue el mismo razonamiento, y 'V' presentará una mayor variedad de valores (GONZALEZ y WOODS, 2008).

Teniendo en cuenta dos píxeles 'p' y 'q', que se someterán a una comprobación de adyacencia, donde si ambos con valores contenidos en 'V' serán '4-adyacentes' si 'q' pertenece a. Lo mismo ocurre con '8-adyacencia' tanto con los valores contenidos en 'V' como si 'q' pertenece a.

Sin embargo, la adyacencia mixta o 'm-adyacencia' como los otros dos tipos requieren que 'p' y 'q' tengan valores contenidos en 'V' y 'q' para pertenecer, pero también 'q' puede pertenecer a y el conjunto de ningún valor que pertenezca a 'V' (GONZALEZ y WOODS, 2008).

Analizar un subconjunto de píxeles de una imagen donde los píxeles 'p' y 'q' se dirán como conectados en la condición de una "ruta" de píxeles adyacentes que pertenecen al mismo subconjunto existen entre ellos (FIGURA 6). Cuando cualquier píxel de un subconjunto de píxeles conectados se denomina componente conectado, incluso si solo hay un componente conectado, el conjunto seguirá denominado conjunto conectado (GONZALEZ y WOODS, 2008).

Figura 6 –Representación de matriz de una imagen binaria,'8-adyacencia' del píxel central y 'adyacencia m' del píxel central respectivamente.

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |

Fuente: Totalmente generado por el autor,2020.

Llamarlo 'R' como un subconjunto de píxeles de una imagen. Donde este subconjunto es un conjunto conectado se llamará una región. Un ejemplo utilizado por González y Woods (2008), se considera dos regiones y se dice como adyacente, además de su unión forma un conjunto conectado.

Las regiones que no son adyacentes se denominan desarticuladas. Cuando se trata de regiones se considera la 'adyacencia 4' y '8-adyacencia' (Figura 7), donde dar sentido lógico se debe especificar el tipo de adyacencia que se utilizará. Como se ve en el cuadro 6, si se utiliza en '4-adyacencia' las dos regiones no están conectadas porque no hay trayecto válido.

Figura 7 -Dos regiones donde se utilizó la adyacencia 8 en relación con los píxeles 1.

|   |   |   |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

Fuente: González y Woods, 2008.

Teniendo en cuenta una región donde prevalece la mayoría de los píxeles del mismo valor, que tienen una "conectividad 4", es posible observar la existencia de dos tipos de píxeles dependiendo de su ubicación. Donde los píxeles que tienen una "conectividad 4" completa se denominan la línea inferior o de fondo y los píxeles que no tienen esta característica se denominan la línea de frente (GONZALEZ y WOODS, 2008).

Figura 8 –Pixel de Linha de fundo ou plano de fundo

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: González y Woods, 2008.

Como se muestra en la Figura 8, se puede observar la ubicación de un borde, es decir, la delimitación de un área de píxeles comunes entre sí. Los píxeles que están en el borde de esta área son los píxeles del borde o también como se describió anteriormente son los píxeles de primera línea.

Para las mediciones de distancia de píxeles, descritas por Filho y Neto (1999) si los píxeles p, q y z se estipulan respectivamente en coordenadas (x, y), (s, t) y (u, v). La función de distancia D se puede establecer siguiendo las siguientes propiedades:

- $D(p, q) \geq 0$  (si y sólo si);  
 $D(p, q) = 0 \quad p = q$
- $D(p, q) = D(q, p)$  ;
- $D(p, z) \leq D(p, q) + D(q, z)$  ;

Filho y Neto (1999) también mencionan las distancias euclidianas, las distancias D4 y las distancias D8. La distancia euclidiana se refiere al radio entre los dos puntos. La distancia D4 también conocida como City-Block es una forma centrada en píxeles de rand (x,y). La Distancia D8 llama al tablero de ajedrez generar la forma de un cuadrado centrado en el píxel

(x,y).

## 2.1.4 Herramientas utilizadas en el procesamiento de imágenes

Una herramienta importante en el procesamiento de imágenes es el filtrado, que se utiliza normalmente para el filtrado espacial y el filtrado de dominio de frecuencia. Donde el método espacial funciona con convoluciones de máscaras directamente en la matriz de píxeles, la imagen digital. El método de dominio de frecuencia, a su vez, utiliza la transformación de Fourier que se va a realizar (FILHO y NETO, 1999).

Según Russel y Norvig (2004), convertir las características de una imagen en un modelo de objetos conocidos es un proceso conocido como reconocimiento de objetos. Donde consta de tres pasos: segmentación de la imagen en objetos distintos, la posición y orientación de cada objeto en el punto de vista del observador y la forma especificada de cada objeto. El reconocimiento es el paso que clasifica los objetos encontrados, teniendo en cuenta un conjunto de conocimientos previamente establecidos.

## 2.2 Sudoku

Siendo uno de los juegos de números más populares desde el año 2005, el sudoku, que en la traducción literal es “número en su lugar”, para su resolución se utiliza combinaciones lógicas de prueba y error (CHEN et al, 2016).

### 2.2.2 Histórico

En 1780, Euler demostró la idea de organizar un conjunto particular de números para que cualquier número (o símbolo) se produzca una sola vez en cada fila o columna. Las Reglas del Sudoku han sido propuestas actualmente por Howard Garns, y la expansión de la restricción de Euler es válida para las regiones 3x3 (PAL et al, 2018). Un ejemplo de juego se muestra en la Figura 9.

Figura 9 – Un juego de Sudoku (a) y su solución(b).

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|   |   | 1 |   |   |   |   | 9 | 6 |
|   |   | 7 |   |   |   |   | 2 | 4 |
| 9 | 4 |   | 6 | 1 | 8 |   |   |   |
|   |   |   |   | 5 | 7 |   |   |   |
|   | 1 | 6 | 3 | 4 |   |   |   |   |
|   |   |   |   | 6 |   |   | 1 |   |
| 1 | 9 | 5 |   |   | 6 | 4 |   | 7 |
| 7 | 8 |   |   |   |   |   |   |   |
| 2 | 3 |   | 7 | 1 | 9 | 8 | 5 |   |

**a**

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 5 | 1 | 7 | 2 | 4 | 8 | 9 | 6 |
| 8 | 6 | 7 | 5 | 9 | 3 | 2 | 4 | 1 |
| 9 | 4 | 2 | 6 | 1 | 8 | 7 | 5 | 3 |
| 4 | 3 | 8 | 1 | 5 | 7 | 6 | 2 | 9 |
| 2 | 1 | 6 | 3 | 4 | 9 | 5 | 7 | 8 |
| 5 | 7 | 9 | 8 | 6 | 2 | 3 | 1 | 4 |
| 1 | 9 | 5 | 2 | 8 | 6 | 4 | 3 | 7 |
| 7 | 8 | 4 | 9 | 3 | 5 | 1 | 6 | 2 |
| 6 | 2 | 3 | 4 | 7 | 1 | 9 | 8 | 5 |

**b**

**Fuente: Autoral generado por el generador de sudoku,2020.**

En 1984, Maki Kaji publicó el juego en la revista Nikoli una revista de rompecabezas, donde le dio al juego su nombre moderno de sudoku. La versión estándar del juego se reduce a una mesa de 9x9 que cuenta con 81 espacios y 3x3 regiones. Todo sudoku comienza con algunos espacios ya llenos, y teniendo el objetivo de llenar los 81 espacios siguiendo ciertas reglas (RAOUF et al, 2014).

### 2.2.3 Reglas del juego

Como afirman Deshmukh et al (2016), el sudoku es un

rompecabezas combinatorio basado en la lógica 9X9. El rompecabezas proporciona una cuadrícula parcialmente completada, que normalmente tiene una única solución. Un Sudoku completamente lleno satisface la propiedad de que cada una de las nueve cuadrículas 3X3 de Sudoku contiene cada número del 1 al 9 exactamente una vez. Para la resolución del sudoku es necesario seguir tres reglas según Raouf et al (2014), que son:

- En cada línea debe contener los números 1 a 9 de manera diferente, es decir, los números no deben repetirse en la misma línea, como se muestra en la figura 10:

Figura 10 -Ejemplo de fila resuelta.

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 5 | 1 | 7 | 2 | 4 | 8 | 9 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

**Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.**

- En cada columna debe contener los números del 1 al 9 de manera diferente, es decir, los números no deben repetirse en la misma línea, como se muestra en la figura 11:

Figura 11 - Ejemplo de columna resuelto.

|   |
|---|
| 3 |
| 8 |
| 9 |
| 4 |
| 2 |
| 5 |
| 1 |
| 7 |
| 6 |

**Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.**

- En cada región 3x3 debe contener los números 1 a 9 de manera diferente, es decir, los números no deben repetirse en la misma línea, como se muestra en la figura 12:

Figura 12 - Ejemplo de región resuelta.

|   |   |   |
|---|---|---|
| 3 | 5 | 1 |
| 8 | 6 | 7 |
| 9 | 4 | 2 |

**Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.**

El juego es atractivo en la opinión de Godinho (2008), porque las reglas son simples, pero el razonamiento necesario para lograr la solución puede ser complejo. Godinho (2008) incluso dice que “Sudoku es recomendado por algunos educadores como un ejercicio para el pensamiento lógico. El nivel de dificultad se puede seleccionar de acuerdo con el público para el que está destinado.”

### 2.2.4 Algoritmo de solución

Chen et al (2016) describen que el sudoku puede considerarse un problema de satisfacción de las restricciones, es decir, un PSR. Sudoku es entonces un PSR con 81 variables y cada espacio de tabla ocupa una sola variable, y solo los dígitos 1 a 9 son válidos para cada variable.

Las variables se pueden nombrar siguiendo la siguiente definición, observando la primera línea de izquierda a derecha si tiene A1 a A9, mientras que cuando mira las columnas que ha seguido la dirección de arriba hacia abajo tenemos las variables de A1 a I1 como se muestra en la Figura 12.

Figura 12 - Ejemplo de la orientación de las variables como PSR.

Fonte: CHEN et al, 2016.

Un algoritmo utilizado para resolver problemas de satisfacción de restricciones es el backtracking. El algoritmo selecciona el primer espacio vacío, le asigna un dígito y comprueba si hay conflictos. Si no tiene el proceso se repite en el segundo espacio, sin embargo, si el conflicto se produce se asignará otro dígito (CHEN et al, 2016).

La idea básica de backtracking es que si no hay ningún conflicto en el espacio actual asigna un valor al espacio siguiente, si no es posible vuelve al espacio anterior y le reasigna un dígito distinto. Este es el proceso conocido como retroceso (CHEN et al, 2016).

### 2.3 Trabajos relacionados

Algunos algoritmos de solución para Sudoku han sido implementados por diferentes autores. A continuación, se presentaron brevemente diferentes soluciones.

Según Weyland (2015), cuando se utiliza la búsqueda armónica (HS), implica que su uso por sí mismo no ofrece ninguna novedad. El uso del algoritmo se pega al rendimiento que se puede obtener con una evolución de las estrategias y que incluso después de años de investigación no ofrecía resultados significativos.

Según Raouf et al (2014), con el método híbrido del algoritmo de polinización con la investigación de la armonía caótica (FPCHS). Raouf et al obtuvieron un resultado numérico más preciso y preciso en comparación con el uso de un método básico de búsqueda armónica.

El algoritmo híbrido cuántico-clásico fue implementado por Pal et al (2018) para la resolución sudoku de regiones 4x4 incompletas, que resultó ser un método exponencialmente más rápido.

Chen et al (2016) llevaron a cabo un estudio con backtracking algoritmos y algoritmos de enlace de baile (algoritmo x) donde resultó más lento debido a la falta de una base de datos anterior, pero resultó más eficiente en sudokus más complejos. En el Cuadro 1 se presenta un resumen de los métodos empleados por los autores antes mencionados:

Tabla 1 - Algoritmos utilizados por otros autores.

| Autor       | Año  | Algoritmo utilizado      | Observes                              |
|-------------|------|--------------------------|---------------------------------------|
| Weyland     | 2015 | Hs                       | Resultó ineficiente                   |
| Raouf et al | 2014 | FPCHS                    | Es más preciso y preciso que el HS    |
| Pal et al   | 2018 | híbrido cuántico-clásico | Es más rápido en sudokus 4x4          |
| Chen et al  | 2016 | Algoritmo x              | Es más eficiente en sudokus complejos |

Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.

### 3. RESULTADOS

Al realizar investigaciones sobre los algoritmos de solución para el sudoku, se encontraron las soluciones más diversas con diferentes grados de complejidad para la resolución computacional de un juego tan famoso que es sudoku.

Como se ve en el trabajo de Felisberto (2016) donde hizo un trabajo detallado sobre la ejecución de la construcción de un robot solver de sudoku donde durante su artículo el mismo consideró el uso de algoritmos de solución como Backtracking, Dance Links y Ruled based. Cuando al final se decide el uso del retroceso con la ayuda de algunos dispositivos como las técnicas de valores mínimos restantes (MVR) y comprobación directa (FC).

Sin embargo, debido a que no hay profundidad en relación con el rendimiento de la solución no se puede comparar con los otros estudios para no presentar datos de comparación, pero es extremadamente detallado en su ejecución.

El trabajo de Kamal et al (2015) compara tres tipos de algoritmos que son Backtracking, Simulated Annealing y Genetic Algorithm. Cuando los resultados obtenidos de su trabajo apuntan a una mayor eficiencia del algoritmo de retroceso en relación con el otro, principalmente en relación con el sudoku de mayores grados de complejidad, donde el tiempo de resolución es considerablemente más corto en comparación con el algoritmo genético y ligeramente inferior al de recocido simulado simulado.

Al igual que en el trabajo de Kamal et al (2015) donde los otros algoritmos estudiados tuvieron un rendimiento inferior al retroceso, otro artículo que demuestra resultados de comparación es el trabajo de Berggren y Nilsson (2012) donde el retroceso fue el segundo algoritmo más eficiente. Sin embargo, no fue capaz de resolver aproximadamente 2.3% de los puzzles probados. mientras que los otros algoritmos

probados como el gobernado base fue el algoritmo probado más rápido además de haber logrado resolver todos los puzzles. El tercer algoritmo visto fue el solver de la máquina boltzmann que no funcionaba tan bien como los otros donde tenía que tener 46 pistas para tener ejecuciones razonables siendo que era incapaz de resolver el 2,5% de los puzzles.

El estudio de Job y Paul (2016) se llevó a cabo con el objetivo del algoritmo de retroceso, donde se probaron 30 rompecabezas divididos en el número de pistas, de 17 a 22 pistas. El resultado fue un tiempo medio de resolución del rompecabezas de 20.365 segundos, con los puzzles con más pistas teniendo un tiempo más corto en comparación con los puzzles de menos pistas de 3.24 segundos. Otro trabajo que también tuvo resultados similares fue el artículo de Majumder et al (2010), y la plataforma utilizada para resolver puzzles fue en entorno java donde tenía resultados en comparación con otro software un tiempo de resolución de 20 milisegundos.

Schottlander (2014) llevó a cabo un experimento en el que utilizó dos enfoques distintos utilizando el algoritmo de retroceso, que son opciones ordenadas y desordenadas. Incluso si el enfoque tiene el potencial de resolver los puzzles más rápidamente se observó lo contrario, especialmente en juegos con menos pistas, sin embargo en juegos con mayor número de pistas el rendimiento era prácticamente el mismo. Un trabajo que realizó pruebas de comparación entre algoritmos de fuerza bruta, Deliberación simulada. Algoritmo Genético, Búsqueda de Armonía y Referencia de Gráficos fue realizada por Chatterjee et al (2014). Se obtuvo como resultado que el algoritmo de mayor velocidad era la referencia de gráficos, haciendo una fuerza bruta bien emparejada, con algunos casos siendo más rápido. También se notó que la búsqueda de Harmony tenía la peor velocidad llegando a los casos de 100 segundos para resolver un rompecabezas.

El artículo de Bunma y Chongstitvatana (2010) muestra que el algoritmo genético tiene una buena tasa de éxito, y en su estudio sólo no pudo resolver los problemas considerados de nivel extremo. Mientras que los otros niveles de dificultad tenían una tasa de solución del 100%.

Chi y Lange (2012) realizaron estudios de los algoritmos de retroceso y recocido simulado, así como de proyecciones alternativas. Es notable que el rendimiento más eficiente y rápido fue el de retroceso en rompecabezas aplicados donde la tasa de éxito fue de 1.0 y la resolución media de 0.008 segundos con casos de rompecabezas más complicados que alcanzan hasta el tiempo de 0.031 segundos para la resolución. Mientras que en estos mismos casos simulado recocido alcanzó 7.2 segundos y Proyecciones Alternativas 0.5 segundos. y ambos no tenían una alta tasa de resolución siendo un promedio de 0,75 y 0,72 respectivamente.

Se ve que el algoritmo de retroceso es más rápido que la Fuerza Bruta según Eremic et al (2013). Donde esa comparación se realizó usando rompecabezas con diferentes cantidades de pistas siendo 36 para fácil, 32 para el medio y 28 para duro. El algoritmo de retroceso completó los puzzles a 6 ms, 42 ms y 46 ms, mientras que la fuerza bruta tomó más de 90 minutos en todas las dificultades.

En 2015 Sabuncu desarrolló un algoritmo para resolver rompecabezas sudoku que fue llamado el algoritmo híbrido de optimización de colonias de hormigas. Este algoritmo desarrollado es un híbrido de algoritmo de colonia de hormigas y métodos analíticos de solución sudoku. Sus pruebas en su algoritmo de rompecabezas considerado difícil fue que es capaz de resolverlo en menos de 2 segundos.

Wang et al(2015) en su trabajo utilizaron el Algoritmo Genético con una diferencia porque aplicaron un método de Mutaciones Filtradas donde el uso de las reglas de rompecabezas que se aplican después de que los candidatos elegibles de cada celda son elegidos por el algoritmo convencional aplicando así el número más cohesivo a la solución en lugar de elegir aleatoriamente entre los elegibles. Con este método logró una mejora en la tasa de éxito del algoritmo de 4.167% a 65.52% en rompecabezas de mayor dificultad.

El algoritmo aplicado por Zhai y Zhang (2013) conocido como Entropía de Información Personalizada donde sus resultados fueron muy positivos. En su trabajo se hace la comparación con el algoritmo genético donde tanto en la tasa de éxito y la velocidad el algoritmo de la entropía de información fue más eficaz principalmente en rompecabezas más complejos y el tiempo medio de resolución es de 5,3 ms, mientras que el algoritmo genético pasó 14 segundos con una tasa de éxito de 0,9 y 0,7.

Borges et al (2016) aplicaron el método de tinción de gráficos para la resolución de sudoku. Para su artículo desarrollaron dos algoritmos donde el algoritmo llamado como algorithm2 tuvo el mejor rendimiento siendo la resolución de problemas de sudoku 9x9 en menos de 0.02 segundos, pero también realizó pruebas en rompecabezas con cuadrículas más grandes como 25x25 donde tenía un tiempo de resolución de 46.33 segundos.

En 2009, Pacurib et al llevaron a cabo el estudio de la solución con el algoritmo llamado Colonia De abeja artificial, sus resultados no fueron muy expresivos en relación con la velocidad de resolución de los puzzles donde aproximadamente 4, 12, 176 segundos se gastaron en puzzles considerados fáciles, medios y difíciles respectivamente.

Almog (2009) llevó a cabo un estudio comparando el rendimiento de tres algoritmos que son: Quantum Simulated Annealing (QSA), Algoritmo Genético Cultural y un algoritmo híbrido entre ellos, el QSA fue el que obtuvo el mejor éxito y tasa de rendimiento resolviendo el 64% de los puzzles como un promedio de 40 segundos.

Gunther y Moon (2014) utilizaron un algoritmo de minimización de Entropía en 2012 para resolver más de 4000 rompecabezas de sudoku donde se dividieron por igual en fáciles, medios, difíciles y malvados. El algoritmo tuvo buenos resultados y la estrategia fue nombrada Como C, obtuvo rendimientos en cada nivel respectivamente de 0.1; 0.13; 0.22 y 0.29 segundos siendo incapaz de resolver sólo 2 rompecabezas de nivel maligno.

Mantere en 2008 probó el uso de Algoritmo Cultural para la solución sudoku. Sus resultados muestran que dicho algoritmo presenta un rendimiento ligeramente más eficiente en comparación con el algoritmo genético.

En 2006 Mantere llevó a cabo un trabajo utilizando algoritmo genético, donde dice que el algoritmo genético de una manera pura, es decir, sin ninguna regla específica del problema para el sudoku no es muy eficiente en la resolución de los puzzles, pero son solucionables.

El estudio de Sato e Inoue (2010) utilizó algoritmo genético y realizó algunos cambios, como el uso de una función de búsqueda local entre otros métodos que resultaron en una mejora significativa en el rendimiento del algoritmo. Lim et al (2015) también realizaron la prueba de comparación de su algoritmo genético de par monógamo con el algoritmo Sato e Inoue donde se realizó de manera similar y una diferencia

del 1% en la tasa de éxito.

Soto et al(2014) realizaron un estudio de comparación entre los algoritmos AC3 en dos métodos, siendo Tabu Search y Cuckoo Search with the Genetic Algorithm, donde demostraron que los métodos AC3 tenían el uso del 100% en la resolución de rompecabezas con la limitación de sólo cien mil interacciones mientras que el Algoritmo Genético tenía sólo un 6.6% de utilización de los puzzles con esta limitación. También se realizó sin el límite de interacciones y todos los algoritmos tenían una utilización del 100%.

En 2015, Soto et al demostraron en un artículo el funcionamiento del algoritmo AC3 con la adición de técnicas de filtrado, que resultaron ser muy útiles para facilitar el proceso de resolución del rompecabezas. También en 2015 Soto et al realizaron una comparación del algoritmo basado en el teorema del matrimonio con AC3 de su estudio anterior, donde se observó que obtuvo un rendimiento similar.

Harrysson y Laestander (2014) escribieron que el algoritmo Dance Links resuelve el rompecabezas de manera eficiente. El algoritmo basado en Ant Colony Optimization propuesto por Lloyd y Amos (2019), donde el algoritmo demuestra un rendimiento más eficiente en problemas más difíciles que algoritmos como Backtracking y Dance Links tanto en tiempo de resolución como en tasa de éxito;

La conclusión que Weiss (2009) tuvo en la realización de su trabajo en algoritmo genético para la solución Sudoku, es que el algoritmo realiza la función mal en comparación con backtracking, al menos en rompecabezas de cuadrícula 9x9. Como a veces es necesario que el proceso se reinicie para lograr el resultado, porque ocurre que el algoritmo se atasca, incapaz de alcanzar la solución, que se presenta para ser un problema de optimización para el uso que se impone.

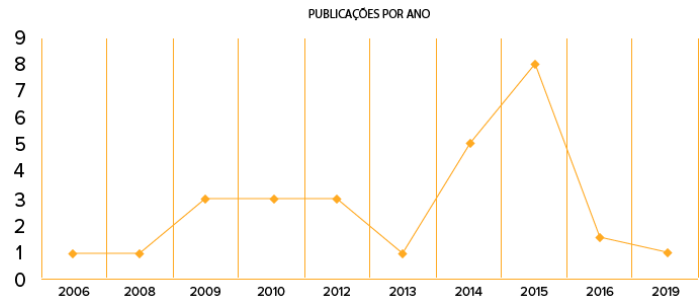
Lindberg y Steier (2015) propusieron el uso de un algoritmo híbrido de búsqueda AC3 y Taboo. Los autores describieron que tal algoritmo no es apropiado para la resolución del rompecabezas, porque en comparación con el método Fuerza bruta el algoritmo realizado más bajo, ya sea la tasa de éxito o el tiempo de resolución del rompecabezas. También describen que no creen que la optimización del algoritmo sea posible.

Coelho y Laporte (2014) expresan en su artículo que el algoritmo de retroceso tiene una mejora de la eficiencia cuando se basa en criterios heurísticos. También demuestra que el algoritmo Backtracking with Heuristics presenta una constancia en el tiempo de resolución independientemente del número de pistas, con una ligera variación en los tiempos de solución.

Borges et al (2016) aplicaron el método de tinción de gráficos para la resolución de sudoku. Para su artículo desarrollaron dos algoritmos donde el algoritmo llamado como algorithm2 tuvo el mejor rendimiento siendo la resolución de problemas de sudoku 9x9 en menos de 0.02 segundos, pero también realizó pruebas en rompecabezas con cuadrículas más grandes como 25x25 donde tenía un tiempo de resolución de 46.33 segundos.

Después de leer los artículos fue posible recopilar cierta información, es posible notar que las publicaciones vistas comenzaron en 2006.é visible que en 2015 tuvo un aumento en el número de publicaciones relacionadas con el tema como se ve en el gráfico 1.

Figura 1 - Publicaciones relacionadas con el tema cada año.



Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.

La Tabla 2 muestra los algoritmos más frecuentes en las publicaciones, y desde 2010, la mayoría de los artículos vistos utilizaban retroceso para sus estudios.

Tabla 2 - Publicaciones y algoritmos más cubiertos por el período.

| Período        | Quiantidade | Técnica mais frequente |
|----------------|-------------|------------------------|
| 2004-2010      | 5           | Algoritmo genético     |
| 2010-2015      | 12          | Retroceso              |
| 2015-corriente | 11          | Retroceso              |

Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.

En este período tuvo varios estudios utilizando los enfoques más diferentes. Se demuestra en la tabla que los algoritmos más abordados fueron los algoritmos de retroceso, algoritmo genético y el recocido simulado.

Tabla 3 - Número de veces que el algoritmo fue abordado o citado.

| Técnica utilizada  | Cantidad |
|--------------------|----------|
| Retroceso          | 13       |
| Algoritmo genético | 11       |
| Anconte simulado   | 4        |

Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.

A partir de los estudios que proporcionaron datos de comparación de los algoritmos mencionados anteriormente, como el tiempo de ejecución y la tasa de éxito, disponibles en la Figura 13. Sin embargo, no es posible hacer una comparación directa entre los métodos aplicados, porque los estudios se realizaron en diferentes plataformas y máquinas.

Figura 13 - Datos sobre la eficiencia y la tasa de éxito de los algoritmos.

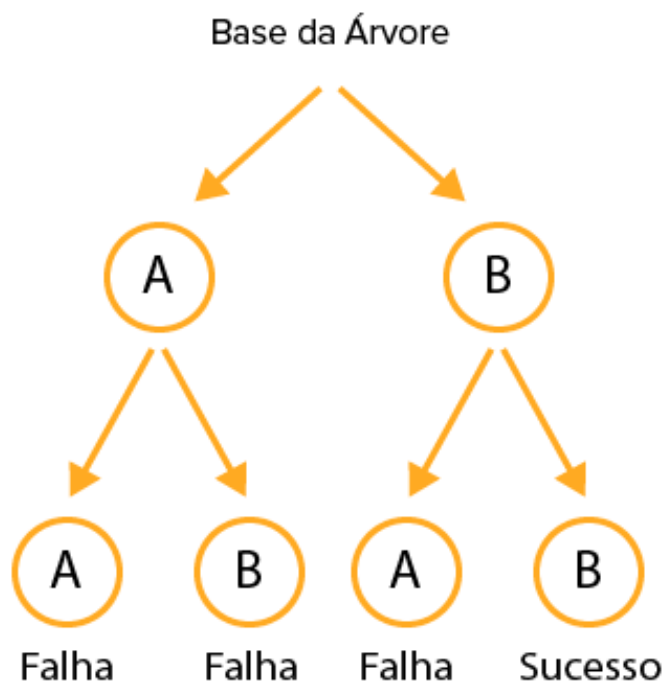
|                            | Almong (2009)   |                       | Chi e Lange (2012)           |                       | Chatterje et al (2014)          |                       | Kamal et al (2015)         |                           |
|----------------------------|-----------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|
|                            | Taxa de sucesso | Tempo de execução (s) | Taxa de sucesso              | Tempo de execução (s) | Taxa de sucesso                 | Tempo de execução (s) | Taxa de sucesso            | Tempo de execução Log (s) |
| Backtracking / Brute force | xxx             | xxx                   | 1                            | 0,008                 | xxx                             | 0,051733              | xxx                        | 0,1                       |
| Genetic Algorithm          | 0,13            | 75,75                 | xxx                          | xxx                   | xxx                             | 3,883                 | xxx                        | 5000                      |
| Simulated Annealing        | 0,64            | 40,2                  | 0,97                         | 0,753                 | xxx                             | 0,526667              | xxx                        | 5                         |
| Obs:                       | xxx             |                       | Dados: métrica do nível Hard |                       | Taxa de sucesso definida como 1 |                       | Dados: Puzzle com 25 dicas |                           |

Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.

Se puede tomar de la figura 13 mostrada anteriormente, que el algoritmo de retroceso funciona bien como una buena tasa de éxito. Es notable que de los algoritmos más abordados tiene un rendimiento ligeramente superior en comparación con el Annealing Simulado y ambos tienen una gran disparidad en comparación con el Algoritmo Genético.

El algoritmo de retroceso, aunque es un algoritmo de baja complejidad en relación con el otro, funciona bien. El retroceso se comporta como se expresa en la Figura 14.

Figura 14 - Ejemplo de la operación de retroceso.



Fuente: Totalmente generado por el autor, 2020.

La lógica de funcionamiento de retroceso es bastante simple, donde el algoritmo establece una ruta de operación que seguirá a las decisiones tomadas hasta que se produzca un error o conflicto con las reglas estipuladas. Si se produce este error, el algoritmo devuelve un paso anterior de la causa del conflicto e intenta una nueva rama del árbol de decisión, siguiendo así la resolución que se considera adecuada. Como se muestra en la figura 14.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como se ve en este artículo, donde se demostró la parte teórica sobre el procesamiento de imágenes y cómo esta técnica se puede aplicar al escaneo de rompecabezas Sudoku. Se presentan varios algoritmos, que complementan la técnica de procesamiento de imágenes con el fin de obtener el resultado del rompecabezas deseado.

Varios de los algoritmos vistos en este artículo tienen una gran tasa de éxito, así como un tiempo de ejecución bajo. Entre los algoritmos que se ajustan a esta descripción, el algoritmo BackTracking fue resaltado por su baja complejidad y a su vez fácil comprensión, donde no tiene una tasa de éxito perfecta. es ideal para aplicaciones y modificaciones de la misma, como se ve en el trabajo de Felisberto (2016). Lo que construyó un robot solver Sudoku que no requería algoritmos más complejos para lograr el resultado esperado.

Sudoku es un hermoso desafío matemático, que permite su uso para pruebas y desarrollo de algoritmos capaces de resolverlo con éxito. Un algoritmo que mostró avances significativos fue el algoritmo genético a partir de nuevos enfoques como Sato e Inoue (2010).

Un contratiempo observado en el estudio bibliográfico fue la falta de estandarización de los puzzles utilizados en las pruebas. Donde en cada publicación a menudo utilizaban diferentes rompecabezas y también los clasificaban por diferentes niveles de dificultad. Esta práctica impide una comparación más objetiva de las interpretaciones obtenidas en cada publicación. Dado que para un desarrollo más claro y comparaciones más objetivas del trabajo futuro se recomienda estandarizar los puzzles utilizados en las pruebas o simplemente la adición de ellos en apéndices para que los futuros investigadores puedan utilizar los mismos puzzles.



## REFERENCIAS



- A. Deshmukh, A. Nagraj, M. A. Radke, (2016). SudoKrypt: A Novel Sudoku based Symmetric Encryption Scheme. *Journal of Network and Information Security* Volume, 4(2).
- A. Majumder, A. Kumar, N. Das, N. Chakraborty, (2010). The game of Sudoku-advanced backtrack approach. *IJCNS–International Journal of Computer Science and Network Security*, 10, 255-258.
- A. Pal, S. Chandra, V. Mongia, B. K. Behera, P. K. Panigrahi, (2018). Solving Sudoku Game Using Quantum Computation.
- C. S. G. Godinho, (2008). Alguma da matemática do sudoku (Doctoral dissertation, Universidade de Aveiro).
- C. Solomon, T. Breckon, (2011). Fundamentals of digital image processing: a practical approach with examples in Matlab. Wiley-Blackwell.
- D. Bunma, P. Chongstitvatana, (2010). Solving Logic Puzzles with Genetic Algorithm.
- D. Job, V. Paul, (2016). Recursive Backtracking for Solving 9\* 9 Sudoku Puzzle. *Bonfring International Journal of Data Mining*, 6(1), 07-09.
- E. C. Chi, & K. Lange, (2012). Techniques for solving sudoku puzzles. arXiv preprint arXiv:1203.2295.
- G. Zhai, J. Zhang, (2013). Solving sudoku puzzles based on customized information entropy. *International Journal of Hybrid Information Technology*, 6(1), 77-91.
- H. Lloyd, M. Amos, (2019). Solving Sudoku with Ant Colony Optimization. *IEEE Transactions on Games*.
- I. Sabuncu, (2015, March). Work-in-progress: solving Sudoku puzzles using hybrid ant colony optimization algorithm. In *2015 1st International Conference on Industrial Networks and Intelligent Systems (INISCom)* (pp. 181-184). IEEE.
- J. A. Pacurib, G. M. M. Seno, J. P. T. Yusiong, (2009, December). Solving sudoku puzzles using improved artificial bee colony algorithm. In *2009 fourth international conference on innovative computing, information and control (ICICIC)* (pp. 885-888). IEEE.
- J. Almog, (2009). Evolutionary computing methodologies for constrained parameter, combinatorial optimization: Solving the Sudoku puzzle. *Africon 2009*. <https://doi.org/10.1109/afcon.2009.5308284>
- J. E. R. Queiroz, & H. M. Gomes, (2006). Introdução ao processamento digital de imagens. *Rita*, 13(2), 11-42.
- J. Gunther, T. Moon, (2012). Entropy Minimization for Solving Sudoku. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 60(1), 508–513. <https://doi.org/10.1109/tsp.2011.2169253>
- J. Lindberg, M. Steier, (2015). Efficiency of the hybrid AC3-tabu search algorithm for solving Sudoku puzzles.
- J. M. Weiss, (2009, April). Genetic algorithms and sudoku. In *Midwest Instruction and Computing Symposium (MICS 2009)* (pp. 1-9).
- L. C. Coelho, G. Laporte, (2014). A comparison of several enumerative algorithms for Sudoku. *Journal of the Operational Research Society*, 65(10), 1602–1610. <https://doi.org/10.1057/jors.2013.114>
- L. Chen, Y. Guo, S. Wang, S. Xiao, K. Kask, (2016). Sudoku Solver.
- L. P. Specht, O. Khatchatourian, R. T. Dos Santos, (2013). Measurement of pavement macrotexture through digital image processing. *Acta Scientiarum. Technology*, 35(1), 31-38.



- M. Eremic, R. Adamov, N. Bilinac, V. Ognjenovic, V. Brtko, I. Berkovic, (2013). COMPARISON OF STATE SPACE SEARCH ALGORITHMS-SUDOKU PUZZLE GAME. Chief and responsible editor, 154.
- M. Harrysson, H. Laestander, (2014). Solving Sudoku efficiently with Dancing Links.
- M. Schottlender, (2014). The effect of guess choices on the efficiency of a backtracking algorithm in a Sudoku solver. IEEE Long Island Systems, Applications and Technology (LISAT) Conference 2014. <https://doi.org/10.1109/lisat.2014.6845190>
- O. A. Raouf, I. E. Henawy, M. A. Baset, (2014). A Novel Hybrid Flower Pollination Algorithm with Chaotic Harmony Search for Solving Sudoku Puzzles. International Journal of Modern Education and Computer Science, 6(3), 38–44. <https://doi.org/10.5815/ijmecs.2014.03.05>
- O. M. Filho, H. V. Neto, (1999). Processamento digital de imagens. BRASPORT.
- P. Berggren, D. Nilsson, (2012). A study of Sudoku solving algorithms. Royal Institute of Technology, Stockholm.
- R. C. Gonzalez, R. E. Woods, (2002). Digital image processing. Prentice Hall.
- R. C. Gonzalez, R. E. Woods, (2008). Digital image processing. Pearson.
- R. C. Gonzalez, R. E. Woods, (2018). Digital image processing. Pearson.
- R. C. Gonzalez, R. E. Woods, S. L. Eddins, (2004). Digital Signal Processing Using Matlab. Pearson/Prentice Hall.
- R. Soto, B. Crawford, C. Galleguillos, F. C. Venegasy, F. Paredes, (2015).
- A Marriage Theorem Based-Algorithm for Solving Sudoku. 2015 Fourteenth Mexican International Conference on Artificial Intelligence (MICAI). <https://doi.org/10.1109/micai.2015.24>
- R. Soto, B. Crawford, C. Galleguillos, K. Crawford, F. Paredes, (2015).
- A Filtering Technique for Helping to Solve Sudoku Problems. Communications in Computer and Information Science HCI International 2015 - Posters' Extended Abstracts, 598–603. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-21380-4\\_102](https://doi.org/10.1007/978-3-319-21380-4_102)
- R. Soto, B. Crawford, C. Galleguillos, S. Misra, E. Olguin, (2014). Solving sudokus via metaheuristics and AC3. 2014 IEEE 6th International Conference on Adaptive Science & Technology (ICAST). <https://doi.org/10.1109/icastech.2014.7068127>
- S. Borges, T. Lima, V. Marques, (2016). Coloração de Grafos Aplicado na resolução do Sudoku.
- S. Chatterjee, S. Paladhi, R. Chakraborty, (2014). A Comparative Study On The Performance Characteristics Of Sudoku Solving Algorithms. IOSR Journal of Computer Engineering, 16(5), 69–77. <https://doi.org/10.9790/0661-16566977>
- S. J. Russell, P. Norvig, (2004). Artificial intelligence: a modern approach. Prentice Hall/Pearson Education
- S. Kamal, S. S. Chawla, N. Goel, (2015). Detection of Sudoku puzzle using image processing and solving by Backtracking, Simulated Annealing and Genetic Algorithms: A comparative analysis.
- 2015 Third International Conference on Image Information Processing (ICIIP). <https://doi.org/10.1109/iciip.2015.7414762>
- T. Mantere, J. Koljonen, (2006, October). Solving and rating sudoku puzzles with genetic algorithms. In New Developments in Artificial Intelligence and the Semantic Web, Proceedings of the 12th Finnish Artificial Intelligence Conference STeP (pp. 86-92).
- T. Mantere, J. Koljonen, (2008). Solving and analyzing Sudokus with cultural algorithms. 2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE World Congress on Computational Intelligence). <https://doi.org/10.1109/cec.2008.4631350>
- T. Y. Lim, M. A. Al-Betar, A. T. Khader, (2015). Monogamous pair bonding in genetic algorithm. 2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC). <https://doi.org/10.1109/cec.2015.7256869>
- T. Z. Felisberto, (2016). Robô Solucionador de Sudoku.
- Y. Sato, H. Inoue, (2010). Solving Sudoku with genetic operations that preserve building blocks. Proceedings of the 2010 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games. <https://doi.org/10.1109/itw.2010.5593375>
- Z. Wang, T. Yasuda, K. Ohkura, (2015). An evolutionary approach to sudoku puzzles with filtered mutations. 2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC). <https://doi.org/10.1109/cec.2015.7257096>

# ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA CAVITACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO INTERNO EN TOBERAS DE INYECCIÓN DIESEL TRANSPARENTES

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/07/2019 ACEPTADO: 15/09/2019 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/02/2020

<sup>1</sup> Oscar Hernando Venegas Pereira

Como citar este artículo: Venegas, O, (2020) Estudio de la influencia de la cavitación en el comportamiento del flujo interno en tuberías de inyección diesel transparentes, revista científica Dynamikos 1 (1).  
Recuperado de: <https://teinco.edu.co/revistas-2-2/>

### RESUMEN

En el motor Diesel, uno de los temas que ha despertado gran interés en las últimas décadas es el sistema de inyección, debido a su influencia en los procesos de atomización y formación de la mezcla aire-combustible, los cuales repercuten directamente en las prestaciones y emisiones contaminantes del motor. Con el objetivo de disminuir la brecha científica en el conocimiento del comportamiento del flujo interno y del chorro a la salida del orificio se han llevado a cabo numerosos estudios; sin embargo, el estudio del flujo en el interior de las toberas de inyección, muestra aún incertidumbres significativas sobre todo en condiciones cavitantes, constituyendo un reto importante para la investigación en este campo.

De esta manera, se ha trabajado con un sistema de visualización que permite trabajar con diferentes geometrías y secciones de orificio (planas o cilíndricas), obteniendo imágenes de alta resolución espacial, lo cual posibilita caracterizar la influencia de la geometría tanto en el flujo interno. Se ha analizado en primer lugar la influencia que tiene la geometría en el comportamiento del flujo interno y posteriormente se ha analizado la formación y desarrollo de la cavitación en el interior del orificio, así como su relación con el colapso del gasto másico. Para ello, se han utilizado diferentes geometrías de toberas planas transparentes con dimensiones cercanas a las reales. Como resultado de este estudio se ha podido observar que toberas con una sección de salida más grande son más propensas a cavitarse; también se ha observado que toberas con mayor longitud de orificio necesitan de condiciones más críticas para cavitarse y que el colapso del gasto másico se presenta en condiciones de supercavitación.

**PALABRAS CLAVE:** visualización, cavitación, toberas transparentes, inyección diesel, chorro cercano.

**Sumario:** 1. Introducción. 2. Metodología. 2.1. Maqueta de micro-visualización. 2.2. Determinación de la geometría de las toberas. 2.3. Visualización del flujo interno. 2.4. Plan de ensayos. 3. Resultados y discusión. 3.1. Caracterización hidráulica en estado estacionario. 3.2. Influencia de la geometría en el coeficiente de descarga. 3.3. Visualización de la cavitación. 4. Conclusiones. 5. Referencias bibliográficas.

**Contents:** 1. Introduction. 2. Methodology. 2.1. Micro-visualization vessel. 2.2. Nozzles geometry determination. 2.3. Internal flow visualization. 2.4. Test plan. 3. Results and discussion. 3.1. Hydraulic characterization in steady state. 3.2. Influence of geometry on the discharge coefficient. 3.3. Visualization of cavitation. 4. Conclusions. 5. Bibliographic references.

<sup>1</sup> Profesor del Programa de Ingeniería Mecánica de la Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, Colombia – [oscar.venegas@escuelaing.edu.co](mailto:oscar.venegas@escuelaing.edu.co), Traducción de Oscar Venegas (Ph.D. en Sistemas Propulsivos en Medios de Transporte -UPV) , Traducción de Oscar Venegas (Ph.D. en Sistemas Propulsivos en Medios de Transporte -UPV) Profesor de Planta - Programa de Ingeniería Mecánica Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito Autopista Norte AK 45 No. 205-59, Bogotá, Colombia Tel. +57(1) 668 3600 [oscar.venegas@escueling.edu.co](mailto:oscar.venegas@escueling.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

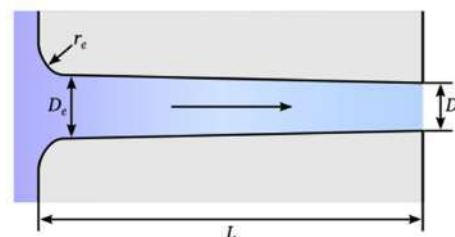
Uno de los mayores desafíos, en el ámbito de los motores Diesel ha sido la reducción del consumo de combustible y emisiones contaminantes. En este sentido, muchos de los logros y avances conseguidos para tal fin se han enfocado en entender el comportamiento del flujo interno y mejorar cada vez más los procesos de atomización y formación de la mezcla aire-combustible, los cuales determinan en gran medida el posterior desarrollo de la combustión. Por ello, continuamente surgen modificaciones o nuevas condiciones de operación de los sistemas de inyección, lo que se traduce en motores más eficientes y con un menor impacto medioambiental (Venegas, 2014).

Precisamente, para la mejora de la atomización del chorro y del proceso de mezcla, los actuales motores Diesel emplean presiones de inyección elevadas, llegando incluso a superar los 200MPa. El hecho de utilizar presiones tan elevadas, favorece la aparición de la cavitación en el interior de las toberas de inyección. Este fenómeno, considerado perjudicial en bombas y otras máquinas hidráulicas por el deterioro producido en las piezas debido a la erosión por cavitación, en el campo de los motores Diesel resulta favorable, puesto que provoca durante el proceso de inyección un aumento del ángulo de apertura del chorro a la salida de la tobera, mejorando el proceso de mezcla entre el combustible y el aire (Payri, Bermúdez, Payri, & Salvador, 2004), (Payri, Salvador, Gimeno, & De la Morena, 2009), (Desantes, Salvador, López, & De la Morena, 2011). Además, la aparición de estas burbujas de vapor conlleva a aumentar la velocidad del fluido debido a la reducción de la fricción con las paredes (Payri, García, Salvador, & Gimeno, 2005) y a la disminución de la sección efectiva para el paso de combustible en estado líquido (Payri, García, Salvador, & Gimeno, 2005), (Schmidt & Corradini, 2001).

Sin embargo, llevar a cabo estudios experimentales de la cavitación en toberas de inyección Diesel resulta realmente difícil. Esta complejidad es debida principalmente a los siguientes factores: las pequeñas dimensiones de los orificios, los cuales suelen tener longitudes en torno al milímetro y diámetros a la salida que rondan las  $100\mu\text{m}$ ; la elevada velocidad del flujo, debido a la alta presión aguas arriba y la restricción que tiene el fluido al pasar por el orificio, la velocidad se incrementa llegando a varios cientos de metros por segundo en condiciones reales de funcionamiento y el proceso de inyección transitorio, con duraciones de inyección generalmente del orden de milisegundos o inferiores (Venegas, 2014).

Debido a las anteriores dificultades, son muchos los autores que han centrado sus esfuerzos en desarrollar herramientas experimentales y teóricas para la caracterización del flujo en el interior de toberas de inyección Diesel (Venegas, 2014). En la Figura 1 se definen los parámetros geométricos más importantes en los orificios de descarga de una tobera de inyección: diámetro de entrada del orificio  $D_e$ , diámetro de salida del orificio  $D_o$ , longitud del orificio  $L$ , y radio de entrada  $R_e$  o radio de acuerdo.

Parámetros geométricos de un orificio de inyección.



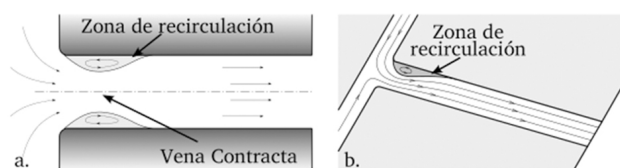
Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

En el caso de toberas en las que el orificio es axisimétrico (Figura 2a), como las toberas mono-orificio habitualmente utilizadas en investigación (Gimeno, 2008), (Linne, Paciaroni, Hall, & Parker, 2006), (Yon, 2003), el flujo entra por igual en todas direcciones. Como consecuencia del cambio brusco de sección que supone el orificio, las líneas de corriente se deflecan, provocando el desprendimiento de la capa límite y la aparición de una zona de recirculación en la sección de entrada del orificio.

Por su parte, en una tobera multiorificio, en la que el eje de los orificios de descarga tiene un ángulo respecto al eje de simetría de la tobera (caso habitual en toberas comerciales (Payri, Salvador, Gimeno, & la Morena, 2009), (Bae & Kang, 2000), (Kull & Krüger, 2004)), el cambio de la direccionalidad del flujo es mayor, aunque la recirculación del flujo se restringe a la mitad superior del orificio, justo por donde viene la alimentación de combustible (Figura 2b).

Estructura del flujo en una tobera de inyección.

a) Geometría axisimétrica. b) Tobera multiorificio.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Cabe destacar que, bajo determinadas condiciones de inyección, el incremento de velocidad del flujo y la pérdida local de presión existentes en las zonas de recirculación pueden llegar a caer hasta la presión de saturación del fluido, produciéndose el cambio de fase del mismo conocido como cavitación, el cual es un fenómeno de cambio de fase (líquido a vapor) que se forma en la zona cercana al radio de entrada del orificio.

Una de las primeras investigaciones de la cavitación en el ámbito de la inyección Diesel fue la llevada a cabo por Bergwerk (Bergwerk, 1959) donde estudió la influencia de la geometría de diferentes toberas en el comportamiento del flujo. Bergwerk observó el desarrollo del flujo interno mediante la visualización del flujo en orificios transparentes y advirtió la presencia de cavitación en determinadas condiciones, así como la presencia de un fenómeno conocido en la literatura como hydraulic flip. Este fenómeno se produce como consecuencia de la separación de la capa límite a la entrada del orificio extendiéndose por todo el orificio ocasionando que el gas, situado en la cámara de descarga, remonte aguas arriba del orificio ocupando el espacio entre la pared y la vena líquida (Salvador J. , 2007). En su trabajo Bergwerk definió el número de cavitación de acuerdo a la ecuación (1)

$$CN = \frac{P_i - P_v}{P_b - P_v}$$

Posteriormente Soteriou et al. (Soteriou, Andrews, & Smith, 1995) observaron que orificios trabajando en condiciones de hydraulic flip daban lugar a chorros de gran penetración y muy poco atomizados. Además, supusieron que el flujo en el interior del orificio no experimentaba pérdidas por fricción con la pared, puesto que se encontraba una capa de gas entre el líquido y la pared. Sin embargo, el fenómeno de hydraulic flip no debe ser considerado como un comportamiento típico en toberas de inyección Diesel; de hecho, este fenómeno nunca ha sido observado en toberas de tamaño real y a condiciones reales de funcionamiento.

Otros estudios sirvieron para caracterizar la cavitación como un fenómeno transitorio y multidimensional. Bode (Bode, y otros, 1992) observó que la zona de propagación de la nube de burbujas generadas como consecuencia de la cavitación era caótica, variaba temporalmente y carecía de simetría. En sus estudios Bode observó que la cavitación se presentaba en forma de hilos (cavitation films) que se extendían desde la entrada del orificio y acababan desapareciendo en un punto a lo largo del mismo. Además, se confirmó a través de diversos ensayos con el mismo orificio que la cavitación y la formación de estos hilos aparecían siempre en las mismas zonas, asociadas con zonas de mayor irregularidad superficial.

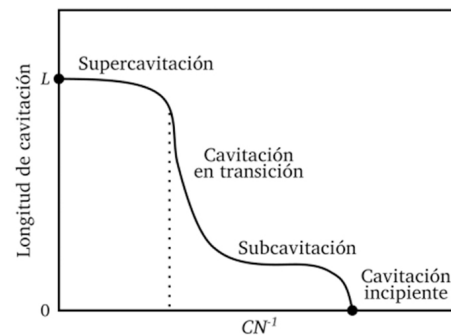
Chaves et al. (Chaves, Knapp, Kubitzek, & Obermeier, 1995) ampliaron el trabajo de Bode, centrándose en lo que denominaron como supercavitación. Estos investigadores usaron el término supercavitación para describir el estado en que la cavitación se desarrolla a lo largo de todo el orificio hasta la salida. A través de estos estudios observaron que uno de los efectos más notables de la supercavitación es el incremento del ángulo del chorro a la salida de la tobera como ha sido corroborado por Soteriou et al. (Soteriou, Smith, & Andrews, 1998), Salvador (Salvador F. J., 2003) y De la Morena (De la Morena, 2011). Este último observó un incremento del ángulo entre 1.5° y 3° en una tobera monorificio cilíndrica para las condiciones donde se detectaban burbujas de cavitación a la salida de la tobera.

Sin embargo, no es necesario que la cavitación se extienda hasta la salida para encontrar efectos importantes en el chorro. De hecho, autores como Arai et al. (Arai, Shimizu, & Hiroyasu, 1991), Hiroyasu et al. (Hiroyasu, Arai, & Shimizu, 1991) y Soteriou et al. (Soteriou, Andrews, & Smith, 1995) encontraron evidencias sobre el incremento significativo del ángulo del chorro durante la aparición de las primeras burbujas de vapor en el interior del orificio (cavitación incipiente). Simultáneamente la longitud intacta se reducía.

Chaves et al. (Chaves, Knapp, Kubitzek, & Obermeier, 1995) presentaron otra observación interesante a partir de sus estudios llevados a cabo en un orificio de entrada redondeada, advirtiendo que, a pesar de tener un radio de acuerdo bastante grande el orificio cavitaba debido a las irregularidades superficiales. Así, demostraron que la rugosidad por sí sola podría causar en algunos casos la cavitación de un orificio a pesar de tener un radio de acuerdo redondeado. Otro de los hechos importantes que señaló fue que para pasar de cavitación incipiente a supercavitación se requería solo un incremento de presión de 2MPa.

Uno de los temas que ha despertado mayor interés en el ámbito del flujo cavitante es, indudablemente, el estudio de la evolución de la extensión ocupada por la cavitación a lo largo del orificio, representado a modo de esquema en la Figura 3. Esta figura, en la que se representa la longitud de cavitación en función del número de cavitación (CN), se basa en los estudios desarrollados por diversos autores como Nurick (Nurick, 1976), Chaves et al. (Chaves, Knapp, Kubitzek, & Obermeier, 1995), Roosen et al. (Roosen, Unruch, & Behmann, 1997), Hiroyasu (Hiroyasu, 2000) o Sato y Saito (Sato & Saito, 2002). Precisamente, este último autor establece cuatro tipos de cavitación en función de la longitud de la región ocupada por el combustible en fase vapor: cavitación incipiente (aparecen las primeras burbujas de vapor), sub-cavitación, cavitación de transición y supercavitación (la extensión de la región ocupada por vapor alcanza la salida de la tobera). Otros autores como Sou et al. (Sou, Tomiyama, Hosokawa, Nigorikawa, & Maeda, 2006), agrupan las dos etapas intermedias establecidas por Sato y Saito en una única etapa, conocida como cavitación en desarrollo.

Longitud ocupada por la cavitación en función de CN.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Como se puede apreciar en la Figura 3, una vez aparecen las primeras burbujas de vapor (cavitación incipiente), el aumento del número de cavitación tendrá inicialmente poca influencia sobre la extensión de la región ocupada por la cavitación, aunque si se continúa aumentando el número de cavitación, ya sea mediante el aumento de la presión de inyección o la disminución de la presión de descarga, la cavitación crece rápidamente a lo largo del orificio hasta alcanzar la sección de salida de la tobera (supercavitación).

A pesar de las grandes dificultades existentes para el estudio experimental del flujo interno en toberas de inyección, se han llevado a cabo diferentes trabajos que intentan dar una mayor comprensión del comportamiento del flujo interno y el fenómeno de la cavitación (Venegas, 2014). Estos trabajos se han basado en la caracterización hidráulica del flujo a la salida de los orificios y en la visualización del flujo en el interior de los orificios a través de toberas transparentes.

El comportamiento del flujo a través de un orificio es completamente diferente en función de si se encuentra en condiciones de régimen laminar o turbulento. Sin embargo, las pequeñas dimensiones de los orificios presentes en las toberas de inyección, así como las altas velocidades que se alcanzan en su interior, hacen complicado el obtener información del desarrollo del flujo en estos elementos. Para la mayoría de aplicaciones prácticas el valor de transición entre los dos regímenes se sitúa en  $Re_{crit} = 2300$ . Para por debajo de este valor el régimen será laminar, por encima hasta un  $Re_{crit} = 4000$  se encuentra una zona de transición en donde el flujo fluctúa entre régimen laminar y turbulento alternativamente. A partir de  $Re_{crit} = 4000$  se puede considerar el régimen totalmente turbulento.

Sin embargo, esta forma de describir el flujo sólo resulta válida para flujos completamente desarrollados, es decir para conductos largos en relación a su diámetro (relaciones grandes). Una de las formas más utilizadas para evaluar el comportamiento del flujo en toberas de inyección consiste en la caracterización del coeficiente de descarga (ecuación (2)). Este coeficiente se define como el cociente entre el caudal másico real y el caudal másico teórico (Venegas, 2014).

$$C_d = \frac{\dot{m}_f}{A_o \sqrt{2\rho_f \Delta p}}$$

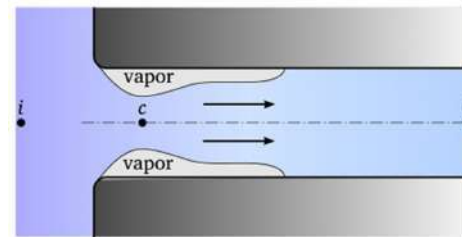
donde  $A_o$  el área geométrica a la salida del orificio,  $\rho_f$  es la densidad del fluido y  $\Delta p$  es la diferencia entre la presión aguas arriba y aguas abajo del orificio ( $P_i - P_b$ ).

La caracterización hidráulica como técnica para determinar el comportamiento del flujo en condiciones cavitantes, permiten trabajar con toberas reales de forma no intrusiva obteniendo el comportamiento de la capacidad de descarga de los orificios junto con otros coeficientes adimensionales en condiciones cavitantes. Así, Bergwerk (Bergwerk, 1959) manifestó la pérdida de la capacidad de carga de la tobera con la aparición de la cavitación, y se pudo comprobar como el coeficiente de descarga se veía poco influenciado por el número de Reynolds en condiciones cavitantes. Además, observó que una vez iniciada la cavitación el coeficiente de descarga dependía fuertemente de la relación de presiones definida como  $(P_i - P_b) / P_b$ .

En 1976, Nurick (Nurick, 1976) propuso un modelo, conocido en la actualidad como Modelo Unidimensional de Nurick, para intentar explicar el comportamiento del coeficiente de descarga. Dicho modelo fue validado mediante diversos ensayos experimentales llevados a cabo sobre orificios de diferente relación longitud-diámetro, radio de acuerdo a la entrada y un amplio rango de presiones de descarga.

Basándose en la simplificación mostrada en la Figura 4, Nurick definió tres puntos característicos del orificio para explicar el comportamiento del coeficiente de descarga: un primer punto aguas arriba del orificio suficientemente alejado de éste como para poder considerar que la velocidad es despreciable en comparación con las velocidades que se pueden dar en el interior del orificio (punto *i*), un segundo punto situado en la sección de máxima restricción del flujo que coincide con la sección de mayor velocidad y menor presión (punto *c*) y un tercer punto correspondiente a la salida de la tobera (punto *b*).

Esquema del fenómeno de la cavitación en una tobera axisimétrica.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Usando el modelo de Nurick y aplicando la ecuación de Bernoulli entre los puntos *i* y *c*, se llega a definir una nueva variante del número de cavitación, representado por la letra *K* como se muestra en la ecuación (3) y adicionalmente se define el coeficiente de descarga  $C_d$  en condiciones cavitantes, el cual crece linealmente con la raíz del número de cavitación, tal como expresa la ecuación (4), tal como se detalla en (Venegas, 2014),.

$$K = \frac{p_i - p_v}{p_i - p_b} = \frac{1}{KN}$$

$$C_d = C_c \sqrt{K}$$

Sin embargo, para estudiar la formación y apariencia de la cavitación, se hace imprescindible el uso de toberas transparentes. Debido a las características del fenómeno (altas velocidades de flujo, diámetros pequeños y flujo bifásico) su visualización resulta considerablemente compleja. Por este motivo, es habitual la utilización de geometrías simplificadas, aunque existen estudios que han conseguido resultados satisfactorios utilizando geometrías más similares a las de una tobera real (Chaves & Schuhbauer, 2006), (Walther, 2002), (Blessing, König, Krüger, Michels, & Schwarz, 2003).

Los estudios más importantes existentes en la bibliografía, mostrados en función del tipo de geometrías utilizadas (sección rectangular y sección circular) se detallan en (Venegas, 2014). Dichos estudios muestran cómo la naturaleza de la cavitación cambia en función del tamaño de los orificios. Por este motivo, y a pesar de las dificultades existentes en la visualización de este tipo de geometrías, son cada vez más los estudios que utilizan orificios de tamaños similares a los habituales en toberas de inyección (Chaves & Schuhbauer, 2006), (Blessing, König, Krüger, Michels, & Schwarz, 2003), (Badock, Wirth, & Tropea, 1999), (Saliba, Baz, Champoussin, Lance, & Marié, 2004), (Collicott & Li, 2006), (Andriotis & Gavaises, 2009).

Así, el propósito del presente estudio es lograr profundizar y dar explicación a los diversos fenómenos asociados a la cavitación en toberas de inyección Diesel. Para ello se diseña y pone en marcha un sistema de visualización de orificios transparentes que permitirá observar el flujo en el interior del orificio usando toberas con dimensiones cercanas a las utilizadas en un sistema de inyección Diesel actual.

En el apartado 2, se describen las técnicas experimentales utilizadas a lo largo del estudio y cómo se implementa el sistema de visualización. En primer lugar, se describe la maqueta de micro-visualización, prestando especial atención al sistema de visualización del flujo interno en toberas transparentes acoplado en la parte superior de la maqueta. Luego se introducirá la metodología seguida para la determinación de la geometría interna de las toberas a partir de la obtención de imágenes usando un microscopio digital y un micrómetro. A continuación, se describe la técnica de visualización de alta resolución por iluminación trasera difusa para detectar la cavitación. Posteriormente, se describe el principio físico de la medida del gasto másico en flujo continuo, de gran importancia para llevar a cabo la caracterización hidráulica de las toberas. En la parte final del apartado, se darán los detalles de las geometrías utilizadas en el estudio y el plan de trabajo seguido.

El apartado 3 abarca los resultados concernientes al estudio del flujo interno en condiciones cavitantes y no cavitantes. En primer lugar, usando diferentes modelos simplificados de toberas transparentes (siete planas asimétricas y una con orificio cilíndrico), se estudia la influencia que tiene la geometría en la formación de la cavitación. Así, aplicando la técnica de visualización e inyectando en una atmósfera líquida (con una resolución cercana a los 500pixel/mm), junto con la caracterización hidráulica, se puede determinar el inicio de la cavitación, el desarrollo de ésta a través del orificio, las burbujas que se desprenden a la salida del orificio y colapso del gasto másico; todos estos influenciados tanto por las características geométricas de las toberas como por las condiciones de presión aguas arriba y aguas abajo del orificio. Posteriormente, se mostrará la influencia que tiene el combustible en la aparición y desarrollo de la cavitación usando la tobera transparente cilíndrica y cuatro combustibles diferentes.

Por último, en el apartado 4, se establecerán las conclusiones más importantes extraídas a partir de los resultados obtenidos en los capítulos anteriores. Además, se expondrán algunos de los posibles trabajos futuros encaminados a mejorar el conocimiento del proceso de inyección Diesel y del fenómeno de la cavitación.

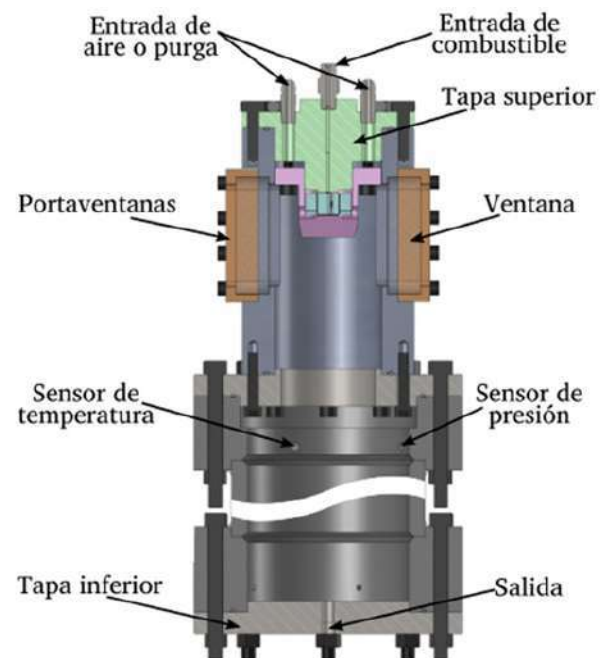
## 2. METODOLOGÍA

El desarrollo del estudio se enmarca dentro una investigación de tipo diseño cuasi-experimental, en donde se busca observar la influencia de la cavitación en el comportamiento hidráulico a partir de unas condiciones de inyección (aguas arriba) y unas condiciones de contrapresión (aguas abajo) para diferentes toberas de inyección. Así, en este apartado se hará una descripción de las distintas técnicas y herramientas utilizadas a lo largo de este trabajo, las cuales permitirán analizar la relación existente entre la formación y el desarrollo de la cavitación en las características del flujo interno.

### 2.1 MAQUETA DE MICRO-VISUALIZACIÓN

La maqueta presurizada de inyección, denominada maqueta de micro-visualización, consiste básicamente en un largo cilindro de acero inoxidable (1m aproximadamente) en el que se incluyen dos accesos ópticos opuestos (ver Figura 5), de forma que permitan la visualización en el interior de la maqueta. Los accesos ópticos formados por ventanas planas de metacrilato, con un espesor de unos 30mm, son capaces de soportar hasta 6MPa aproximadamente sin sufrir deformaciones significativas. Por lo tanto, este valor será considerado en adelante como el límite mecánico de presión en el interior de la maqueta (Venegas, 2014).

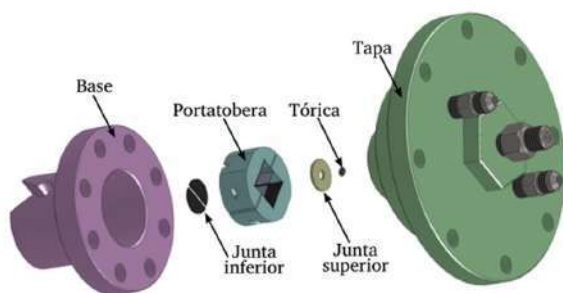
Figura 1. Esquema de la maqueta de micro-visualización.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

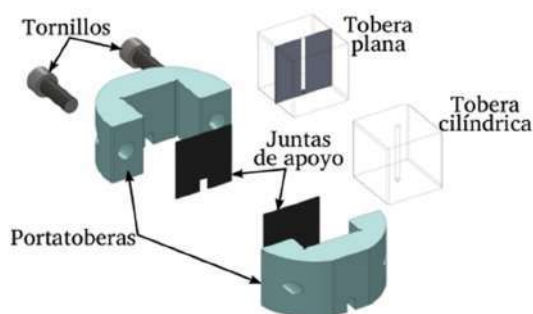
En la Figura 6, se muestra un despiece de los elementos que componen la tapa superior. Este diseño se realizó con el fin de tener un sistema de montaje de toberas flexible y lograr obtener acceso óptico a los orificios y permitir la salida del chorro. Adicionalmente la Tapa superior contiene el Portatoberas, que tiene como finalidades: alojar las toberas (ya sea una tobera plana o cilíndrica), dar forma y conseguir el ajuste necesario en el caso de las toberas planas y por último lograr que las toberas queden concéntricas con el sistema (ver Figura 7). El detalle del diseño de la Tapa superior y el procedimiento de montaje se encuentran descritos en (Venegas, 2014).

Figura 2. Despiece de la tapa superior.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Figura 3. Despiece del portatobera.



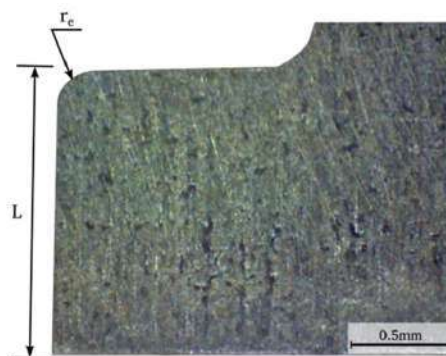
Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

## 2.2 DETERMINACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LAS TOBERAS

Para obtener la geometría interna en orificios reales, algunos estudios (De la Morena, 2011), (Gimeno, 2008) han usado la técnica de obtención de moldes de silicona (Macián, Bermudez, Payri, & Gimeno, 2003). Otros estudios más recientes han obtenido resultados similares con el uso de rayos X (Lee, Fezzaa, & Wang, 2005), (Kastengren, y otros, 2012). Ahora, puesto que las toberas utilizadas en el presente estudio son transparentes, determinar la geometría resulta menos compleja de obtener. Es evidente que conocer la mayoría de parámetros geométricos internos de los orificios de las toberas no es tarea fácil; sin embargo, si se desean establecer relaciones importantes entre la geometría de las toberas y el comportamiento del flujo interno, es necesario conocer la morfología interna de la forma más precisa posible. La medición de la geometría interna se realiza de dos maneras: por un lado, las dimensiones lineales de las láminas que conforman el orificio de la tobera pueden ser medidas a través de un micrómetro. De esta manera, se obtiene de forma sencilla y precisa la longitud del orificio ( $L$ ) y las dimensiones exteriores de las láminas. Por otro lado, para la medición de los demás parámetros del orificio como radio de acuerdo, área de salida, ancho y espesor del orificio (en toberas planas) ó diámetros de orificio (en toberas cilíndricas) se utiliza un microscopio digital. Este microscopio permite realizar diferentes aumentos de acuerdo a la zona de interés que se desee medir.

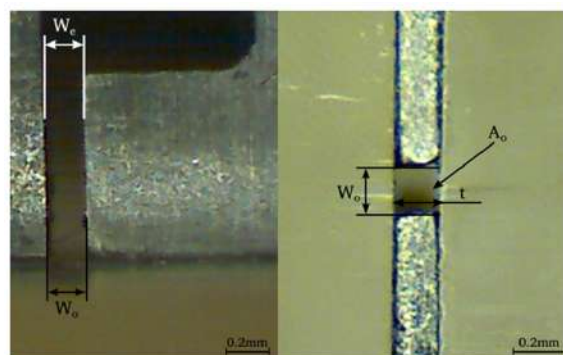
La Figura 8, muestra una de las láminas que conforman el orificio antes del montaje; de donde se obtiene la longitud del orificio (obtenido también con el micrómetro) y el radio de acuerdo ( $R_o$ ). Para una completa caracterización de los orificios, son tomadas imágenes laterales y desde la parte inferior de la tobera (a la salida del orificio) una vez ha sido conformada la tobera (Figura 9) con el fin de obtener el ancho a la entrada  $W_e$ , el ancho a la salida del orificio  $W_o$ , el espesor  $t$  y por tanto el área geométrica de descarga  $A_o$ .

Imagen de una vista lateral de una de las láminas que forma el orificio obtenida con microscopio digital



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Despiece Vista lateral e inferior de una tobera plana transparente.

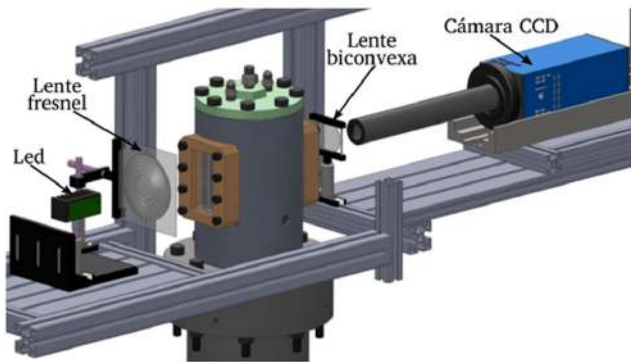


Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

## 2.3 VISUALIZACIÓN DEL FLUJO INTERNO

Para visualizar el flujo en el interior del orificio, se ha puesto en marcha una instalación óptica que permite obtener imágenes con una resolución de hasta 500pixel/mm aproximadamente a través de la técnica conocida como iluminación trasera difusa, la cual se basa en la diferencia entre el índice de refracción del fluido que se desea visualizar y el fluido que lo rodea (Venegas, 2014). De esta forma, los haces de luz alcanzan el fluido de trabajo, se desvían como consecuencia de la refracción, mientras que el resto continúan su camino libremente. Así, la imagen formada en el lado contrario (lado de la cámara) a la iluminación muestra la sombra de aquello que se desea observar. Esta configuración ha sido ampliamente utilizada para el estudio del comportamiento del chorro (Payri, Salvador, Gimeno, & Soare, 2005), (Jeong, Lee, & Ikeda, 2007), (Gao, y otros, 2009), (Hillamo, Sarjovaara, Kaario, Vuorinen, & Larmi, 2010). La descripción y características de cada uno de los elementos y su ubicación en el sistema se encuentran al detalle en (Venegas, 2014). En la Figura 10 se muestra un esquema general de la instalación utilizada para este fin.

Esquema de la instalación utilizada para la visualización.

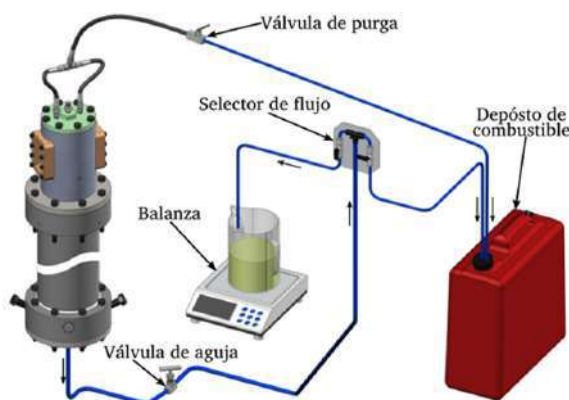


Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Para visualizar la cavitación y evitar la desviación de la luz, el fluido en la cámara es el mismo combustible inyectado; es decir se inyecta combustible en combustible. Esta configuración permitirá discernir entre las fases líquida y vapor del propio combustible, debido a la diferencia en el índice de refracción de ambas.

Con el fin de purgar la maqueta, la tapa superior tiene dos salidas por donde saldrá el aire que queda en la maqueta. Por otro lado, el combustible entra a la maqueta a través de la tobera de inyección y la presión de descarga será controlada gracias a una válvula de aguja en la parte inferior de la maqueta. Una vez que la presión está estable, el combustible evacuado de la maqueta puede ser dirigido al retorno o a una balanza para medir el gasto másico que pasa a través de la tobera transparente, inyectando siempre en condiciones estacionarias (flujo continuo). Un esquema de la instalación se muestra en la Figura 11.

Esquema de la instalación utilizando combustible líquido como fluido en la descarga.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Debido a que toda la maqueta se encuentra completamente llena de combustible y se inyecta combustible en la misma en condiciones estacionarias, el gasto másico de combustible que sale por la tobera es el mismo gasto másico de combustible que sale de la maqueta (Venegas, 2014). Así, una vez se tiene el gasto másico estabilizado para una determinada condición de operación, es posible determinar el gasto másico tomando una masa inicial ( $m_1$ ) y una masa final ( $m_2$ ) en un determinado tiempo ( $\Delta t$ ) como se muestra en la ecuación (5).

La lectura y registro de la masa inicial y la masa final se realiza a través del software de la balanza conectado a un computador y por tanto el gasto másico de combustible para cada condición puede ser calculada de acuerdo a la ecuación (5).

$$\dot{m}_f = \frac{m_2 - m_1}{\Delta t}$$

Posteriormente para evaluar el comportamiento del flujo en toberas de inyección consiste en la caracterización del coeficiente de descarga tanto en condiciones cavitantes como no cavitantes para observar el comportamiento de cada tobera a diferentes condiciones de operación.

## 2.4 PLAN DE ENSAYOS

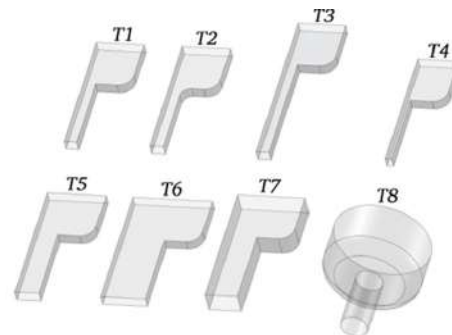
Una vez se ha mostrado el procedimiento para el montaje y la determinación de la geometría de cada una de las toberas, en la Tabla 1 y en la Figura 12 se muestran las toberas a usadas en el estudio. Dentro de los modelos mostrados en la Tabla 1 se cuenta con una tobera cilíndrica (T8) y una variedad de toberas planas de diferentes geometrías. Así el propósito de este grupo de toberas es tener toberas semejantes donde varíe solamente el radio de acuerdo a la entrada (toberas T1 y T2), toberas semejantes donde solo varía la longitud del orificio (toberas T1 y T3) y toberas semejantes donde se mantiene  $L$  y  $r_e$  y varía únicamente  $W$  (toberas T1, T4, T5 y T6). La tobera T7 se realizó con el fin de obtener una sección de salida comparable con la tobera cilíndrica T8 (Venegas, 2014).

Tabla 1. Parámetros geométricos de las toberas transparentes utilizadas

| Tobera | $W_o [\mu m]$ | $t [\mu m]$ | $D_o [\mu m]$ | $r_e [\mu m]$ | $D_h [\mu m]$ | $L [mm]$ |
|--------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|----------|
| T1     | 237           | 194         | —             | 0             | 213           | 1.42     |
| T2     | 249           | 194         | —             | 177           | 218           | 1.43     |
| T3     | 237           | 194         | —             | 0             | 213           | 2.14     |
| T4     | 116           | 194         | —             | 0             | 145           | 1.43     |
| T5     | 447           | 194         | —             | 0             | 271           | 1.43     |
| T6     | 834           | 194         | —             | 0             | 315           | 1.43     |
| T7     | 606           | 388         | —             | 0             | 588           | 1.45     |
| T8     | —             | —           | 510           | 0             | 510           | 1.13     |

Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Figura 4. Esquema de los orificios para cada una de las toberas de estudio.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

En cuanto a los puntos a ensayar, se tiene que todas las toberas serán estudiadas en condiciones de flujo continuo a cuatro niveles de presión de inyección (3, 5, 7 y 12 MPa). Para la caracterización hidráulica de los orificios, se medirá el flujo másico proporcionado por las toberas en las cuatro presiones de inyección consideradas y distintas contrapresiones (desde 0.1 hasta 5 MPa). De esta forma y conociendo la geometría de cada tobera se podrá obtener el coeficiente de descarga y detectar las condiciones críticas de colapso del gasto másico, definidas como aquellas en las que el flujo másico se estabiliza sin importar las condiciones aguas abajo de la tobera.

De forma simultánea con las medidas de gasto másico y utilizando la técnica de visualización por iluminación trasera difusa, se podrán detectar las condiciones de presión en las que aparecen por primera vez en el interior del orificio (cavitación incipiente) y la aparición de burbujas aguas abajo de los orificios de salida de las toberas. Estas condiciones serán detectadas partiendo de condiciones cavitantes (es decir, baja presión de descarga), y luego incrementar la presión de descarga con el fin de encontrar el valor donde desaparecen las burbujas a la salida del orificio y el valor donde la cavitación en el interior del orificio desaparece. Para cada una de las condiciones se tomarán 50 repeticiones de imágenes.

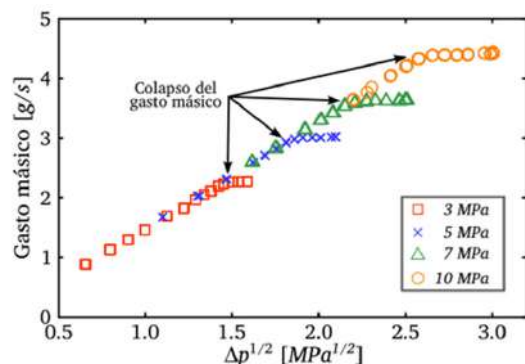
### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente apartado, se muestran los principales resultados obtenidos en la caracterización hidráulica en estado estacionario, la visualización de la cavitación y la influencia del combustible en el flujo interno.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de caracterizar detalladamente el comportamiento hidráulico de las toberas transparentes, se realizarán ensayos a cuatro niveles de presión de inyección ( $P_i$ ) (3, 5, 7 y 10 MPa) y presiones de descarga ( $P_b$ ) entre 0.1 y 5.0 MPa. En la Figura 13, donde se muestra la evolución del gasto másico ( $m$ ) en función de la raíz de la diferencia de presiones ( $\Delta p^{1/2}$ ) para la tobera T1. Como se puede observar para cada presión de inyección, el gasto másico crece linealmente con la raíz de la diferencia de presiones hasta alcanzar las condiciones críticas donde el flujo másico colapsa y empieza a mantenerse constante.

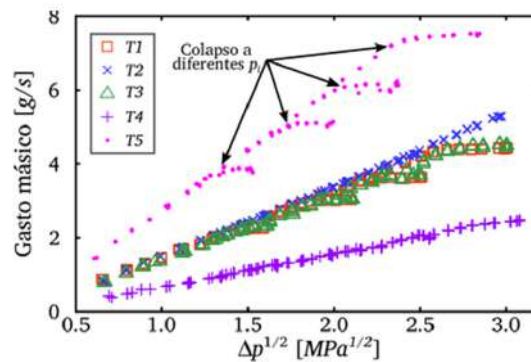
Figura 5. Gasto másico de la Tobera T1 a diferentes  $P_i$  y  $P_b$ .



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

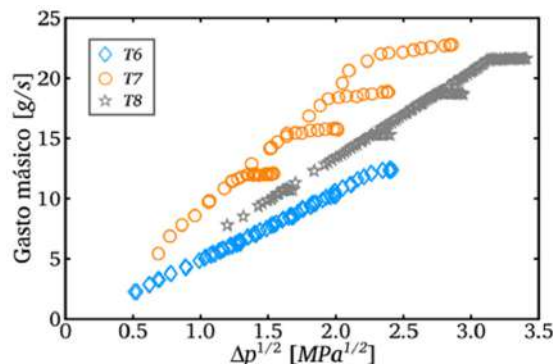
Con el propósito de comparar el gasto másico entre las diferentes toberas y observar adecuadamente el comportamiento entre cada una de estas, ha sido necesario graficar los resultados en dos grupos. Así, en la Figura 14 se muestran los resultados para las toberas más pequeñas con gastos másicos inferiores a 8 g/s, mientras que la Figura 15 muestra los resultados para las más grandes (gastos másicos mayores a 8 g/s).

Figura 6. Gasto másico en función de la raíz de la diferencia de presiones.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Figura 7. Gasto másico en función de la raíz de la diferencia de presiones. Toberas T6, T7 y T8.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

De estas figuras se observa que para todas las toberas el gasto másico colapsa por lo menos en las condiciones más críticas (alta  $p_i$  y baja  $p_b$ ), excepto la tobera T2, la cual posee un radio de acuerdo a la entrada de 177  $\mu\text{m}$ . De forma similar a la Figura 13 se observa de nuevo tanto en la Figura 14 como en la Figura 15 que el comportamiento del gasto másico con la raíz de la diferencia de presiones es lineal hasta alcanzar el punto crítico de colapso. Adicionalmente, estos resultados muestran con antelación como el colapso del gasto másico aparece con mayor facilidad conforme aumenta la sección de salida de las toberas, aunque durante el transcurso del capítulo se analizará con mayor detalle.

Conociendo el comportamiento de  $m$  en función de  $\Delta p^{1/2}$  para cada tobera, es posible determinar las condiciones críticas de cavitación según el criterio tradicional de colapso del gasto másico mostrado por Nurick (Nurick, 1976); es decir, determinando los puntos críticos a partir de las condiciones donde ocurre el colapso del gasto másico. La manera para conseguir estos puntos, consiste en realizar un ajuste lineal de la evolución de  $m$  en función  $\Delta p^{1/2}$  y obtener el máximo valor del gasto másico colapsado.

Siguiendo esta metodología se determina para cada tobera y cada valor de presión de inyección la presión de descarga crítica ( $P_{bcrit}$ ) y con ésta se obtiene el número de cavitación crítico ( $K_{crit}$ ) de acuerdo a la ecuación (6). Los resultados se encuentran tabulados en la Tabla 2

$$K_{crit} = \frac{p_i - p_v}{p_i - p_{bcrit}}$$

Números de cavitación críticos a diferentes presiones de inyección

| Tobera | 3 MPa | 5 MPa | 7 MPa | 10 MPa |
|--------|-------|-------|-------|--------|
| T1     | 1.13  | 1.22  | 1.23  | 1.30   |
| T2     | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00   |
| T3     | 1.10  | 1.16  | 1.17  | 1.17   |
| T4     | 1.00  | 1.01  | 1.02  | 1.04   |
| T5     | 1.26  | 1.25  | 1.35  | 1.44   |
| T6     | 1.01  | 1.06  | 1.07  | 1.08   |
| T7     | 1.23  | 1.34  | 1.55  | 1.54   |
| T8     | 1.09  | 1.13  | 1.16  | 1.21   |

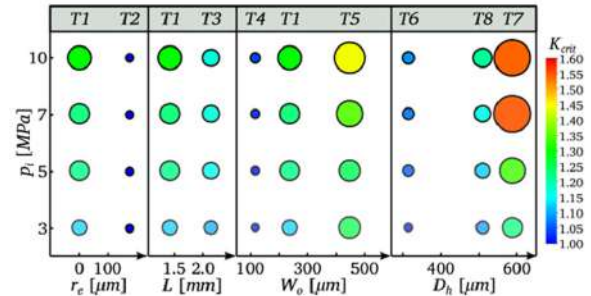
Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Los valores mostrados en la Tabla 2 representan los valores del número de cavitación crítico obtenidos a partir de la ecuación (6), tomando como nulo el valor de  $P_v$  para el gasoil comercial, ya que es considerado despreciable en comparación con las presiones de ensayo. Analizando estos valores y conforme al criterio de Nurick, se observa que los números de cavitación críticos más cercanos a la unidad implican una menor tendencia a cavitarse, mientras que toberas con  $K_{crit}$  mayores tienen una mayor tendencia a cavitarse, ya que necesitan de unas condiciones menos críticas para alcanzar el colapso de flujo másico.

En particular, la tobera T2 tiene un  $K_{crit}$  igual a uno para todas las condiciones de presión de inyección, incluso reduciendo la contrapresión a su valor más bajo (cercano a la presión atmosférica); es decir, con esta tobera nunca se llega a observar el colapso del gasto másico. Lo mismo ocurre con la tobera T4 para la presión de inyección de 3MPa, donde nunca llega a colapsar el gasto másico, obteniendo así un valor de  $K_{crit}$  igual a la unidad.

En la Figura 16 se muestra en un gráfico de burbujas la evolución del número de cavitación crítico en función de la geometría de las toberas y de la presión de inyección. Así las burbujas más grandes representan  $K_{crit}$  grandes y las burbujas pequeñas  $K_{crit}$  pequeños, acompañados de una escala de colores para una mayor apreciación.

Número de cavitación crítico en función de la geometría de las toberas y la presión de inyección.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Este gráfico se ha realizado agrupando conjuntos similares de toberas con el fin de observar la influencia de cada parámetro geométrico por separado, quedando dividida en cuatro grupos: el primer grupo (toberas T1 y T2) son toberas con dimensiones muy similares donde sólo varía el radio de acuerdo ( $r_e$ ), el segundo grupo (toberas T1 y T3) únicamente varía la longitud del orificio ( $L$ ), el tercer grupo (toberas T1, T4 y T5) son toberas en las cuales el único parámetro que varía es el ancho de la tobera  $W_o$  y finalmente el cuarto grupo se ha establecido con el fin de comparar las similitudes en cuanto a números de cavitación entre toberas planas y la tobera cilíndrica. Para este último grupo se han usado las toberas planas con la sección de salida más similares a la cilíndrica usando como parámetro comparador el diámetro hidráulico ( $D_h$ ); que en el caso de toberas planas está dado por la ecuación (7).

$$D_h = \frac{4A_o}{P_o} = \frac{4(W_o \cdot t)}{2(W_o + t)}$$

donde  $A_o$  es el área geométrica a la salida,  $P_o$  es el perímetro en la sección de salida,  $W_o$  es el ancho a la salida y  $t$  es la profundidad del orificio.

Para observar el efecto del radio de acuerdo se tomaron como referencia las toberas T1 y T2, ya que son toberas geométricamente similares donde el único parámetro que varía es  $r_e$ . En la Figura 14 se observó que los valores del gasto másico de la tobera T1 y la tobera T2 en la zona donde  $\Delta P^{1/2}$  es función de son muy parecidos y se debe a que el área en la sección de salida del orificio es prácticamente igual. Sin embargo, en la tobera T1 se aprecia el colapso del gasto másico para cada una de las presiones de inyección, mientras que en la tobera T2 el flujo másico continúa creciendo conforme aumenta  $\Delta P^{1/2}$  con un valor de  $K_{crit}$ . Físicamente este comportamiento se asocia a una menor recirculación en la entrada del orificio conforme el radio de acuerdo es mayor, lo cual repercute en la formación de la cavitación que a su vez conlleva al colapso del gasto másico.

En cuanto al efecto de la longitud del orificio ( $L$ ), se toman como referencia las toberas T1 y T3, ya que son toberas geométricamente similares donde el único parámetro que varía es  $L$ . En la Figura 14 se observa que los valores del gasto másico son muy parecidos y que ambas toberas colapsan. Sin embargo, al observar los valores obtenidos en la Tabla 2 y en la Figura 16 se aprecia que para las diferentes presiones de inyección los valores de  $K_{crit}$  de la tobera T3 son menores a los de la tobera T1. Lo anterior se traduce en que, para una misma presión de inyección, la tobera T3 requiere de unas condiciones más críticas (menor  $P_b$ ) para que el flujo másico colapse. Visto desde el punto de vista físico se tiene que la tobera T3, a las mismas condiciones de descarga que la tobera T1 y al tener una mayor longitud genera mayores pérdidas por fricción, lo cual conlleva a una menor presión a la entrada del orificio, afectando la formación de zonas de recirculación y posterior cavitación.

Para analizar la influencia del ancho a la salida del orificio ( $W_o$ ), se compararán las toberas T1, T4, T5 y T6. Se inicia el análisis comparativo entre las toberas T1, T4 y T5, dejando para el final el análisis de la tobera T6. Al observar la Figura 14 se observa claramente el colapso de las toberas T1 y T5. No obstante para la tobera T4 solo llega a apreciarse el colapso para la presión de inyección más elevada. Para observar este hecho más claramente, al ver los valores obtenidos en la Tabla 2 para la tobera T4 a una presión de inyección de 3MPa que el gasto másico no colapsa ( $K_{crit} = 1$ ) y solo empieza a colapsar para las presiones de 5 y 7MPa. Sin embargo, la tendencia mostrada por los números de cavitación críticos (ver Figura 16) es clara, a medida que incrementa el valor del ancho a la salida de la tobera ( $W_o$ ) el flujo es más propenso a alcanzar las condiciones de colapso. Esto se debe a que en una tobera con una menor restricción a la entrada del orificio (por ejemplo, la tobera T5), genera menores pérdidas de carga que a su vez favorece la formación de zonas de recirculación y la posterior aparición de zonas cavitantes y colapso. En cuanto a la tobera T6 se observa que esta tobera en particular no sigue la tendencia mostrada por las otras tres toberas; es decir, aunque posee una sección de entrada bastante grande, la cual no genera grandes pérdidas a la entrada del orificio, requiere de condiciones más críticas para llegar a las condiciones de colapso.

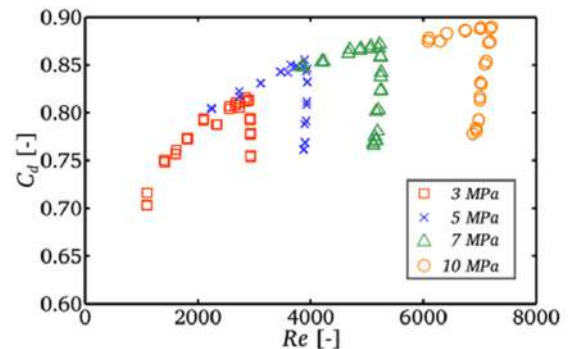
De forma similar para el análisis de la sección de salida ( $D_h$ ), se toman en cuenta las toberas T6, T7 y T8. Estas toberas tienen diferentes secciones a la salida y como se muestra en la Figura 16, la tobera con menor sección de salida (tobera T6) requiere de unas condiciones más severas para alcanzar el punto de colapso. La explicación de este comportamiento, nuevamente se debe a una mayor pérdida de carga a la entrada del orificio al tener una tobera con un  $D_h$  menor haciendo que el flujo sea menos propenso a cavitarse y por tanto que necesite de unas condiciones más severas para que el flujo másico colapse.

Por último, se evalúa la influencia de la presión de inyección en el colapso del gasto másico. Este comportamiento se observa en la Figura 16, mostrando que se requieren de unas condiciones menos severas para alcanzar el colapso del gasto másico conforme aumenta la presión de inyección como ha sido mostrado por otros autores (Salvador F. J., 2003), (De la Morena, 2011). No obstante, la tobera T2 siempre conserva el valor de la unidad ya que nunca llega a colapsar el gasto másico.

### 3.2 INFLUENCIA DE LA GEOMETRÍA EN EL COEFICIENTE DE DESCARGA

Adicionalmente, aparte del valor de flujo másico obtenido en condiciones estacionarias, se puede calcular el coeficiente de descarga según la ecuación (2). En la Figura 17 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos de  $C_d$  en función de  $Re$  para la tobera T1 a diferentes presiones de inyección. Se puede observar que el coeficiente de descarga ( $C_d$ ) tiene una evolución asintótica con el número de Reynolds ( $Re$ ). Sin embargo, en el momento que el gasto másico empieza a colapsar, el coeficiente de descarga cae bruscamente, abandonando el comportamiento asintótico frente al número de Reynolds.

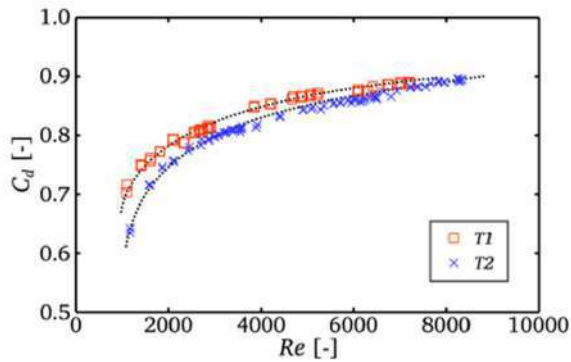
$C_d$  en función de  $Re$  para la tobera T1.



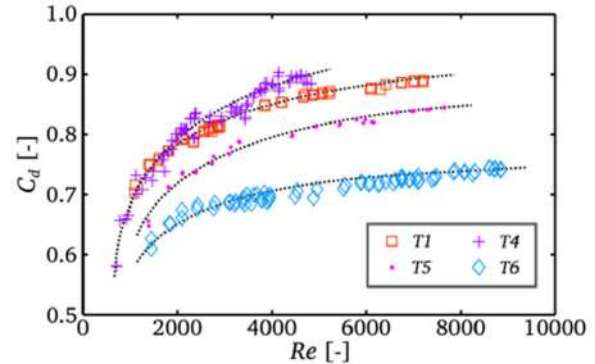
Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Analizando las condiciones de no colapso, en la Figura 18 se observa un comparativo del coeficiente de descarga entre las toberas T1 y T2 (radio de acuerdo diferentes). Se puede apreciar en esta figura que el coeficiente de descarga de la tobera T1 es mayor y que la diferencia de  $C_d$  es un poco mayor a bajos regímenes y posteriormente se van igualando. De hecho, en la Figura 18 se puede apreciar que el valor asintótico del coeficiente de descarga en la tobera T2 parece superar el valor asintótico de la tobera T1 a números de Reynolds más elevados.

Este comportamiento se debe al gran radio de acuerdo que posee la tobera T2, favoreciendo la entrada del flujo al interior del orificio de inyección con unos cambios de direccionalidad menos bruscos en comparación con la tobera T1 que tiene un radio de acuerdo nulo. Sin embargo, dejando de un lado el máximo valor que puede alcanzar el coeficiente de descarga ( $C_{dmax}$ ), se puede observar en la Figura 18 que los puntos experimentales de la tobera T2 se encuentran por debajo de la tobera T1 y se van alejando conforme el régimen del fluido es menor. Lo anterior se debe a que con bajos regímenes, las pérdidas por fricción a través del orificio predominan sobre las pérdidas a la entrada del orificio y según lo mostrado tienen un mayor efecto sobre la tobera T2 al ser un poco más ancha y larga que la tobera T1.

$C_d$  en función de  $Re$  y  $W_o$ .

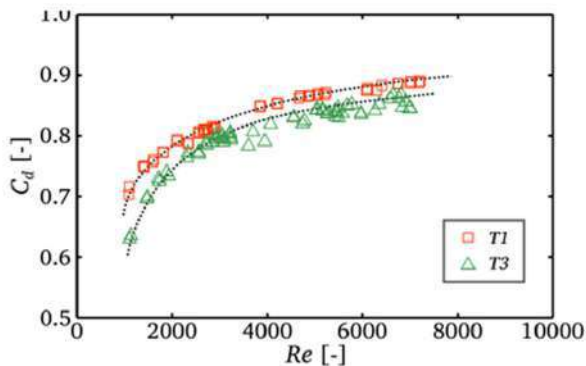
Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

 $C_d$  en función de  $Re$  y  $W_o$ .

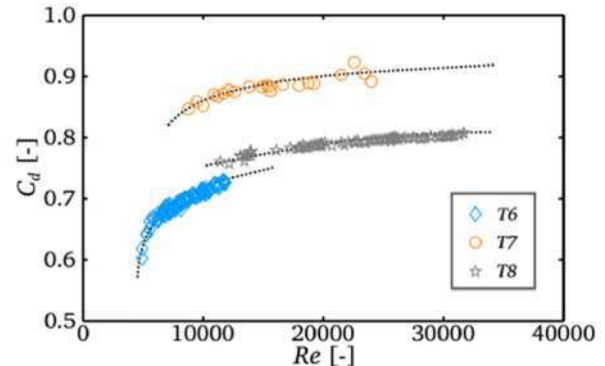
Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Por su parte en la Figura 19, al comparar las toberas T1 y T3 (diferente longitud de orificio), se puede observar que el coeficiente de descarga de la tobera T3 se encuentra por debajo del coeficiente de descarga de la tobera T1, en todos los regímenes ensayados; incluyendo el valor asintótico del coeficiente de descarga a altos regímenes de acuerdo a la tendencia mostrada. Este comportamiento era de esperarse puesto que las pérdidas por fricción son mayores en la tobera T3 al tener una mayor longitud el orificio de inyección suponiendo unas pérdidas a la entrada muy similares para las dos toberas, puesto que tiene la misma sección transversal y un radio de acuerdo nulo.

En la Figura 21 se muestra el comportamiento del coeficiente de descarga para tres toberas con diferentes secciones. Observando estos resultados, se puede analizar que, aunque la tobera con una mayor sección (tobera T7) presenta unas mayores pérdidas por fricción para un mismo régimen debido a una mayor superficie de contacto con el fluido, las pérdidas a la entrada del orificio son menores. Ahora puesto que los cambios de sección entre las toberas son más significativos, las pérdidas a la entrada del orificio predominan sobre las pérdidas por fricción, haciendo que una tobera con una gran sección tenga unas pérdidas totales menores y por tanto un coeficiente de descarga mayor.

 $C_d$  en función de  $Re$  y  $L$ .

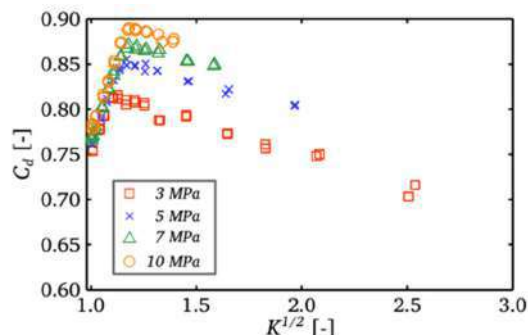
Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

 $C_d$  en función de  $Re$  y  $D_o$ .

Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

En la Figura 20 se observa como varía el coeficiente de descarga para diferentes anchos de tobera. Así, esta figura muestra que la tobera con la sección más pequeña a la salida (tobera T4), tiende a tener un coeficiente de descarga mayor que las demás toberas y éste va disminuyendo conforme el ancho a la salida de la tobera ( $W_o$ ) va incrementando (ver Tabla 1). Este comportamiento se debe a que una tobera con un ancho más grande tiene una mayor superficie de contacto con el fluido generando unas posibles mayores pérdidas por fricción, lo cual se ve reflejado en un menor coeficiente de descarga; es decir, comparando estas toberas, las pérdidas por fricción tienen una mayor influencia en las pérdidas de carga totales.

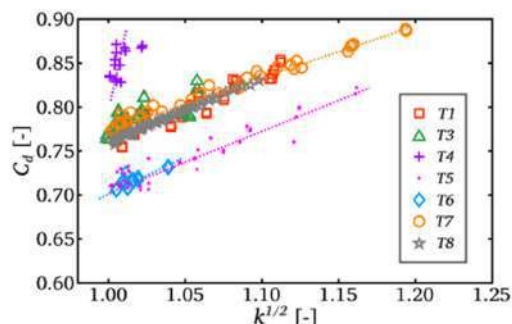
Una vez estudiado el comportamiento hidráulico de las toberas antes que ocurra el colapso del gasto másico se procede a estudiar el comportamiento del coeficiente de descarga en condiciones de colapso. Como se mostró en el modelo de Nurick (ecuación (4)), en condiciones de colapso el coeficiente de descarga es lineal con la raíz cuadrada del número de cavitación ( $K^{1/2}$ ). La Figura 22 muestra un ejemplo del comportamiento del  $C_d$  en función de  $K^{1/2}$  para la tobera T1 a diferentes presiones de inyección.

$C_d$  en función de  $K^{1/2}$  para la tobera T1.

Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Se puede ver en la Figura 22 que para todas las presiones de inyección los puntos de no colapso caen aproximadamente sobre la misma recta, aunque en realidad cada presión de inyección tiene su propia recta pese a no ser apreciado. Por otro lado, los puntos de más a la derecha representan el coeficiente de descarga antes del colapso para cada presión de inyección, siendo estos dependientes del número del Reynolds como se estudió anteriormente.

Finalmente, en la Figura 23 se pueden comparar las diferentes toberas en las condiciones de colapso, representado únicamente los resultados donde el gasto másico ha colapsado, mostrando que todas las toberas tienen un comportamiento lineal del  $C_d$  en función de  $K^{1/2}$ .

 $C_d$  en función de  $K^{1/2}$ .

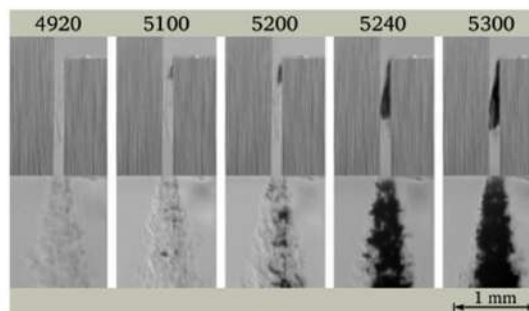
Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Con los valores obtenidos, en (Venegas, 2014) se propone un modelo que predice el comportamiento hidráulico en condiciones de colapso y no colapso para diferentes anchos a la salida de la tobera.

### 3.3 VISUALIZACIÓN DE LA CAVITACIÓN

En la sección anterior se ha estudiado la caracterización hidráulica de cada una de las toberas evidenciando el fenómeno de la cavitación a través del criterio tradicional de colapso del gasto másico. Con el fin de avanzar un poco más en el entendimiento de este fenómeno y de su influencia en el flujo interno, en esta sección se estudiará la aparición de la cavitación tanto en el interior del orificio como a la salida del mismo y su desarrollo en el interior del orificio. Para ello se ha usado la técnica de visualización, descrita en la metodología, inyectando sobre una atmósfera líquida usando gasoil comercial. En (Venegas, 2014) se muestran diferentes tipos de pruebas preliminares a las pruebas finales aquí presentadas y se detalla el procedimiento para el procesamiento de las imágenes.

En la Figura 24 se muestra un ejemplo la evolución del flujo interno y en la salida del orificio a diferentes regímenes (Números de Reynolds) para la tobera T4 con imágenes procesadas. En esta figura de izquierda a derecha se observa una primera imagen sin cavitación con gradientes de densidad a la salida del orificio, seguida de una imagen donde aparece la cavitación en el interior del orificio y unas pequeñas burbujas a la salida, posteriormente la cavitación en el interior va incrementando conforme aumenta el régimen del flujo. Como se menciona en (Venegas, 2014) es posible que para los Números de Reynolds más altos la cavitación se extienda hasta la salida del orificio, pero por la presencia de micro-grietas que se forman justo a la salida resulta complejo determinar el vapor del combustible en esta zona.

Evolución del flujo interno y a la salida a diferentes  $R_e$  para T4.

Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Una vez se han adquirido las imágenes, el siguiente paso consiste en encontrar los números de cavitación críticos cuando aparece la cavitación incipiente y las primeras burbujas a la salida ( $K_{crit,i}$  y  $K_{crit,v}$  respectivamente) para todas las toberas y condiciones de presión. Así, en la Tabla 3 se han resumido los valores de  $K_{crit,i}$  y  $K_{crit,v}$  para cada una de las toberas a las diferentes presiones de inyección ensayadas con el fin de comparar los resultados obtenidos a partir de la visualización con los determinados en la caracterización hidráulica (Tabla 2).

 $K_{crit,i}$  y  $K_{crit,v}$  a diferentes presiones de inyección.

| Tobera | 3 MPa        |              | 5 MPa        |              | 7 MPa        |              | 10 MPa       |              |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|        | $K_{crit,v}$ | $K_{crit,i}$ | $K_{crit,v}$ | $K_{crit,i}$ | $K_{crit,v}$ | $K_{crit,i}$ | $K_{crit,v}$ | $K_{crit,i}$ |
| T1     | 1.22         | 1.22         | 1.29         | 1.46         | 1.30         | 1.58         | 1.39         | 1.77         |
| T2     | 1.00         | 1.00         | 1.04         | 1.04         | 1.11         | 1.11         | 1.13         | 1.13         |
| T3     | 1.14         | 1.14         | 1.22         | 1.29         | 1.23         | 1.46         | 1.23         | 1.59         |
| T4     | 1.02         | 1.02         | 1.09         | 1.09         | 1.16         | 1.16         | 1.16         | 1.22         |
| T5     | 1.31         | 1.31         | 1.43         | 1.53         | 1.54         | 1.87         | 1.54         | 1.85         |
| T6     | 1.21         | 1.21         | 1.26         | 1.35         | 1.36         | 1.49         | 1.48         | 1.60         |
| T7     | 1.50         | 1.80         | 1.53         | 1.83         | 1.67         | 1.85         | 1.69         | 2.07         |
| T8     | 1.24         | 1.36         | 1.28         | 1.51         | 1.27         | 1.62         | 1.31         | 1.67         |

Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

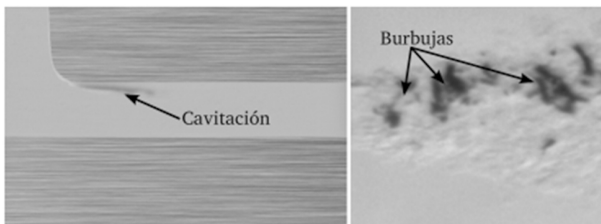
Como se puede observar en las Tabla 3, las tendencias que tienen estos números de cavitación críticos son muy similares a los mostrados en la Tabla 2; es decir, los números de cavitación críticos, tomando como criterios la aparición de las burbujas a la salida y la cavitación incipiente, tienen la misma tendencia mostrada en el gráfico de burbujas de la Figura 16, respecto a la geometría de las toberas y presión de inyección. Por lo tanto, de nuevo se observa que toberas con un mayor radio de acuerdo ( $R_e$ ), mayor longitud de orificio ( $L$ ) y menor ancho a la salida de la tobera ( $W_o$  ó  $D_h$ ) tienen menos tendencia a cavitarse y por otro lado que los números de cavitación críticos son mayores conforme aumenta la presión de inyección, independiente del criterio que se utilice.

Sin embargo, comparando los nuevos criterios, por medio de la visualización, con el criterio tradicional de colapso del gasto másico, en general se observa que, la aparición de las primeras burbujas a la salida de la tobera se da a unas condiciones menos críticas (menor  $\Delta p$  ó mayor  $K$ ) que el colapso del gasto másico y a su vez la cavitación incipiente se presenta a unas condiciones menos críticas que la aparición de las primeras burbujas a la salida del orificio.

Esto ocurre para la mayoría de las toberas y condiciones; no obstante, para la presión de 3MPa se observa que para las toberas T1 a T6, el número de cavitación crítico  $K_{crit,v}$  es igual al número de cavitación crítico  $K_{crit,p}$ ; por tanto, la aparición de las primeras burbujas a la salida del orificio se presenta de forma simultánea a la cavitación incipiente, mostrando que la formación de burbujas a la salida no dependen únicamente de la evolución de cavitación en el interior hasta la salida, sino que pueden existir condiciones locales a la salida que propician la formación de estas burbujas, restándole así importancia a la influencia de las zonas de vapor en el interior del orificio en la formación de estas burbujas a la salida.

En particular, se observa que en la tobera T2,  $K_{crit,v}$  es igual a para todas las presiones de inyección y además  $K_{crit,i}$  a partir de 5MPa, lo que significa que la tobera aunque no presenta colapso del gasto másico si llega a aparecer cavitación en el interior del orificio como se muestra en la Figura 25.

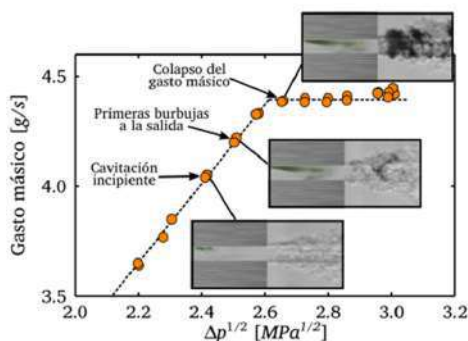
#### Cavitación incipiente y burbujas a la salida para la tobera T2.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Así, se puede afirmar que aún en condiciones donde el flujo sigue comportándose de forma lineal con la raíz cuadrada de la diferencia de presiones, puede existir cavitación en el interior y adicionalmente la cavitación en el interior del orificio aparece mucho antes que se produzca el colapso del gasto másico, tal como se puede ver en la Figura 26 para la tobera T1.

#### Diferentes condiciones del flujo. Tobera T1, $p_i = 10\text{MPa}$

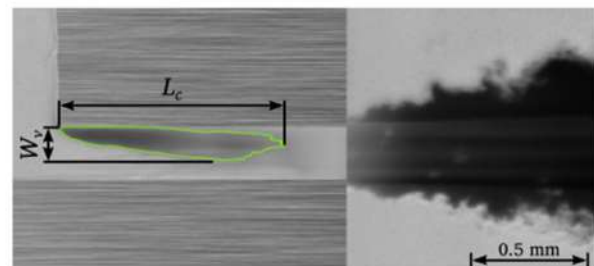


Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Lograr determinar la existencia de cavitación en condiciones previas al colapso del gasto másico concuerda con los resultados obtenidos en otros estudios donde muestran que para que exista colapso de flujo másico las condiciones de cavitación han de ser relativamente severas (Winklhofer, Kull, Kelz, & Morozov, 2001). De hecho, a través de la visualización del flujo interno es posible identificar que una vez el gasto másico ha colapsado, el flujo cavitante se ha extendido por gran parte del orificio.

Para caracterizar la evolución de la extensión ocupada por la cavitación en el interior de los orificios, se han propuesto dos parámetros: la longitud desarrollada por la cavitación ( $L_c$ ) desde la entrada hasta la salida del orificio y el ancho máximo ocupado por la zona de vapor ( $W_v$ ) en la dirección transversal del orificio. En la Figura 27 se muestra un ejemplo de una imagen procesada mostrando los dos parámetros utilizados para caracterizar el desarrollo de la cavitación en el interior del orificio.

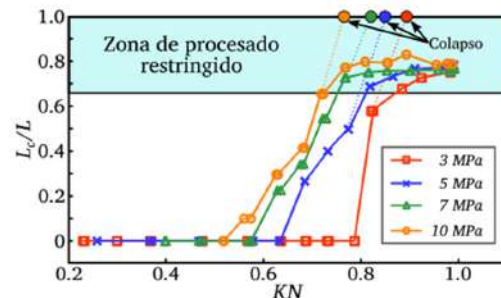
#### Parámetros utilizados para caracterizar la cavitación.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

En la Figura 28 se muestra la evolución de la relación  $L_c / L$  frente al número de cavitación  $KN$  (inverso de  $K$ , ver ecuación (3)) para la tobera T1 a diferentes presiones de inyección. Esta representación es similar a la mostrada por Sato y Saito (Sato & Saito, 2002) en la Figura 3 aunque en la Figura 28 se ha utilizado el número de cavitación  $KN$  en lugar de  $CN^{1.1}$ .

#### $L_c / L$ promedio en función de $KN$ . Tobera T1.



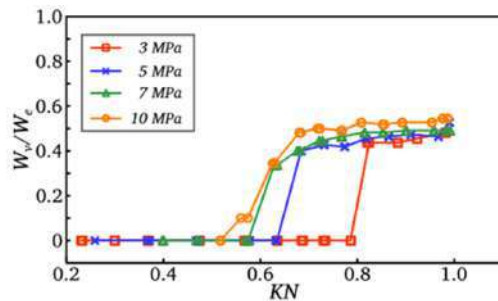
Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

En esta figura se puede apreciar que, desde la aparición de la cavitación, la longitud desarrollada por la cavitación va incrementando conforme las condiciones se van haciendo más críticas (mayor  $KN$ ). Sin embargo, llega un punto donde aparentemente  $L_c$  no sigue incrementando y se estabiliza en torno a un 80% de la longitud total del orificio ( $L$ ) y no en torno al 100% como habría de esperarse. Esto se debe a la dificultad de procesar la parte final del orificio por la presencia de micro-grietas generadas en las ventanas, es decir; seguramente la cavitación se ha desarrollado hasta la salida del orificio (existencia de supercavitación) pero la presencia de micro-grietas en el final de la tobera hace que no sea posible visualizar y detectar por completo el contorno de la cavitación en esta zona.

No obstante, teniendo la tendencia de la evolución longitudinal de la cavitación hasta el 80% de la longitud del orificio, es posible suponer su trayectoria hasta la parte final del orificio (líneas punteadas de la Figura 28) y llegar a concluir que el colapso del gasto másico efectivamente se presenta en condiciones muy cercanas a las condiciones de supercavitación como ha sido visto por Chaves et al. (Chaves, Knapp, Kubitzek, & Obermeier, 1995).

Ahora con el fin de observar la evolución de la zona de vapor en el sentido transversal del orificio, en la Figura 29 se representa la relación entre el ancho ocupado por el vapor y el ancho de la tobera a la entrada ( $W_v / W_e$ ).

$L_c / L$  promedio en función de  $KN$ . Tobera T1.

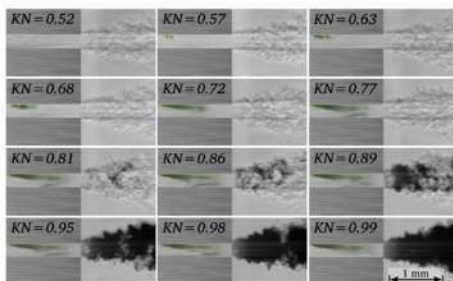


Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

En la Figura 29 se aprecia como una vez aparece la cavitación,  $W_v$  va incrementando conforme las condiciones se van haciendo más críticas y posteriormente se estabiliza en torno a un 50% del ancho del orificio. Adicionalmente, se observa que el máximo valor de  $W_v / W_e$  se escala con la presión de inyección, de forma que la zona cavitante ocupa una zona transversal al orificio un poco más amplia con el aumento de la presión de inyección.

Con el fin de apreciar un ejemplo de la evolución de la cavitación en el interior del orificio para la Tobera T1, en la Figura 30 se muestran imágenes a diferentes condiciones de contrapresión para la presión de inyección de 10MPa. Con las otras presiones de inyección la evolución de la cavitación es similar, aunque se va presentando a unas condiciones más críticas a medida que disminuye la presión de inyección.

Evolución de la cavitación para la Tobera T1.  $P_i = 10\text{MPa}$ .

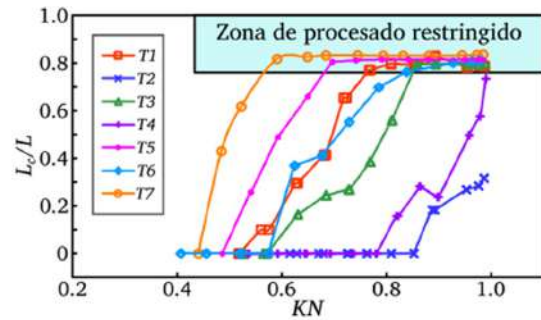


Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Finalmente, con el propósito de llevar a cabo un comparativo entre las diferentes toberas y observar la influencia por separado de cada parámetro geométrico, relacionado con el análisis hecho en la caracterización hidráulica, a continuación, se hace un análisis de cada parámetro por separado.

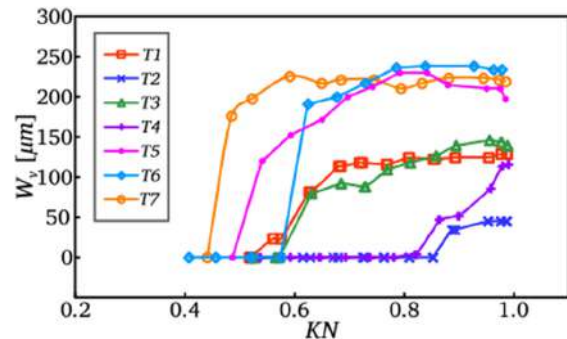
Para llevar a cabo este análisis, en la Figura 31 y en la Figura 32 se muestra la evolución de la relación  $L_c / L$  y el ancho de la zona de vapor ( $W_v$ ) respectivamente para la presión de inyección más elevada (10MPa). Con las demás presiones ocurre algo similar a lo analizado con la presión de 10MPa.

$L_c / L$  en función de  $KN$ .  $P_i = 10\text{MPa}$ .



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

$W_v / W_e$  en función de  $KN$ .  $P_i = 10\text{MPa}$ .



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

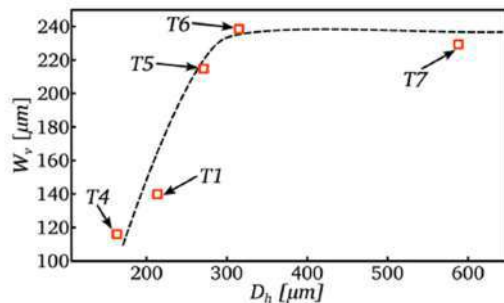
Al comparar las toberas T1 y T2 (diferente  $r_e$ ), en la Figura 31 se observa que la tobera T2 necesita de unas condiciones críticas para empezar a cavitarse y la cavitación se extiende a tan solo un 30% de su longitud total mientras que en la tobera T1 parece llegar hasta la parte final del orificio (aunque se visualiza un 80% de la longitud del orificio). Estos datos resultan coherentes con los obtenidos en la caracterización hidráulica, mostrando el efecto de la supercavitación en el colapso del gasto másico (tobera T1). En cuanto a la evolución de la cavitación en el sentido transversal del orificio, en la Figura 32 se observa algo similar a la evolución longitudinal, mostrando que la cavitación en el caso de la tobera T2 se extiende a tan solo unas 50μm comparado con las 100μm a los que se extiende la tobera T1, resultado del cambio abrupto de la direccionalidad del flujo a la entrada del orificio en ésta última.

Para observar la influencia de la longitud del orificio ( $L$ ), se comparan las toberas T1 y T3. Como se observa en la Figura 31 la tobera T3 requiere de unas condiciones más severas para una misma relación ( $L_c / L$ ), lo cual en términos absolutos significa que la longitud de cavitación ( $L_c$ ) se extiende más rápidamente en la tobera T3. En cuanto a la evolución transversal las diferencias son menos apreciables, puesto que al tener ambas un radio de acuerdo nulo, la direccionalidad del flujo a la entrada es similar haciendo que el ancho estabilizado de estas zonas de recirculación sea muy similar entre las dos toberas.

En cuanto a la influencia del ancho del orificio, se puede observar que, hasta un determinado ancho, la aparición y evolución de la cavitación (tanto de  $L_c$  como de  $W_v$ ) se beneficia cuanto más grande es. Sin embargo, la tobera T6 tiene un comportamiento diferente, lo que muestra que la evolución longitudinal y transversal de la cavitación de la tobera T6 requiere de unas condiciones más críticas debido a unas mayores pérdidas por fricción a pesar de tener unas menores pérdidas a la entrada en comparación con las toberas T1, T4 y T5.

Ahora para conocer la influencia de la sección de salida incluyendo la tobera T7, en la Figura 33 se observa el comportamiento del ancho de vapor máximo estabilizado,  $W_{v,max}$  (ver Figura 32) en función del diámetro hidráulico ( $D_h$ ) de las toberas T1, T4, T5, T6 y T7, en la cuales la zona de vapor llega a estabilizarse en la dirección transversal del orificio.

$W_v$  máximo estable en función de  $D_h$ ,  $P_i = 10$  MPa.



Fuente: Tomada de (Venegas, 2014).

Esto pone de manifiesto que la extensión de la zona de vapor cuantificada a partir de  $W_{v,max}$  en las toberas de mayor dimensión no guarda una relación directa con la sección de salida; es decir, el comportamiento de  $W_{v,max}$  parece indicar que a partir de un determinado tamaño a la salida de la tobera la extensión de la cavitación en el sentido transversal del orificio tiene su propia escala y deja de depender del tamaño de la tobera.

#### 4. CONCLUSIONES

Se determinó la influencia que tiene la presión de inyección en el colapso del gasto másico, mostrando que a medida que la presión de inyección ( $P_i$ ) es mayor incrementa el número de Reynolds ( $Re$ ) favoreciendo la turbulencia en el interior del orificio, lo cual hace la tobera sea más propensa a cavitarse requiriendo unas condiciones menos críticas en la descarga (mayor  $P_{crit}$ ).

Se logró estudiar la influencia de la geometría en la tendencia a cavitarse de una tobera. Así se pudo observar que toberas con mayor radio de acuerdo ( $r_e$ ), mayor longitud de orificio ( $L$ ) y menor sección de salida ( $W_o$  y/o  $D_h$ ) son menos propensas a cavitarse. Esta tendencia ha sido analizada y se relaciona físicamente con unas mayores pérdidas a la entrada (en el caso de menores radios de acuerdo y menores secciones a la entrada) y unas mayores pérdidas por fricción al incrementar la longitud del orificio. No obstante, se pudo observar que, a partir de un determinado tamaño de sección, las pérdidas por fricción empiezan a tener mayor relevancia necesitando de unas condiciones más críticas para que el gasto másico colapse como es el caso de la tobera T6. Esto se encuentra relacionado con unos mayores números de cavitación críticos ( $K_{crit}$ ) conforme incrementa el número de Reynolds ( $Re$ ).

Si bien el colapso de flujo másico ha sido utilizado frecuentemente como criterio para detectar el inicio de la cavitación, se han detectado que los primeros indicios de cavitación en el interior del orificio (cavitación incipiente) y las burbujas de cavitación a la salida de la tobera se presentan en condiciones en las que el flujo aún no está colapsado. Esto indica que para que el flujo másico llegue a colapsarse es necesario que la cavitación esté considerablemente extendida a lo largo del orificio.

Con los datos provenientes tanto de la caracterización hidráulica como de la visualización para las toberas T1, T4, T5 y T6 fue posible determinar correlaciones para predecir el comportamiento del gasto másico, el coeficiente de descarga y los números de cavitación críticos en función de la geometría de la tobera, logrando así predecir el comportamiento hidráulico, la cavitación incipiente y la aparición de las burbujas a la salida del orificio para un ancho de tobera determinado. Adicionalmente se determina la tendencia de los números de cavitación críticos en función del número de Reynolds mostrando una tendencia asintótica. Así, se logró observar que conforme el ancho a la salida es más pequeño se requieren de unas condiciones más severas para empezar a cavitarse y para que el gasto másico colapse.

En cuanto a la evolución de la cavitación en el interior del orificio se pudo mostrar a partir de los parámetros  $L_c$  y  $W_v$  la extensión de la zona de vapor a lo largo y ancho del orificio respectivamente.

A pesar de las micro-grietas en la parte final de los orificios de las toberas planas estudiadas, se pudo observar a partir de las tendencias de  $L_c$  que el colapso del gasto másico se presenta en condiciones de cavitación extrema muy cercana a las condiciones de supercavitación.

Adicionalmente se logró observar que no solo la geometría de las toberas propicia la formación de la cavitación. Por ejemplo, analizando las imágenes de la tobera T2; se visualizaron pequeñas zonas de vapor en su interior a pesar de tener un radio de acuerdo lo suficientemente grande, lo que pone de manifiesto la formación de la cavitación por otros factores como irregularidades en la superficie que entra en contacto con el fluido.

Se pudo analizar que la extensión de la zona de vapor en el sentido transversal del orificio alcanza un valor máximo a partir del cual se estabiliza. Además, se observó que este valor máximo  $W_{v,max}$  tiene su propia escala a partir de un determinado tamaño en la sección de salida.

Este capítulo es producto de la tesis doctoral titulada "Estudio del fenómeno de la cavitación en la inyección Diesel mediante la visualización del flujo interno en orificios" realizada en el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universitat Politècnica de València - España.



## REFERENCIAS

- Andriotis, A., & Gavaises, M. (2009). Influence of vortex flow and cavitation on near-nozzle Diesel spray dispersion angle. *Atomization and Sprays*, 19-3, 247-261. Obtenido de <http://www.dl.begellhouse.com/journals/6a7c7e10642258cc,2eb1978e25960e38,72d1ecca50e47b34.html>
- Arai, M., Shimizu, M., & Hiroyasu, H. (1991). Similarity between the breakup lengths of a high speed liquid jet in atmospheric and pressurized conditions. In *ICLASS-91*, Gaithersburg, Maryland.
- Badock, C., Wirth, R., & Tropea, C. (1999). The influence of hydro-grinding on cavitation inside a Diesel injection nozzle and primary break-up under unsteady pressure conditions. *Proc. 15th ILASS-Europe 99*, Toulouse, July 5-7.
- Bae, C., & Kang, J. (2000). Diesel spray characteristics of a common rail VCO nozzle injector. *Thiesel 2000*, Valencia. Editorial de la UPV.
- Bergwerk, W. (1959). Flow pattern in Diesel nozzle spray holes. *Proc. Inst. Mech. Engrs*, 173, n. 25.
- Blessing, M., König, G., Krüger, C., Michels, U., & Schwarz, V. (2003). Analysis of flow and cavitation phenomena in Diesel injection nozzles and its effects on spray and mixture formation. *SAE Paper 2003-01-1358*.
- Bode, J., Chaves, H., Hentschel, W., Kubitzek, A., Obermeier, F., Schindler, K., & Schneider, T. (1992). Fuel spray in Diesel engines. Part I: spray formation. *ATA 92A065*.
- Chaves, H., & Schuhbauer, I. (2006). Cavitation in an asymmetric transparent real size VCO nozzle. *Proceedings of Spray'06*. Obtenido de [http://www.raumfahrtantriebe.de/spray2006/files/spray06\\_chaves\\_final\\_paper.pdf](http://www.raumfahrtantriebe.de/spray2006/files/spray06_chaves_final_paper.pdf)
- Chaves, H., Knapp, M., Kubitzek, A., & Obermeier, F. (1995). Experimental study of cavitation in the nozzle hole of Diesel injectors using transparent nozzles. *SAE Paper 950290*.
- Collicott, S. H., & Li, H. (2006). True-scale, true-pressure internal flow visualization for Diesel injectors. *SAE Paper 2006-01-0890*.
- De la Morena, J. (2011). Estudio de la influencia de las características del flujo interno en toberas sobre el proceso de inyección Diesel en campo próximo. Ph.D. dissertation, Universitat Politècnica de València.
- Desantes, J. M., Salvador, F. J., López, J. J., & De la Morena, J. (2011). Study of mass and momentum transfer in Diesel sprays based on X-ray mass distribution measurements and on a theoretical derivation. *Experiments in Fluids*, 50, 233–246. Obtenido de <http://link.springer.com/article/10.1007/s00348-010-0919-8>
- Gao, Y., Deng, J., Li, C., Dang, F., Liao, Z., Wu, Z., & Li, L. (2009). Experimental study of the spray characteristics of biodiesel based on inedible oil. *Biotechnology Advances*, 27, 616-624. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975009000688>
- Gimeno, J. (2008). Desarrollo y aplicación de la medida de flujo de cantidad de movimiento de un chorro Diesel. Ph.D. dissertation, E.T.S. Ingenieros Industriales, Universitat Politècnica de València.
- Hillamo, H., Sarjovaara, T., Kaario, O., Vuorinen, V., & Larmi, M. (2010). Diesel spray visualization and shockwaves. *Atomization And Sprays*, 20 (3), 177-189. Obtenido de <http://www.dl.begellhouse.com/journals/6a7c7e10642258cc,4e45bd991615efe7,2ebac7b60dc70e11.html>
- Hiroyasu, H. (2000). Spray breakup mechanism from the hole-type nozzle and its applications. *Atomization and Sprays*, 10, 511-527. Obtenido de <http://www.dl.begellhouse.com/journals/6a7c7e10642258cc,1a3008e01332192c,40dc16525a2ae269.html>
- Hiroyasu, H., Arai, M., & Shimizu, M. (1991). Break-up length of a liquid jet and internal flow in a nozzle. In *ICLASS-91*, Gaithersburg, Maryland, July.
- Jeong, H., Lee, K., & Ikeda, (2007). Investigation of the spray characteristics for a secondary fuel injection nozzle using a digital image processing method. *Measurement Science and Technology*, 18, 1591. Obtenido de <http://iopscience.iop.org/0957-0233/18/5/051>
- Kastengren, A. L., Zak, F. T., Powell, C. F., Manin, J., Pickett, L. M., Payri, R., & Bazyn, T. (2012). Engine Combustion Network (ECN): measurements of nozzle geometry and hydraulic behavior. *Atomization and Sprays*, 22, 1011–1052.
- Kull, E., & Krüger, G. (2004). Correlation of spray symmetry with mass and momentum of multihole Diesel nozzles. *THIESEL 2004 Conference on Thermo and Fluid-dynamic Processes in Diesel Engines*, (págs. 7–10).



- Lee, W. K., Fezzaa, K., & Wang, J. (2005). Metrology of steel micronozzles using x-ray propagation-based phase-enhanced microimaging. *Applied Physics Letters*, 87, 084105. Obtenido de [http://apl.aip.org/resource/1/applab/v87/i8/p084105\\_s1](http://apl.aip.org/resource/1/applab/v87/i8/p084105_s1)
- Linne, M., Paciaroni, M., Hall, T., & Parker, T. (2006). Ballistic imaging of the near field in a Diesel spray. *Experiments in Fluids*, 40, 836-846. Obtenido de <http://link.springer.com/article/10.1007/s00348-006-0122-0>
- Macián, V., Bermúdez, V., Payri, R., & Gimeno, J. (3 de 2003). New technique for determination of internal geometry of a Diesel nozzle with the use of silicone methodology. *Experimental Techniques*, 27, 39-43. Obtenido de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1747-1567.2003.tb00107.x/abstract>
- Nurick, W. H. (1976). Orifice cavitation and its effects on spray mixing. *Journal of Fluids Engineering*, 98, 681–687.
- Payri, F., Bermúdez, V., Payri, R., & Salvador, F. J. (2004). The influence of cavitation on the internal flow and the spray characteristics in Diesel injection nozzles. *Fuel*, 83, 419-431. doi:DOI: 10.1016/j.fuel.2003.09.010
- Payri, R., Garcia, J. M., Salvador, F. J., & Gimeno, J. (2005). Using spray momentum flux measurements to understand the influence of Diesel nozzle geometry on spray characteristics. *Fuel*, 84, 551–561. doi:DOI: 10.1016/j.fuel.2004.10.009
- Payri, R., Salvador, F. J., Gimeno, J., & De la Morena, J. (2009). Study of cavitation phenomena based on a technique for visualizing bubbles in a liquid pressurized chamber. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 30, 768-777. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142727X09000678>
- Payri, R., Salvador, F. J., Gimeno, J., & la Morena, J. D. (2009). Effects of nozzle geometry on direct injection Diesel engine combustion process. *Applied Thermal Engineering*, 29, 2051–2060. doi:DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2008.10.009
- Payri, R., Salvador, F. J., Gimeno, J., & Soare, V. (11 de 2005). Determination of diesel sprays characteristics in real engine in-cylinder air density and pressure conditions. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 19, 2040–2052.
- Roosen, P., Unruch, O., & Behmann, M. (1997). Investigation of cavitation phenomena inside fuel injector nozzles. *Rapid Prototyping/Laser Applications in the Automotive Industries*, 439–446.
- Saliba, R., Baz, I., Champoussin, J. C., Lance, M., & Marié, J. L. (2004). Cavitation effect on the near nozzle spray development in high-pressure Diesel injection. *Proceedings of 19th ILASS (Europe)*.
- Salvador, F. J. (2003). Estudio teórico experimental de la influencia de la geometría de toberas de inyección Diesel sobre las características del flujo interno y del chorro. Ph.D. dissertation, E.T.S. Ingenieros Industriales. Universitat Politècnica de València, Valencia.
- Salvador, J. (2007). Influencia de la cavitación sobre el desarrollo del chorro Diesel. *Reverté*.
- Sato, K., & Saito, Y. (2002). Unstable cavitation behavior in a circular-cylindrical orifice flow. *JSME International Journal Series B*, 45, 638-645. doi:10.1299/jsmeb.45.638
- Schmidt, D. P., & Corradini, M. L. (2001). The internal flow of Diesel fuel injector nozzles: a review. *Int J Engine Research. JER 00201 ImechE*, 2.
- Soteriou, C., Andrews, R., & Smith, M. (1995). Direct injection Diesel sprays and the effect of cavitation and hydraulic flip on atomization. *SAE Paper 950080*.
- Soteriou, C., Smith, M., & Andrews, R. (1998). Diesel injector laser light sheet illumination of the development of cavitation in orifices. *Proc. ImechE C529/018/98*.
- Sou, A., Tomiyama, A., Hosokawa, S., Nigorikawa, S., & Maeda, T. (2006). Cavitation in a two-dimensional nozzle and liquid jet atomization. *JSME International Journal Series B*, 49, 1253-1259. Obtenido de [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsmeb/49/4/49\\_4\\_1253/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsmeb/49/4/49_4_1253/_article)
- Venegas, O. (2014). Estudio del fenómeno de la cavitación en la inyección Diesel mediante la visualización del flujo interno en orificios transparentes. Ph.D. dissertation, Universitat Politècnica de València.
- Walther, J. (2002). Quantitative untersuchungen der innenströmung in kavitierenden Deseleinspritzdüsen. Ph.D. dissertation, TU Darmstadt. Obtenido de <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/241/>
- Winkhofer, E., Kull, E., Kelz, E., & Morozov, A. (2001). Comprehensive hydraulic and flow field documentation in model throttle experiments under cavitation conditions. *ILASS-Europe 2001, Zurich*.
- Yon, J. (2003). Jet Diesel haute pression en champ proche et lointain : Etude par imagerie. Ph.D. dissertation, UFR des Sciences de Rouen



# IMPORTANCIA DE LA ADOPCIÓN DEL NIST CYBERSECURITY FRAMEWORK EN LAS ORGANIZACIONES

ARTÍCULO CIENTÍFICO

RECIBIDO: 15/07/2019 ACEPTADO: 15/09/2019 ÚLTIMA VERSIÓN: 15/02/2020

## *IMPORTANCE OF THE ADOPTION OF THE NIST CYBERSECURITY FRAMEWORK IN ORGANIZATIONS*

<sup>1</sup> Luis Eduardo Baquero Rey

<sup>2</sup> Miguel Hernández Bejarano

<sup>3</sup> Gabriel Antonio Rojas Díaz

Como citar este artículo: Baquero et al., (2020) Importancia de la adopción del nist cybersecurity framework en las organizaciones, revista científica Dynamikos 1 (1). Recuperado de: <https://teinco.edu.co/revistas-2-2/>

### ABSTRACT

In the context of the research project entitled "Cyber resilience model for online applications" whose main objective is based on the design and implementation of a resilience or recovery model against security problems that may arise in the online transactions of an organization, and from the computer security research hotbed, by advancing what corresponds to the preliminary investigation and attending to the activities programmed for the proper development of the project, we identified the need for organizations in cybersecurity to have and maintain a common framework related to information security. In this sense, we set out to study the NIST Cybersecurity Framework and determine the importance of its adoption in an organization.

**KEYWORDS:** Cybersecurity, framework, NIST, organization.

<sup>1</sup> [[https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0000550892](https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000550892)] Profesor del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, Colombia – [lebaqueror@libertadores.edu.co](mailto:lebaqueror@libertadores.edu.co)

<sup>2</sup> [[https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0001158414](https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001158414)] Profesor del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, Colombia – [mhernandezb@libertadores.edu.co](mailto:mhernandezb@libertadores.edu.co)

<sup>3</sup> Gabriel Antonio Rojas Díaz [CV] Estudiante del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, Colombia – [garojasd@libertadores.edu.co](mailto:garojasd@libertadores.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

El marco para mejorar la ciberseguridad de la infraestructura crítica fue emitido el 12 de febrero de 2014, según lo dispuesto por el presidente de los Estados Unidos en Orden Ejecutiva 13636. Se refiere a un marco voluntario, basado en estándares existentes, directrices y prácticas que proporciona una guía para reducir riesgos dentro de las infraestructuras críticas de las organizaciones; este marco de ciberseguridad (CSF, por sus siglas en inglés) fue desarrollado por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST). Provee un conjunto detallado de controles de seguridad que se centran en desarrollar perfiles individuales para los operadores. Los controles de seguridad de CSF se distribuyen en cinco dominios: Identificar; Proteger; Detectar; Responder; Recuperar.

La seguridad de la información, por fortuna, es un tema que día a día preocupa más a las organizaciones, esto cubre el aseguramiento de su infraestructura crítica buscando garantizar la continuidad del negocio y desde años atrás vienen haciendo esfuerzos ingentes en ello, cuyo resultado ha sido la suma de esfuerzos y experiencias significativas, muchas de ellas aisladas, sin ningún marco de trabajo común que les pueda ahorrar tiempos y dinero, y que a la vez se puedan sentir mejor protegidos frente al sinnúmero de amenazas cibernéticas existentes tanto internas como externas. Pensando en esta situación, se estudia y se resalta la importancia de su adopción del NIST Cybersecurity Framework en las organizaciones.

## 2. LAS CIBERAMENAZAS

Los ciberdelincuentes se están volviendo cada vez más sofisticados y son capaces de explotar la vulnerabilidad de día cero y la amenaza persistente avanzada (APT) (Zhao et al., 2020), los ciberdelincuentes y los ciberterroristas tienen un amplio arsenal de armas para utilizar en sus actividades, siendo esto un problema de seguridad siempre han sido el foco principal, sin importar en el sector académico o industrial, agentes difieren considerablemente en términos del nivel de participación requerido por el perpetrador, la sofisticación de la herramienta, los mecanismos de protección y muchos otros factores. Sin embargo, lograr la ciberseguridad requiere que las personas, las empresas y las agencias gubernamentales se aseguren de que están preparados y son capaces de defender sus propios datos y redes de todas y cada una de las formas, dado que incluso las soluciones tecnológicas más avanzadas pueden ser eludidas por un pirata informático que pueda engañar a un empleado para que dé su información de inicio de sesión.

Los métodos más comunes se enumeran y describen brevemente aquí incluyen (Bullock, Haddow, & Coppola, 2018):

- Sitio web malicioso: funciona explotando la forma en que funcionan los navegadores web, de modo que se descarga software dañino en la computadora del usuario.
- Virus: programas que funcionan sin ser vistos ni detectados en una computadora u otro hardware para influir en la forma en que funciona el sistema operativo del dispositivo.
- Caballo de Troya: un programa que, como un virus, existe para influir en la forma en que opera un componente de hardware o un programa de software, pero que se disfraza para aparecer como un programa útil que el usuario afectado instala a sabiendas en su sistema o dispositivo.

- Gusano: un tipo de virus que puede replicarse en un sistema infectado sin ninguna acción humana.
- Spyware: programas que se instalan en un sistema o dispositivo sin el conocimiento del usuario con el fin de recopilar información y transmitirla al origen del ataque.
- Registrador de pulsaciones de teclas (keylogger): programas o dispositivos físicos que registran cada tecla pulsada por el usuario en una sucesión ordenada.
- Malware: un nombre general para cualquier programa que busque comprometer, interrumpir o robar un dispositivo o sistema (también conocido como código malicioso o software malicioso).
- Ataque de denegación de servicio (DOS) / denegación de servicio distribuido (DDOS): impide el acceso o el uso de un sitio web o sistema de gestión de información.
- Bot: una computadora que ha sido tomada de forma remota por un atacante, casi exclusivamente a través de su conexión a Internet, con fines nefastos (generalmente para ataques DDOS).
- Hack: un acceso exitoso a un sistema informático o de información utilizando medios nefastos.
- Phishing: un método que utilizan los piratas informáticos para obtener la información de identificación y contraseña de un objetivo involuntario que generalmente implica el uso de ingeniería social.
- Spoofing: un método que se usa a menudo en esquemas de phishing en el que un pirata informático puede disfrazar su propia dirección de correo electrónico para que parezca una en la que su objetivo podría confiar.
- Envenenamiento de DNS (o suplantación de DNS): una forma de piratería en la que el pirata informático puede desviar el tráfico de un sitio web legítimo al suyo, dándoles así acceso a todos los datos que los usuarios normalmente proporcionarían al propietario legítimo del sitio web.
- Exploit: un error o una vulnerabilidad desconocida en el software o sistema que permite que un hacker acceda.
- Clickjacking: un método de piratería en el que el pirata informático engaña a un objetivo para que haga clic en algo que parece legítimo, pero de hecho lo dirige a otro sitio web o intenta instalar software malicioso en su computadora.
- Cookies: pequeños paquetes de información que un sitio web almacena en la computadora de un usuario para rastrear, almacenar y luego devolver información al sitio web con el fin de comprender la actividad previa (utilizada tanto para sitios web legítimos como para piratas informáticos).
- Inyección de SQL: un método de piratería en el que el pirata informático ingresa código en una interfaz de base de datos, u otro programa basado en datos, para ordenar al programa que les envíe parte o toda la información que el sistema está almacenando.
- Skim: una acción en la que se recopilan datos personales de una tarjeta de crédito durante una transacción en persona sin el conocimiento del propietario.

• Ingeniería social: métodos que utilizan medios psicológicos o no técnicos para engañar a las víctimas para que entreguen voluntaria o involuntariamente su información personal, incluida la información de inicio de sesión y las contraseñas.

• Ransomware, rescate y chantajes cibernéticos: herramientas y acciones en las que un ciberdelincuente altera o corrompe los datos en un sistema objetivo y luego instruye a una persona a cargo del material objetivo para que proporcione un pago de rescate a cambio de la reparación de los datos.

### 3. COMPROMISO PÚBLICO DESDE LA CASA BLANCA

El ciberespacio toca prácticamente todo y a todos. Proporciona una plataforma para la innovación y la prosperidad y los medios para mejorar el bienestar general en todo el mundo. Pero con el amplio alcance de una infraestructura digital flexible y ligeramente regulada, los grandes riesgos amenazan a las naciones, las empresas privadas y los derechos individuales.

El gobierno tiene la responsabilidad de abordar estas vulnerabilidades estratégicas para garantizar que los Estados Unidos y sus ciudadanos, junto con la comunidad más amplia de naciones, puedan realizar todo el potencial de la revolución de la tecnología de la información; en tal sentido la arquitectura de la infraestructura digital de la nación, basada en gran medida en Internet, no es segura ni resistente. Sin grandes avances en la seguridad de estos sistemas o un cambio significativo en la forma en que se construyen u operan, es dudoso que Estados Unidos pueda protegerse de la creciente amenaza del ciberdelito y las intrusiones y operaciones patrocinadas por el estado.

La infraestructura digital ya ha sufrido intrusiones que han permitido a los delincuentes robar cientos de millones de dólares, y a los estados-nación y otras entidades robar propiedad intelectual e información militar sensible (House, 2020). Otras intrusiones amenazan con dañar partes de nuestra infraestructura crítica. Estos y otros riesgos tienen el potencial de socavar la confianza de la Nación en los sistemas de información que subyacen a nuestros intereses económicos y de seguridad nacional; señalan desde la sede de gobierno federal.

### 4. EL MARCO DE CIBERSEGURIDAD CSF

El NIST Cybersecurity Framework es un marco de trabajo con enfoque basado en el riesgo que ayuda a quienes enfrentan amenazas de ciberseguridad a observar sistemáticamente qué son (personas, información, instalaciones, etc.), qué los amenaza (y cuáles podrían ser las posibles consecuencias de esas amenazas), qué se puede hacer para abordar esas amenazas y responder a ellas, y qué se puede hacer para garantizar una recuperación rápida.

Hay tres partes principales del marco, que incluyen:

El Marco Básico o Framework Core, descrito como un conjunto de actividades de ciberseguridad y referencias informativas que son comunes en los sectores de infraestructura crítica. Las actividades de ciberseguridad están agrupadas en cinco funciones, cada una de las cuales proporciona una visión de alto nivel de la gestión de los riesgos cibernéticos de una organización. Estos incluyen (Bullock, Haddow, & Coppola, 2018) (NIST, 2020):

Identificar: desarrolle la comprensión organizacional para administrar el riesgo de ciberseguridad de los sistemas, activos, datos y capacidades. Comprender el contexto empresarial, los recursos que respaldan las funciones críticas y los riesgos de ciberseguridad relacionados permite a una organización enfocar y priorizar sus esfuerzos, de acuerdo con su estrategia de gestión de riesgos y sus necesidades comerciales.

• Proteger: desarrolle e implemente las salvaguardas apropiadas para asegurar la entrega de servicios de infraestructura crítica. La función Proteger admite la capacidad de limitar o contener el impacto de un posible evento de ciberseguridad.

• Detectar: desarrolle e implemente las actividades apropiadas para identificar la ocurrencia de un evento de ciberseguridad. La función Detectar permite el descubrimiento oportuno de eventos de ciberseguridad.

• Responder: desarrollar e implementar las actividades adecuadas para tomar medidas con respecto a un evento de ciberseguridad detectado. La función Responder admite la capacidad de contener el impacto de un posible evento de ciberseguridad.

• Recuperar: desarrolle e implemente las actividades apropiadas para mantener los planes de resiliencia y restaurar cualquier capacidad o servicio que se haya visto afectado debido a un evento de ciberseguridad. La función de recuperación admite la recuperación oportuna de las operaciones normales para reducir el impacto de un evento de ciberseguridad.

Tabla 1. Framework NIST

| Function Unique Identifier | Function | Category Unique Identifier | Category                                        |
|----------------------------|----------|----------------------------|-------------------------------------------------|
| ID                         | Identify | ID.AM                      | Asset Management                                |
|                            |          | ID.BE                      | Business Environment                            |
|                            |          | ID.GV                      | Governance                                      |
|                            |          | ID.RA                      | Risk Assessment                                 |
|                            |          | ID.RM                      | Risk Management Strategy                        |
| PR                         | Protect  | PR.AC                      | Access Control                                  |
|                            |          | PR.AT                      | Awareness and Training                          |
|                            |          | PR.DS                      | Data Security                                   |
|                            |          | PR.IP                      | Information Protection Processes and Procedures |
|                            |          | PR.MA                      | Maintenance                                     |
|                            |          | PR.PT                      | Protective Technology                           |
| DE                         | Detect   | DE.AE                      | Anomalies and Events                            |
|                            |          | DE.CM                      | Security Continuous Monitoring                  |
|                            |          | DE.DP                      | Detection Processes                             |
| RS                         | Respond  | RS.RP                      | Response Planning                               |
|                            |          | RS.CO                      | Communications                                  |
|                            |          | RS.AN                      | Analysis                                        |
|                            |          | RS.MI                      | Mitigation                                      |
|                            |          | RS.IM                      | Improvements                                    |
| RC                         | Recover  | RC.RP                      | Recovery Planning                               |
|                            |          | RC.IM                      | Improvements                                    |
|                            |          | RC.CO                      | Communications                                  |

Fuente: <https://bit.ly/2GiIO8g> 2020

Los perfiles, que ayudan a las organizaciones a alinear sus actividades de ciberseguridad con los requisitos comerciales, las tolerancias de riesgo y los recursos. El análisis de las diferencias entre los perfiles puede identificar brechas que se deben gestionar para lograr los objetivos de gestión de riesgos. Con este fin, se debe desarrollar un plan de acción, que incluye priorizar las actividades en función de las necesidades comerciales de la organización y los procesos de gestión de riesgos. Este enfoque basado en el riesgo permite a las organizaciones estimar los recursos (por ejemplo, personal y fondos) necesarios para lograr los objetivos de ciberseguridad establecidos de una manera rentable y priorizada.

Los niveles del marco de ciberseguridad, que permiten a las partes interesadas de los sectores público y privado evaluar cómo están gestionando su riesgo cibernético y comprender mejor cómo se miden esas acciones hasta lo que se considere efectivo. Hay cuatro niveles, que se describen como "Parciales" en el extremo inferior y "Adaptativo" en el extremo superior. Los niveles incluyen descripciones generales de cuánta atención se presta a la gestión de riesgos, el grado en que estas actividades están vinculadas a las necesidades del negocio y cuánta integración disfruta la ciberseguridad en las operaciones más amplias de la empresa u organización.

Figura 1. Niveles de implementación del CSF



Fuente: <https://marvin-soto.medium.com/nist-ciberseguridad-hol%C3%ADstica-ce4b3911dae7>

Tal como se aprecia, el nivel varía de parcial (nivel 1) al adaptado (nivel 4) y describe el grado de toma de decisiones de riesgo cada vez más rigurosa e integral, el grado en que la ciberseguridad se incluye en decisiones de riesgo más amplias y la organización la comparte y recibe; incluye información de ciberseguridad de fuentes externas.

## 5. MARCO DE LA NIST EN LAS ORGANIZACIONES

La infraestructura crítica, o CI, es una subcategoría de infraestructura que incluye aquellos activos, sistemas y redes, ya sean físicos o virtuales, que son tan vitales que su falla o destrucción tendría un impacto debilitante en la seguridad, la gobernanza, la salud pública y la seguridad. confianza pública, así mismo las herramientas de evaluación de vulnerabilidades de seguridad cibernética existentes se diseñaron en base a las políticas y estándares definidos por organizaciones como el Departamento de Energía de los EE. UU. y el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) (Gupta Gouriseti, Gouriseti, & Patangia, 2020).

Para las organizaciones es vital asegurar la información procesada y almacenada por las tecnologías de la información y la comunicación es una tarea cada vez más importante debido al creciente ingenio y la cantidad de ataques detectados en el ciberespacio, a este respecto la seguridad de la información propende por la preservación de la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información, sin embargo están las amenazas causas potenciales de un incidente no deseado, que puede resultar en daño a un sistema u organización otro elemento a considerar son las vulnerabilidades los cuales son una debilidad o defecto de un activo o control que puede ser explotado por una o más amenazas, el evento de seguridad de la información es la ocurrencia identificada del estado de un sistema, servicio o red que indica una posible violación de la seguridad de la información política o falla de los controles, o una situación previamente desconocida que puede ser relevante para la seguridad, incidente de seguridad de la información es uno o una serie de eventos de seguridad y el riesgo la probabilidad de que una vulnerabilidad pueda ser explotada por una amenaza, generando un impacto (Disterer, 2013) (Meszaros & Buchalcevova, 2017).

El modelo de la NIST se desarrollará de tal manera que pueda ser aplicable a la mayoría de las organizaciones. Para ser lo suficientemente flexible y genérico como para ser aplicado a diferentes realidades organizacionales, este modelo tendrá en cuenta los siguientes supuestos (Teodoro, Gonçalves, & Serrão, 2015):

- Diferentes niveles de madurez de CS en toda la organización.
- La relevancia de las subcategorías NIST CSF puede diferir entre organizaciones.
- Agnóstico tecnológico, enfocándose en la funcionalidad y objetivos.
- Estructura interna y organizaciones entre equipos y departamentos.

El modelo pretende ser lo más genérico posible desde la perspectiva de la organización (representado por los tres pilares, RRHH, procesos y tecnología) y tender un puente entre cada realidad propia con NIST CSF, proporcionando como resultado un conjunto de métricas que permitan un análisis de línea base de nivel de cumplimiento de esa norma; como una visión estratégica de alto nivel del ciclo de vida de la gestión del riesgo de ciber seguridad de una organización. Las cinco funciones principales de marco de NIST para una organización son (AWS, 2020):

A. Identificar (ID) Los datos, el personal, los dispositivos, los sistemas y las instalaciones que permiten a la empresa conseguir objetivos empresariales se identifican y gestionan de forma consistente con su importancia relativa para los objetivos empresariales y la estrategia de los riesgos de la empresa.

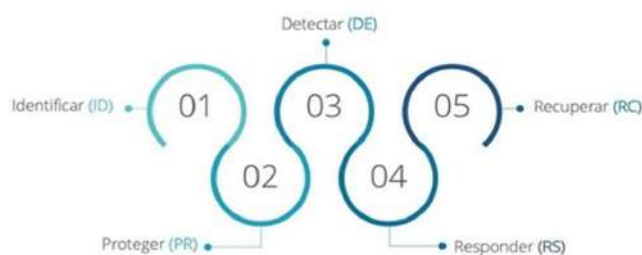
B. Proteger (PR) El acceso a los activos físicos y lógicos y las instalaciones asociadas se limita a los usuarios, los procesos y los dispositivos autorizados, y se gestiona de forma consistente con el riesgo evaluado del acceso no autorizado a actividades y transacciones autorizadas.

C. Detectar (DE) La actividad anómala se detecta de forma oportuna y se comprende el posible impacto de los eventos.

D. Responder (RS) Los procesos y los procedimientos de respuestas se ejecutan y mantienen para garantizar una respuesta oportuna a los eventos de seguridad cibernética detectados.

E. Recuperarse (RC) las actividades de restauración se coordinan con partes internas y externas, como centros coordinadores, proveedores de servicios de Internet, propietarios de sistemas de ataque, víctimas, otros CSIRT y vendedores.

**Figura 2. Funciones principales del NIST Cybersecurity Framework**



Fuente: NIST

Otras consideraciones es que el marco de ciberseguridad del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) dada su flexibilidad permite una integración con el Modelo de Alineación Estratégica (SAM), COBIT, la ISO 22316 correspondiente a la Resiliencia Organizacional. La alineación entre las estrategias comerciales y de TI, con sus respectivas infraestructuras administrativas, procesos y habilidades del personal, mantiene una resiliencia mutuamente dependiente (Belalcázar, Belalcázar, Díaz, & Molinari, 2017).

La implementación de seguridad cibernética basado en la CSF incluye unos pasos iterativos, tal como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3. Pasos para la implementación de un programa de ciberseguridad basado en el CSF**



Fuente: <https://marvin-soto.medium.com/nist-ciberseguridad-hol%C3%ADstica-ce4b3911dae7>

• **Paso 1** – Priorización y definición de alcance: Se deberá identificar las prioridades de alto nivel de la organización y los objetivos de negocios. Con toda la información ya obtenida se puede decidir el alcance del programa.

• **Paso 2** – Orientación: Se deben determinar los sistemas activos, las amenazas, los requisitos regulatorios y las vulnerabilidades relacionados con el entorno de idoneidad definido.

• **Paso 3** – Crear un perfil actual: A través de las funciones del marco básico y el uso de categorías y subcategorías, se pueden obtener los resultados de la ejecución de controles en el entorno.

• **Paso 4** – Ejecutar un análisis de riesgos: Se realizó un análisis de riesgo para determinar la probabilidad y el impacto de incidentes de ciberseguridad en el entorno analizado.

• **Paso 5** – Crear un perfil objetivo: Determina los objetivos de seguridad cibernética que la organización pretende cubrir.

• **Paso 6** – Determinar, analizar y priorizar las brechas detectadas: A través del análisis de la diferencia entre el perfil actual y el perfil objetivo, se puede definir un plan de acción prioritario según costo/beneficio, de manera que se puedan determinar los recursos y se puedan tomar medidas de mejora.

• **Paso 7** – Implementar el plan de acción: Realizamos ajustes controlados y despliegues mejorados de forma gradual y monitoreada.

• **Paso 8** – Revisión del plan de acción.

• **Paso 9** – Gestión del ciclo de vida.

Existen herramientas de software para soportar la implementación del CSF, una de ellas es referida al proyecto Baldrige (NIST Programa Baldrige, s.f.) que permite el diseño de un enfoque integrado para la gestión del desempeño organizacional, integrando las normas del CSF en su marco de excelencia llamado "Marco de excelencia Baldrige".

Finalmente, una buena cantidad de estudios de casos, guías de implementación, herramientas y recursos educativos de gran apoyo se pueden encontrar en la página de recursos de la industria del NIST (NIST RESOURCES, s.f.) facilitando y aportando ayuda a las actividades de desarrollo en este sentido.

## 6. CONCLUSIONES

Las organizaciones se han vuelto cada vez más dependientes de los sistemas de información para realizar el Core del negocio como siempre. Además, ciber ataques como espionaje industrial, fuga de información confidencial, robo digital, daño a la imagen y reputación de la organización. Para mitigar estos incidentes informáticos, organizaciones como el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) han hecho un esfuerzo por establecer una guía de protección de ciberseguridad.

Los Estados, las organizaciones, las entidades financieras, los hospitales y otras empresas recopilan, procesan y almacenan grandes cantidades de información confidencial en las computadoras y las transmiten a través de redes a otras computadoras, con el fin de mitigar el riesgo y reducir la brecha en Ciberseguridad las organizaciones implementan el marco NIST.

El Marco de la NIST ofrece una estructura, sencilla y efectiva, que apoyan las cinco funciones de gestión de riesgos: Identificar, Proteger, Detectar, Responder y Recuperar. Con el fin de brindar la seguridad cibernética actual y futura a una organización.



## REFERENCIAS



- AWS. (25 de 10 de 2020). AWS. Obtenido de <https://bit.ly/34IW5jR>
- Belalcázar, A., Belalcázar, M., Díaz, J., & Molinari, L. (2017). Towards a Strategic Resilience of Applications through the NIST Cybersecurity Framework and the Strategic Alignment Model (SAM). International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS). Quito: IEEE.
- Bullock, J., Haddow, G., & Coppola, D. (2018). 8 - Cybersecurity and Critical Infrastructure Protection. En H. Security. Elsevier Inc.
- Disterer, G. (2013). ISO/IEC 27000, 27001 and 27002 for Information Security Management. Journal of Information Security.
- Gupta Gourisetti, S., Gourisetti, G., & Patangia, H. (2020). Cybersecurity vulnerability mitigation framework through empirical paradigm. Enhanced prioritized gap analysis., 410-431.
- House, W. (28 de 10 de 2020). National Archives. Obtenido de [www.whitehouse.gov/issues/cybersecurity](http://www.whitehouse.gov/issues/cybersecurity) .
- Meszaros, J., & Buchalcevova, A. (2017). Introducing OSSF: A framework for online service cybersecurity risk management. Computers & Security, 300-313.
- NIST. (2020 de 10 de 2020). NIST releases Cybersecurity Framework version 1.0. Obtenido de <https://bit.ly/3oKIG3Y>  
Nist Programa Baldrige. (s.f.). Obtenido de <https://www.nist.gov/baldrige/how-baldrige-works>
- NIST RESOURCES. (s.f.). Obtenido de <https://www.nist.gov/cyberframework/resources>
- Teodoro, N., Gonçalves, L., & Serrão, C. (2015). NIST CyberSecurity Framework Compliance: A Generic Model for Dynamic Assessment and Predictive Requirements. Trustcom/BigDataSE/ISPA, 418-425.
- Zhao et al., J. (2020). TIMiner: Automatically extracting and analyzing categorized cyber threat intelligence from social data. Computers & Security.