

L'esprit Ingénieux

ISSN: 2011 - 9836

Enero - Diciembre Vol. 15 No. 1

División de Arquitectura e Ingenierías

Universidad Santo Tomás

Tunja - Colombia

Publicación Anual

15





UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

T U N J A
Experiencia y Calidad

L'esprit Ingénieux

Institución Editora

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, SECCIONAL TUNJA

Editor

Ph.D. Pedro Mauricio Acosta Castellanos
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia

Volumen de la Revista

VOLUMEN 15
AÑO 2024

Periodicidad

ANUAL

ISSN (Versión Impresa)

2011-9836

ISSN (En línea)

2422-2151

Dirección Postal

Centro de Investigaciones en Ciencias Arquitecturales e Ingenierías
Universidad Santo Tomás – Seccional Tunja
Calle 19 No. 11-64. Tunja (Boyacá), Colombia

Teléfono

608 7440404, Ext. 1024

E-mail

revista.ingenieria@ustatunja.edu.co
pedro.acosta@usantoto.edu.co

Traducción lengua inglesa

Los conceptos expresados en los artículos son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no comprometen a la Institución, ni a la publicación. La Revista *Esprit Ingénieux* es un órgano de difusión de la División de Ciencias de Arquitectura e Ingenierías de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, que muestra los productos de investigación generados a partir de diferentes avances científicos y tecnológicos, dirigida al público en general. Se encuentra incluida en el Índice Bibliográfico de Publicaciones –PUBLINDEX. **Se trata de una publicación de periodicidad anual.**

Para la recepción de artículos se dispone el correo institucional:

revista.ingenieria@ustatunja.edu.co
pedro.acosta@usantoto.edu.co

<http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux>

www.ustatunja.edu.co

Comité Editorial Seccional

Fr. José Fernando Mancipe, O.P.
Rector Seccional

Fr. José Gregorio Hernández Tarazona, O.P.
Vicerrector Académico

Fr. José Arturo Restrepo Restrepo O.P.
Vicerrector Administrativo y Financiero

Fr. Sergio Andrés Mendoza Vargas, O.P.
Decano de División de Ingenierías y Arquitectura

Comité Editorial

Fr. Sergio Andrés Mendoza Vargas, O.P.
Decano de División de Ingenierías

M.Sc Laura Natalia Garavito
Secretaria de División: laura.garavito@usantoto.edu.co

M.Sc Brigid Hiomara Pacheco García
Decana de Facultad: decano.civil@usantoto.edu.co

Ph.D Pedro Mauricio Acosta Castellanos
Editor: pedro.acosta@usantoto.edu.co

Ph. D. Carlos Andrés Caro Camargo
Coordinador de investigaciones Facultad de Ingeniería Civil:
carlos.caro@usantoto.edu.co

M.Sc Germán Oswaldo Parada Pérez
Coordinador área de recurso hídrico y ambiental:
german.parada@usantoto.edu.co

M.Sc Wilson Medina
Coordinador área de estructuras:
wilson.medina@usantoto.edu.co

M.Sc Néstor Iván Rojas
Coordinador área de Geotecnia, Vías y Pavimentos:
Nestor.rojas@usantoto.edu.co

M.Sc Juan Ricardo Pérez Cuervo
Coordinador de responsabilidad social
juan.perez@usantoto.edu.co

Comité Científico

Ph.D. Carlos Andrés Caro Camargo
Facultad de Ingeniería Civil
carlos.caro@usantoto.edu.co

Ph.D. Pedro Mauricio Acosta Castellanos
Facultad de Ingeniería Civil:
pedro.acosta@usantoto.edu.co

EDITORES

Ph.D. Pedro Mauricio Acosta Castellanos
Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia
pedro.acosta@usantoto.edu.co

CORRECCIÓN DE ESTILO

Ph.D. Santiago María Bordamalo Echeverri
santiago.bordamalo@usantoto.edu.co

Diseño gráfico y diagramación
Editorial Jotamar S.A.S
Tunja - Boyacá

ISSN (Impreso): 2011-9836

Hecho el Depósito que establece la Ley
© Derechos Reservados
Universidad Santo Tomás

ISSN (en línea): 2422-2151

© Derechos Reservados
Universidad Santo Tomás

Suscripciones y Canje

Calle 19 No. 11-64 – Tunja - Boyacá
PBX: 608 7440404 – Exts. 31230 - 31239
Desde cualquier lugar del país Línea Gratuita:
018000932340 <https://santototunja.edu.co/>

Contenido

11

Análisis Estructural avanzado del Templo de Huaytará-Huancavelica (Perú).

Cuadros R. Emerson Luis.

108

Análisis comparativo del impacto de las Variables de Población, DBO y Temperatura en Lagunas Facultativas.

Castro Garzón, Cristian Aurelio
López Niño, Lesly Stefani
Motta Martínez. Juan David

21

Diagnóstico de movilidad sostenible en ciudades intermedias: Caso de estudio Tunja.

Briceño Ch. Andrés David.
Mariño M. Laura Vanesa.
Pardo L. Jorge Nicolas Felipe.
Toledo C. Miguel Ángel.

120

Revisión de la variación en profundidad de lagunas facultativas

Galán V., Luis Carlos
Cardona O., Owen Santiago

50

Calidad de la información y del sistema de gestión del conocimiento.

Caro C. Carlos Andrés
Ochoa P. Jorge Esteban
Torres A. Dayana Vanessa

132

Desarrollo y análisis de diseño para una laguna facultativa.

Alba C., Mercy Yuliana
Hernández Ávila, Laura Sofía

73

Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular: Una perspectiva aplicativa.

Ballesteros B
Milton Fernando
Chaparro R. Andrés Esteban
Martínez G. Sebastián

Editorial

INGENIERÍA Y AMBIENTE: RETOS Y SOLUCIONES SOSTENIBLES EN EL SIGLO XXI.

Estimados lectores: El volumen 14 de la *Revista L'Esprit Ingenieux*, de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja, presenta en esta ocasión una serie de investigaciones que abarcan las diferentes áreas del conocimiento en ingeniería.

Para esta versión, se presentan investigaciones que pretenden mostrar la relación entre la ingeniería y el ambiente, partiendo de que el cambio climático es la consecuencia de un estilo erróneo de desarrollo a nivel global, el cual requiere de forma inmediata y sin excepción una transformación en la concepción de desarrollo. Lo cual revela la necesidad de promover una transformación global, en búsqueda de garantizar el bienestar de la población y, al mismo tiempo, generar estrategias para la conservación, recuperación y cuidado del patrimonio ambiental y cultural.

En este proceso, surgen una serie de alternativas económicas que buscan hacer frente al desafío del *Siglo XXI*, contexto donde los planes estratégicos de los países deben estar orientados a la adaptación al cambio climático y al mismo tiempo a generar procesos de crecimiento económico que en conjunto mejoren las condiciones sociales y propicien la conservación del medio ambiente.

Efectivamente, se presentan alternativas como la *Bioeconomía*, basada en el consumo y la producción de bienes y servicios derivados del uso directo y la transformación sostenible de los recursos biológicos; la *Economía Circular*, que se presenta como un sistema de aprovechamiento de los recursos con la reincorporación de los residuos de una actividad económica en un nuevo ciclo productivo; la *Inteligencia Ecológica*, que impulsa un cambio en la actitud y forma de vida, concientizando sobre las consecuencias -producto de una decisión en el ambiente-, y la *Eficiencia Energética*, que se establece dada la necesidad de incorporar elementos ambientalmente competentes en la generación de energía de manera eficiente y eficaz, desarrollando una canasta energética diversificada mediante la incorporación de tecnologías limpias, las cuales buscan la minimización de la generación y toxicidad de los contaminantes y residuos en la fuente de origen.

En conjunto, todas estas alternativas se consideran estrategias que buscan reducir la vulnerabilidad producto de los efectos del *Cambio Climático* y que como similitud presentan planes basados en estilos económicos de cooperación y confianza, promueven una economía de justicia, fraternidad y compasión, basados en la generación de nuevas ideas encaminadas a alcanzar un equilibrio holístico, con fundamento ético amplio, con factores y conceptos humanísticos, en pro de una actividad socio-económica más justa y responsable para los seres humanos conforme a las exigencias de la biosfera.

En este orden de ideas, la multidisciplinariedad, el pensamiento holístico y la interdisciplinariedad, constituyen el eje clave para que desde la ingeniería se aporte a la conservación de los recursos y se generen aportes positivos a nivel social, económico y ambiental.

En este contexto, se presenta un primer artículo intitulado “Análisis Estructural del Templo de Huaytará-Huancavelica, Perú”, que presenta una perspectiva holística de un análisis estructural no lineal del templo para evaluar su comportamiento ante acciones sísmicas. Comienza con una revisión del estado actual y una investigación histórica sobre las fases de construcción, para la generación de un modelo geométrico 3D -utilizando técnicas fotogramétricas-, seguido de una descripción detallada de los componentes estructurales y materiales encontrados durante los trabajos de campo, identificando las causas de los daños actuales y los elementos más vulnerables del templo, socializando hallazgos que proporcionan una base sólida para futuras intervenciones, y asegurando así la preservación y estabilidad de la iglesia histórica de San Juan Bautista de Huaytará.

Para el Artículo 2, contamos con “Diagnóstico de movilidad sostenible en ciudades intermedias: caso de estudio Tunja”, sobre el estado de la movilidad sostenible entre 2015-2023 y proyectos desarrollados en el Municipio de Tunja, identificando posibles soluciones para incentivar el uso de la movilidad sostenible como medio de transporte, con miras a incentivar medios de transporte que reduzcan los impactos negativos en el ambiente, tales como el transporte colectivo urbano, la bicicleta, el modo peatonal y la micro movilidad.

El Artículo 3: “La calidad de la información y del sistema de gestión del conocimiento”, expone la importancia que implica el manejo y la calidad de la información en el manejo de los recursos hídricos, pretendiendo aportar en la gobernanza de cuencas rurales (índice *GWII*), que busca en 18 ítems una evaluación de las cuencas rurales para aprovechar el agua sostenible. Para tal proyecto se llevó a cabo en el municipio de Cómbita (Boyacá, Colombia) una metodología que evaluó cuatro factores para el manejo y calidad de la información desde la creación de un sistema que permitió ubicar espacialmente y poder georreferenciar los datos; asimismo, se abordó el uso del suelo debido a que la demanda de agua de este se puede ver atribuido a cultivos e identificar acueductos para riego agrícola o puntos de explotación de agua. También se asumió la identificación de la toma de agua actual, que facilitó conocer el acceso de agua potable en el acueducto rural y un análisis de la calidad del servicio actual, y adquirió fuerte repercusión debido a que en algunos casos se presenta tubería antigua, y acceso limitado por horas o días de servicio.

El Artículo 4: “Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular: una perspectiva aplicativa”, caracteriza un material moderno y con grandes beneficios: el concreto celular, mediante diferentes propiedades mecánicas y estructurales de acuerdo con las investigaciones experimentales realizadas a nivel mundial. Se realizó un análisis comparativo entre seis diferentes especímenes experimentales preparados en diferentes investigaciones para relacionarlos así con el concreto estructural, y luego realizar un análisis aplicativo del concreto celular, para finalmente comentar sobre el uso del concreto celular en Colombia.

Por otra parte, el Artículo 5: “Análisis comparativo del Impacto de las Variables de Población, *DBO* y temperatura en Lagunas Facultativas”, responde a un análisis comparativo de factores como la población, la demanda biológica de oxígeno (*DBO*) y la temperatura, para determinar las características de las lagunas de estabilización facultativas para conseguir disminución de la *DBO* presente.

A su vez, el Artículo 6: “Revisión de la variación en profundidad de lagunas facultativas”, apunta hacia las lagunas de estabilización -en específico las facultativas-, que brindan una solución óptima para el tratamiento de aguas residuales, enfocándose en la remoción del *DBO* a partir de diferentes procesos naturales y elementos prediseñados. Se analizó la posibilidad de estudiar la profundidad más detenidamente, previo a la construcción de una laguna con el fin de obtener tiempos de retención adecuados y eficacia en la depuración del agua tratada.

En el Artículo 7: “Desarrollo y análisis de diseño para una laguna facultativa”, se muestra cómo diseñar lagunas facultativas siguiendo el método de McGarry & Pescot (1998) para determinar sus características en función de seis poblaciones con su respectiva información. También se expone la importancia de estas lagunas como una solución efectiva y económica para el tratamiento del agua en diversas poblaciones.

Finalmente, anotamos que con la versión No. 14 de la *Revista L'Esprit Ingenieux*, se pretende mostrar investigaciones prácticas en torno al quehacer de la ingeniería y su articulación con el ambiente, generando soluciones que aporten a la conservación de los recursos naturales, y contribuyan a la generación de estrategias para la adaptación al cambio climático.

Yuddy Alejandra Castro Ortegón, Ph. D.
Docente Investigadora
Universidad Santo Tomás Seccional Tunja

“ENGINEERING AND ENVIRONMENT: SUSTAINABLE CHALLENGES AND SOLUTIONS IN THE 21ST CENTURY”

Dear readers, Volume 14 of L'Esprit Ingenieux from Universidad Santo Tomás Tunja presents a series of research studies spanning various fields of engineering knowledge.

In this edition, the research focuses on the relationship between engineering and the environment, acknowledging that climate change is a consequence of a flawed global development model, which urgently requires a transformation in the conception of development. This highlights the necessity to promote a global transformation aimed at ensuring the well-being of the population while simultaneously generating strategies for the conservation, recovery, and care of environmental and cultural heritage.

In this process, several economic alternatives have emerged to address the challenges of the 21st century, where the strategic plans of countries must be oriented towards adapting to climate change while generating economic growth processes that together improve social conditions and promote environmental conservation.

Alternatives such as the Bioeconomy, which is based on the consumption and production of goods and services derived from the direct use and sustainable transformation of biological resources; the Circular Economy, which is presented as a system for resource utilization by reincorporating the waste from one economic activity into a new production cycle; Ecological Intelligence, which drives a change in attitude and lifestyle, raising awareness of the environmental consequences of decisions; and Energy Efficiency, which is established given the need to incorporate environmentally competent elements into the efficient and effective generation of energy, developing a diversified energy mix with the incorporation of clean technologies aimed at minimizing the generation and toxicity of pollutants and waste at the source.

Together, all these alternatives are considered strategies aimed at reducing vulnerability to the effects of climate change and share a common feature: they are based on economic models of cooperation and trust. They promote an economy of justice, fraternity, and compassion, driven by the generation of new ideas aimed at achieving a holistic balance, grounded in a broad ethical foundation with humanistic factors and concepts, in favor of a fairer and more responsible socio-economic activity for human beings in accordance with the demands of the biosphere.

In this context, multidisciplinary, holistic thinking, and interdisciplinarity are key axes for engineering to contribute to the conservation of resources and generate positive contributions at social, economic, and environmental levels.

In this context, the first article, “Structural Analysis of the Temple of Huaytará-Huancavelica, Peru,” presents a holistic perspective on a nonlinear structural analysis of the church to assess its behavior under seismic actions. It begins with a review of the current state and historical research on construction phases to generate a 3D geometric model using photogrammetric techniques, followed by a detailed description of the structural components and materials found during fieldwork, identifying the causes of current damage and the most vulnerable elements of the church, sharing findings that provide a solid foundation for future interventions to ensure the preservation and stability of the historic church of San Juan Bautista de Huaytará.

The second article, “Diagnosis of Sustainable Mobility in Intermediate Cities: The Case of Tunja,” presents a diagnosis of the state of sustainable mobility between 2015 and 2023 and projects developed in the Municipality of Tunja, identifying possible solutions to encourage the use of sustainable mobility as a means of transport and promote modes of transportation that reduce negative environmental impacts, such as urban collective transport, bicycles, pedestrian modes, and micro-mobility.

The third article, “Quality of Information and Knowledge Management Systems,” highlights the importance of information management and quality in the management of water resources, aiming to contribute to the governance of rural basins using the GWI index, which seeks to evaluate rural basins in eighteen items to make sustainable use of water. A methodology was applied in the municipality of Cóbbita to evaluate four factors for information management and quality, including the creation of a system to spatially locate and georeference data; land use due to its impact on water demand, which can be attributed to crops and identifying aqueducts for agricultural irrigation or water extraction points; identification of the current water intake to understand access to potable water in the rural aqueduct; and an analysis of the quality of the current service, which is significant because in some cases, old pipelines and limited or sporadic service are present.

The fourth article, “Comparative Analysis of the Mechanical Properties of Cellular Concrete: An Applicative Perspective,” characterizes a modern material with significant benefits: cellular concrete, through different mechanical and structural properties based on experimental research conducted worldwide. A comparative analysis is conducted between six different experimental specimens prepared in various studies to relate them to structural concrete, followed by an applicative analysis of cellular concrete, with final comments on the use of cellular concrete in Colombia.

The fifth article, “Comparative Analysis of the Impact of Population, BOD, and Temperature Variables on Facultative Lagoons,” presents a comparative analysis of factors such as population, biological oxygen demand (BOD), and temperature to determine the characteristics of facultative stabilization ponds for reducing BOD.

Additionally, the sixth article, “Review of Depth Variation in Facultative Lagoons,” focuses on stabilization ponds, particularly facultative lagoons, as an optimal solution for wastewater treatment, emphasizing BOD removal through various natural processes and pre-designed elements. The article analyzes the possibility of studying depth more carefully before constructing a pond to achieve adequate retention times and effectiveness in the purification of treated water.

The seventh article, “Development and Design Analysis for a Facultative Lagoon,” shows how to design facultative lagoons using the McGarry & Pescot (1998) method to determine their characteristics based on six populations with their respective information. It also emphasizes the importance of these lagoons as an effective and economical solution for water treatment in various populations.

Finally, with the XX edition of the magazine XX, we aim to showcase practical research related to the field of engineering and its connection with the environment, generating solutions that contribute to the conservation of natural resources and support the development of strategies for climate change adaptation.

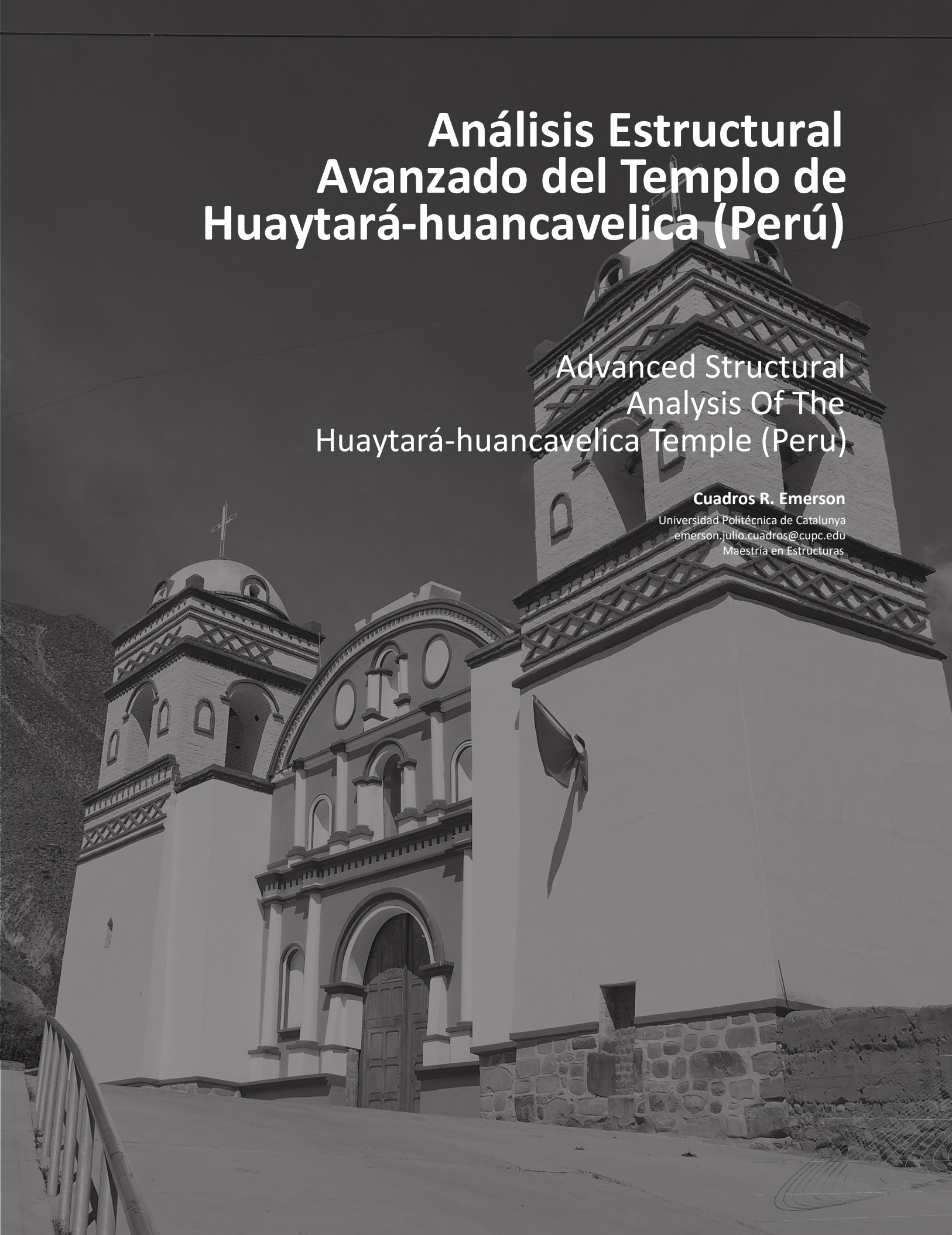
Yuddy Alejandra Castro Ortégón, PhD.
Research Professor
Universidad Santo Tomás Seccional Tunja

Análisis Estructural Avanzado del Templo de Huaytará-huancavelica (Perú)

Advanced Structural Analysis Of The Huaytará-huancavelica Temple (Peru)

Cuadros R. Emerson

Universidad Politécnica de Catalunya
emerson.julio.cuadros@cupc.edu
Maestría en Estructuras



Resumen

El templo San Juan Bautista de Huaytara (Perú) fue construido por orden del Inca Pachacutec en 1497 como parte de la expansión del imperio Inca. A lo largo de los años, ha sido testigo de diversos eventos históricos y ha sufrido alteraciones, lo que la hace única en cuanto a los materiales de construcción utilizados en Latinoamérica. Sin embargo, debido a la falta de conservación, presenta daños evidentes, especialmente en los muros de adobe, el muro Inca y las fachadas. El trabajo se centra en un análisis estructural no lineal del templo para evaluar su comportamiento ante acciones sísmicas. Comienza con una revisión del estado actual y una investigación histórica sobre las fases de construcción. Luego, se obtiene un modelo geométrico 3D utilizando técnicas fotogramétricas, seguido de una descripción detallada de los componentes estructurales y materiales encontrados durante los trabajos de campo. Se realizan ensayos de laboratorio en Lima y Barcelona para caracterizar mecánicamente los materiales. Finalmente, se desarrolla un modelo numérico 3D de elementos finitos para evaluar el comportamiento estructural ante cargas gravitatorias y sísmicas, utilizando el método estático no lineal (*Pushover*). Esto permite identificar las causas de los daños actuales y los elementos más vulnerables del templo.

Palabras clave: Ingeniería sísmica, Sismología.

Abstract

The San Juan Bautista church in Huaytara, Peru, was built by order of Inca Pachacutec in 1497 as part of the Inca Empire's expansion. Over the years, it has witnessed various historical events and undergone alterations, making it unique in terms of construction materials used in Latin America. However, due to a lack of conservation, it exhibits noticeable damage, particularly in the adobe walls, Inca wall, and facades. The focus of this work is a nonlinear structural analysis of the church to assess its behavior under seismic actions. It begins with a review of the current state and a historical investigation into the construction phases. Next, a 3D geometric model is generated using photogrammetric techniques, followed by a detailed description of the structural components and materials encountered during fieldwork. Mechanical characterization of the materials is conducted through laboratory tests in Lima and Barcelona. Finally, a 3D numerical model using finite element analysis is developed to evaluate the structural response to gravitational and seismic loads, employing the nonlinear static method (*Pushover*). This allows for the identification of the current damage causes and the most vulnerable elements of the church.

Keywords: Earthquake engineering, Seismology.

Para citar este artículo: Cuadros R., Emerson. "Análisis Estructural Avanzado del Templo de Huaytará-Huancavelica (Perú)". In *L'Esprit Ingenieux*. Vol. 13-1, pp. X-X.

1. INTRODUCCIÓN

El Templo de Huaytará-Huancavelica (Perú) es un monumento histórico ligado a eventos importantes en la historia peruana. Este edificio, ubicado cerca de la costa del Pacífico, está expuesto a movimientos sísmicos debido a su ubicación en el 'cinturón de fuego' de las placas de Nazca y América del Sur. Se destaca que en 2017 se registraron 397 sismos de magnitudes mayores a 3.0 en la zona. La estructura presentó aberturas, fisuras y otros daños, incluyendo erosión y colapso de la cúpula durante el terremoto de 2007. A pesar de su importancia histórica, ha habido pocas obras de conservación y ninguna investigación estructural previa.

Se propone una metodología para abordar el estudio desde una perspectiva estructural, con el objetivo de preservar y conservar el monumento. Esta metodología sigue las recomendaciones modernas de *ICOMOS/ISCARSAH* y consta de tres etapas: diagnóstico, evaluación de seguridad y definición de actuaciones necesarias. En cuanto a la metodología y técnicas empleadas durante los trabajos de campo, se destacó el uso de métodos no destructivos para la caracterización de materiales y mediciones detalladas para obtener información geométrica. Se menciona que se realizarán ensayos de laboratorio para obtener propiedades mecánicas de los materiales.

Los trabajos de gabinete se centran en la recopilación de datos históricos y arqueológicos, así como en la modelación estructural. Se destaca el uso de la fotogrametría y el método de elementos finitos para la modelación 3D y el análisis estructural. Los objetivos de la tesis incluyen la investigación histórica, inspecciones de campo, caracterización de materiales, obtención de modelos 3D y análisis estructural no lineal. El propósito final es identificar causas de daño estructural y elementos vulnerables para preservar este importante monumento histórico.

2. DESARROLLO DEL TRABAJO

2.1 Levantamiento fotogramétrico

La fotogrametría es una técnica utilizada para digitalizar edificios históricos, que a menudo presentan geometrías complejas que acarrearán daños. Esta técnica proporciona datos precisos sobre la forma, las dimensiones y la posición en el espacio de un objeto a partir de fotografías. Hay dos tipos principales de fotogrametría: terrestre (desde superficie terrestre) y aérea (desde un avión) (Buill Pozuelo *et al.*, 2003).

Tradicionalmente, se han utilizado escáneres láser para construir modelos digitales de elevación (*DEM*) (Schaefer & Inkpen, 2010), pero esto requiere equipos costosos y experiencia especializada. En contraste, los métodos de movimiento (*SfM*) permiten la adquisición de datos tridimensionales a bajo costo y con una supervisión mínima del usuario.

Este método utiliza la superposición de imágenes tomadas desde diferentes ángulos para determinar la geometría interna y la posición de la cámara automáticamente. Para escalar el modelo y tomar medidas, se necesita al menos una distancia conocida entre dos puntos visibles. Cuantas más distancias conocidas tengamos, mejor será la validación del modelo en términos de precisión.



Figura 1: Vista de las fachadas del modelo fotogramétrico texturizado.

En el estudio, se corrigió el modelo inicial generado por el *software* utilizando marcadores. Estos consisten en puntos estratégicos comunes en muchas de las fotografías proporcionadas al *software*, y en este caso se utilizaron 69 marcadores. Este proceso de corrección puede realizarse en cualquier etapa del proceso, pero se recomienda hacerlo antes de crear la nube de puntos densa para optimizar los recursos computacionales.

Se menciona que la corrección implica reorientar las posiciones de las cámaras. Para validar el modelo fotogramétrico, se compararon las medidas entre los marcadores con las obtenidas durante la inspección en el campo. Los errores fueron inferiores al 2%, lo que indica que el modelo es aceptable.

2.2 Inspección.

El templo de San Juan Bautista se encuentra en Huaytará (Perú), junto a la carretera Los Libertadores. Originalmente construida sobre un templo inca, está dedicada a San Juan Bautista. El templo cristiano católico ha experimentado varias modificaciones a lo largo de los siglos.

La estructura incluye una nave principal, sacristía y dos torres. El muro sur es detallado arquitectónicamente y tiene nichos, ventanas y entradas. El muro norte cuenta con hornacinas y nichos. A su vez, el muro oeste tiene una entrada principal y ventanas. La fachada este tiene una entrada, ventana y nicho. Las torres tienen bases y columnas, y la torre norte cuenta con un corredor que conduce al campanario. Las torres tienen una estructura superior y cúpula.

En la Iglesia San Juan Bautista, la nave tiene una cubierta ligera de planchas de aluminio y armaduras de madera. Las cargas se transmiten a los muros de adobe a través de cerchas y correas. Los

muros de adobe se apoyan en un muro de roca tallada inca, que a su vez transmite las cargas al terreno de fundación. También hay arcos de mampostería de adobe en los muros laterales. En la fachada, hay un muro de adobe apoyado en un cimiento de roca y tierra, con una entrada principal en forma de arco, una ventana y un nicho. La sacristía tiene una cubierta que se apoya en vigas sobre las paredes frontal y lateral de la nave. Las torres tienen cúpulas de mampostería de ladrillo apoyadas en losas de hormigón, sostenidas por columnas huecas. La base de las torres se apoya en capas de ladrillo, hormigón y adobe, transmitiendo las cargas al terreno.

En cuanto a las conexiones, se utilizan diferentes tipos de mampostería, incluyendo ladrillo antiguo, contemporáneo, roca tipo inca, adobe y piedra desordenada. Estos materiales se disponen de manera específica para garantizar la estabilidad de la estructura. Se identifican interfaces entre los diferentes materiales y estructuras, donde las cargas se transmiten de un elemento a otro.

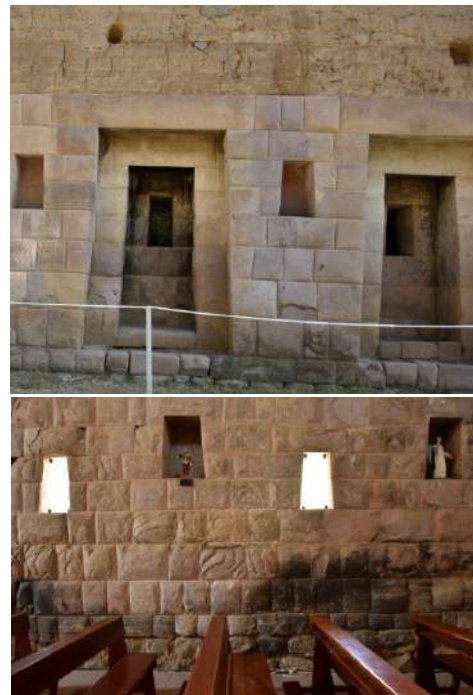


Figura 2: Huellas de los incendios en el muro interior Sur de la nave (izquierda) y huellas del incendio de las jambas en el muro

exterior Sur (derecha).

El templo de San Juan Bautista en Huaytará (Perú) ha experimentado diversas acciones a lo largo de su existencia, incluyendo construcción, uso y mantenimiento. Estas acciones, definidas como agentes o fenómenos que generan esfuerzos y tensiones en la estructura, han causado deterioro en el edificio histórico (Seiner Lizárraga, 2009; Oficina de Estadística y Telemática del INDECI, 2006). Se han considerado cargas muertas y vivas, así como la carga de la cobertura. Se ha calculado el peso total de la estructura, excluyendo la cobertura, como 3.397.05 toneladas.

Asimismo, se han identificado siete tipos de materiales con sus respectivas densidades. Además, se ha analizado la influencia del viento, determinando una velocidad de diseño de 61.37 Km/h para la altura de la nave. Se han calculado las presiones del viento en diferentes partes del edificio. Se mencionan alteraciones y restauraciones realizadas a lo largo del tiempo, desde la época Inca hasta la actualidad, con énfasis en modificaciones no técnicas. Se describen daños por erosión, incendios y cambios de temperatura, así como acciones de agua que han afectado los materiales.

Se abordan detalladamente los daños y alteraciones observados en los muros de roca tipo Inca, mampostería de adobe y mampostería de ladrillo. Se destacan grietas, pérdida de sección, erosión y presencia de musgos. También se mencionan acciones dinámicas, como sismos, y se resalta la importancia de considerarlos en la construcción Inca.

2.3. Ensayos de Laboratorio

El estudio de laboratorio se enfocó en materiales de un edificio histórico importante, con limitaciones en la obtención de muestras *in situ* debido a su valor patrimonial. La financiación

también es limitada para estudios no destructivos. Se obtuvo autorización del Consejo Departamental de Cultura de Huancavelica para investigar sin excavar en el sitio. Para caracterizar los materiales, se recolectaron muestras de demoliciones y otras intervenciones cercanas al sitio. Se realizaron ensayos en colaboración con laboratorios de estructuras antisísmicas de la PUCP y el laboratorio de Tecnología de Estructuras Luis Agulló de la UPC.



Figura 3: Extracción de probetas de roca de 5 cm de diámetro, mediante diamantina.

Se llevaron a cabo ensayos en ladrillos antiguos y contemporáneos siguiendo normas españolas y peruanas. Se utilizaron máquinas universales de compresión a diferentes velocidades. Los ladrillos mostraron un modo de falla cuasifrágil, con grietas verticales y colapso total. En cuanto a los adobes, se realizaron ensayos uniaxiales siguiendo la normativa peruana. Se obtuvieron muestras de unidades almacenadas para reparación y mantenimiento. El modo de falla común fue grietas verticales y colapso total, característico de materiales cuasifrágiles. Para las rocas, se siguieron normas estadounidenses y españolas. Se obtuvieron muestras de la cantera y alrededores del sitio histórico. Los ensayos de compresión uniaxial mostraron falla frágil con grietas verticales y colapso total.

Más aún, se realizaron ensayos de módulo de elasticidad en probetas de roca tipo Inca. Los resultados mostraron

un módulo de elasticidad de 25,653.41 MPa. Finalmente, se realizaron ensayos de doble penetración en morteros de ladrillo contemporáneo y antiguo. Los resultados arrojaron resistencias de 8.27 MPa y 4.76 MPa, respectivamente.

2.4. Análisis Estructural

El proceso habitual para analizar una estructura implica crear un modelo conceptual numérico, dividiéndolo en regiones (elementos) conectados en nodos, formando a su vez una malla. Para proyectos de estabilización sismorresistente en sitios históricos, es esencial comprender la física, elegir elementos apropiados y evaluar resultados con precisión. En la planificación del análisis, se deben establecer objetivos, criterios de evaluación, resultados deseados, alcance del modelado, condiciones y cargas. Decisiones clave incluyen el tipo de análisis, propiedades de materiales, detalles geométricos, tipos de elementos y aplicaciones de soportes y cargas.

En edificaciones históricas, la falta de información precisa y alta incertidumbre requiere simplificaciones geométricas que no comprometan las propiedades estructurales. Se utilizan diferentes tipos de elementos finitos (lineales, bidimensionales y tridimensionales) según la complejidad de la geometría. La elección del tipo de elemento y su orden (lineal o cuadrático) afecta la precisión de los resultados, especialmente en análisis no lineales.

El mallado (forma y tamaño de los elementos) es crucial para la precisión, evitando errores al elegir tamaños de malla adecuados, y realizando ejercicios de convergencia. Se deben considerar áreas de alta variabilidad de esfuerzos. Los ángulos pequeños pueden causar problemas en análisis no lineales. La selección de propiedades de materiales y condiciones de contorno debe basarse

en las cargas y restricciones reales. Se recomienda verificar y calibrar el modelo utilizando métodos específicos.

Para la selección de propiedades de materiales, se ha recurrido a datos experimentales y recomendaciones del *Getty Conservation Institute*, así como a la literatura y normas vigentes en estudios estructurales de iglesias en el Perú.

Concretamente, en el estudio del templo histórico de Huaytará, se ha construido un modelo 3D en *Autocad*, siguiendo recomendaciones previas. Se ha prestado especial atención a la validación y verificación de la geometría para evitar errores en la malla de elementos finitos. La cobertura no se incluye en el modelo final debido a su baja rigidez y la conexión débil con los muros.

El modelo consta de 38 sólidos, representando los siete tipos de materiales presentes en el edificio histórico. Se han empleado 746.472 elementos tetraédricos piramidales lineales para la malla, variando en tamaño según la parte de la estructura. Las cargas de la cobertura se han aplicado de manera uniforme sobre los muros laterales longitudinales.

Se ha asignado un soporte fijo en la base del modelo para restringir movimientos traslacionales en los tres ejes. El análisis de modos de vibración proporciona información sobre las conexiones entre nodos, y ayuda en la calibración de materiales. Se observa que las torres y las fachadas principales experimentan mayores desplazamientos.

Se realizará un análisis no lineal por peso propio para identificar zonas críticas y evaluar la estabilidad de la estructura. Se anticipa que las mayores tensiones se concentran en la base de las torres y la zona posterior (ábside).

Se detectan fisuras en áreas de alta concentración de esfuerzos, especialmente en la base de las torres y el corredor interno. Se estudia la curva de capacidad para determinar el punto de colapso de los corredores interiores.

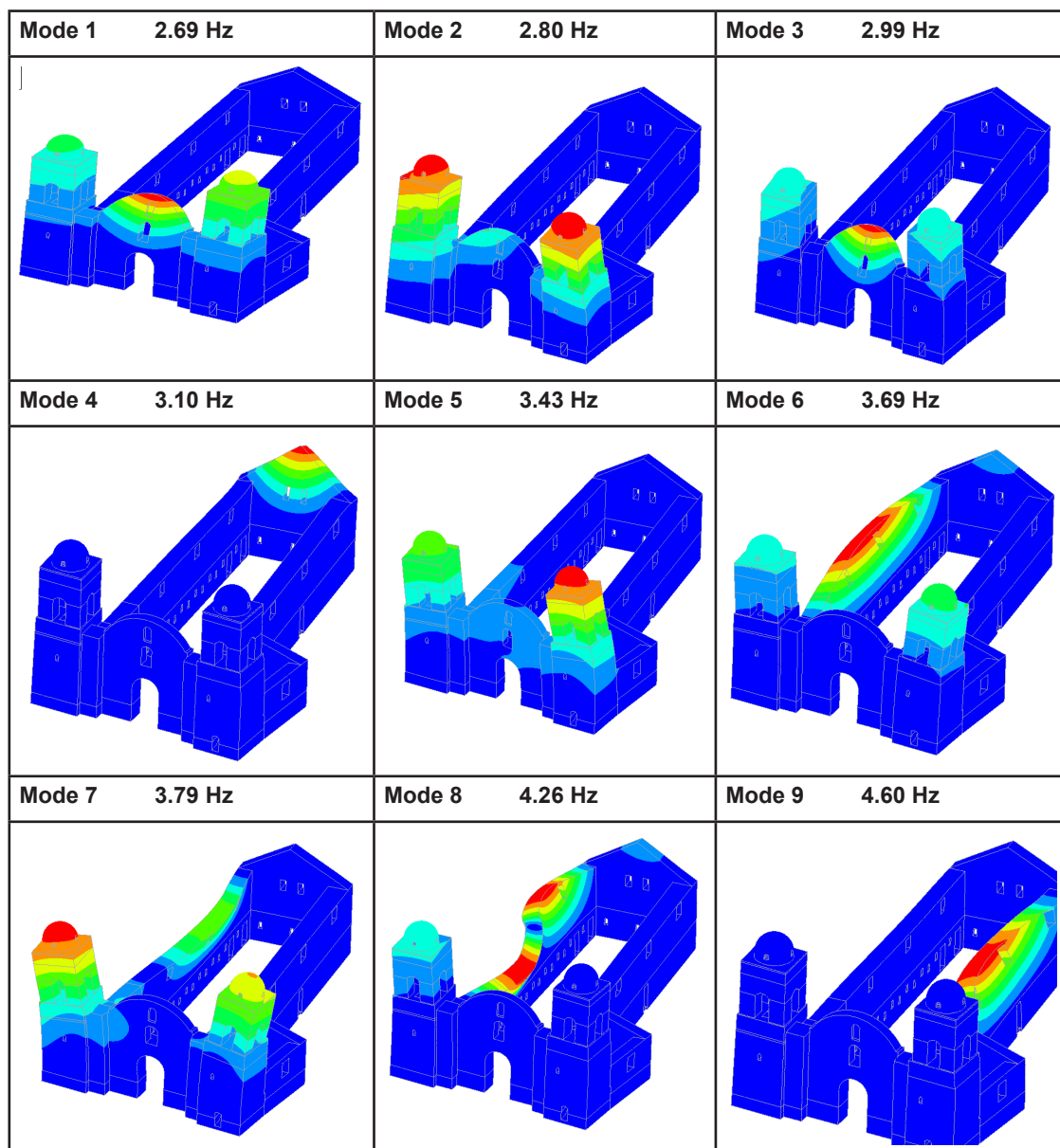


Figura 4: Modos de Vibración del modelo numérico del templo de san Juan Bautista de Huaytará.

Se realizaron análisis modales para comprender los comportamientos dinámicos, identificando áreas críticas como las torres y las fachadas principales, que mostraron desplazamientos significativos. Se evaluó el comportamiento bajo cargas gravitatorias, revelando zonas de posible daño, especialmente en las cúpulas de las torres.

El análisis *Pushover*, crucial para la evaluación sísmica, dividió este templo en tres sectores: Nave, Torre Norte y Torre Sur. Se llevaron a cabo análisis específicos para cada dirección de carga en estos sectores (Lourenço & Pereira, 2020). Este método es uno de los mejores para la evaluación sísmica en edificaciones históricas. Comparado con los tipos de análisis más avanzados, como el dinámico no lineal, el análisis Pushover ha demostrado ser un enfoque adecuado y práctico para la evaluación sísmica (Endo et

al., 2015; Lourenço *et al.*, 2011; Lourenço & Pereira, 2020). De todos los patrones de distribución de carga disponibles, el proporcional a la masa parecería ser el método *Pushover*, más confiable para las estructuras de mampostería (Endo *et al.*, 2017; Saloustros *et al.*, 2015; Lourenço & Pereira, 2020).

En la Nave se observó que el mecanismo de falla común era el volteo fuera del plano, con grietas notables en las conexiones de los muros. Asimismo, en las Torres Norte y Sur se detectaron mecanismos similares de volteo fuera del plano, con grietas horizontales en las uniones de los materiales de mampostería.

2.5. Análisis de daños

Se comparó el daño registrado en el modelo numérico con el mapa de daños de la inspección del edificio histórico. En la nave, se confirma un mecanismo de falla por volteo en el ábside, con grietas más pronunciadas en el muro sur debido a su mayor grosor. La fachada principal también muestra correspondencia entre el modelo y la inspección, con grietas en la unión de los muros laterales, dinteles y en el interior. Las grietas horizontales generadas por el volteo son más difíciles de detectar en campo. Las imágenes y comparaciones detallan estos hallazgos, validando la precisión del modelo.

3. CONCLUSIONES

El estudio multidisciplinario del templo de San Juan Bautista de Huaytará ha arrojado conclusiones significativas. La investigación histórica reveló cinco períodos de obras, destacando intervenciones en la época inca y colonial, así como reconstrucciones posteriores. La inspección *in situ* identificó patologías y asentamientos diferenciales en el muro sur, mientras que los ensayos de laboratorio caracterizaron propiedades mecánicas de materiales clave. A su vez, el levantamiento geométrico mediante

fotogrametría proporcionó un modelo 3D preciso.

En el análisis numérico, se evaluaron los efectos del sismo y se identificaron elementos vulnerables. Se obtuvo un valor de seguridad de 1.8g, indicando una capacidad adecuada ante cargas sísmicas. Los análisis *Pushover* revelaron que los corredores interiores de las torres son los puntos más débiles, propensos a grietas por la unión de mamposterías. También se identificaron zonas vulnerables en la unión de muros laterales y ábside.

Es importante destacar la robustez del muro inca en resistir cargas verticales y sísmicas, a pesar de múltiples aberturas. Sin embargo, se observó mayor daño en los muros de adobe. En conjunto, estos hallazgos proporcionan una base sólida para futuras intervenciones, asegurando la preservación y estabilidad del templo histórico de San Juan Bautista de Huaytará.

REFERENCIAS

- Buill Pozuelo, F.; Núñez Andrés, M. A. & Rodríguez, J. J. (2003). *Fotogrametría Analítica* <Edicions UPC (ed.)>. Upcommons. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2099.3/36694>
- Endo, Y.; Pelà, L. & Roca, P. (2017). "Review of Different Pushover Analysis Methods Applied to Masonry Buildings and Comparison with Nonlinear Dynamic Analysis". *Journal of Earthquake Engineering*, 21(8), 1234–1255. <https://doi.org/10.1080/13632469.2016.1210055>
- Endo, Y.; Pelà, L.; Roca, P.; Da Porto, F. & Modena, C. (2015). "Comparison of seismic analysis methods applied to a historical church struck by 2009 L'Aquila earthquake". *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13(12), 3749–3778. <https://doi.org/10.1007/s10518-015-9796-0>

- Lourenço, P. B.; Mendes, N.; Ramos, L. F., & Oliveira, D. V. (2011). "Analysis of masonry structures without box behavior". *International Journal of Architectural Heritage*, 5(4–5), 369–382. <https://doi.org/10.1080/15583058.2010.528824>
- Lourenço, P. B., & Pereira, J. M. (2020). Proyecto de Estabilización Sismorresistente: Recomendaciones para el modelado avanzado. Getty Conservation Institute.
- Oficina de Estadística y Telemática del IN-DECI. (2006). Sismos ocurridos en el Perú a través del tiempo (4ª ed.). Instituto Nacional de Defensa Civil.
- Saloustros, S.; Pelà, L.; Roca, P. & Portal, J. (2015). "Numerical analysis of structural damage in the church of the Poblet Monastery". *Engineering Failure Analysis*, 48, 41–61. <https://doi.org/10.1016/j.eng-failanal.2014.10.015>
- Schaefer, M. & Inkpen, R. (2010). "Towards a protocol for laser scanning of rock surfaces". *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(4), 147–423. <https://doi.org/10.1002/esp.1938>
- Seiner Lizárraga, L. (2009). Historia de los sismos en el Perú. *Catálogo: Siglos XV-XVII* (F. Iditorial (ed.)).

Diagnóstico de Movilidad Sostenible en Ciudades Intermedias: Caso de Estudio

Diagnosis Of Sustainable Mobility In Intermediary Cities: Tunja (Colombia) Case Study

Briceño Ch., Andrés David

Universidad Santo Tomás
andres.briceno@usantoto.edu.co
Estudiante Ingeniería Civil

Mariño M., Laura Vanesa

Universidad Santo Tomás
Laura.marino@usantoto.edu.co
Esp. En Estructuras

Pardo L. Jorge Nicolás Felipe

Universidad Santo Tomás
jorge.pardo@usantoto.edu.co
Estudiante Ingeniería Civil

Toledo C., Miguel Ángel

Universidad Santo Tomás
miguel.toledo@usantoto.edu.co
Mg. Transporte, Tránsito e infraestructura Vial

Resumen

La presente investigación asume como objetivo dar un diagnóstico sobre el estado de la movilidad sostenible entre 2015-2023, y brindar posibles soluciones para incentivar el uso de la movilidad sostenible como medio de transporte. Efectivamente, mediante este documento se busca dar a conocer a la ciudadanía la importancia de implementar la movilidad sostenible como medio cotidiano de transporte. Se busca aportar posibles soluciones para incentivar medios de transporte que sean amigables y nos ayuden a reducir la contaminación ambiental como son el transporte colectivo urbano, la bicicleta, el modo peatonal y la micro movilidad. Asimismo, se realizará una revisión a fondo de documentos sobre el tema de movilidad sostenible entre 2015-2023, planes que se han desarrollado en la ciudad de Tunja, entrevistas a personas que conocen el tema y encuestas a una muestra significativa de la población para analizar la percepción que esta tiene de la movilidad sostenible. Finalmente, con esta información se busca aportar un análisis detallado de los resultados de encuestas y configurar un diagnóstico sobre la movilidad sostenible en la ciudad de Tunja para 2023.

Palabras Claves: Ciudades Intermedias, Movilidad sostenible, Modos de transporte, Medio ambiente.

Abstract

The present research aims to provide a diagnosis of the state of sustainable mobility between the years 2015-2023 and offer possible solutions to encourage the use of sustainable mobility as a means of transportation. This document seeks to raise awareness among the public about the importance of implementing sustainable mobility as an everyday mode of transportation.

The objective is to propose potential solutions to promote environmentally friendly transportation options that help reduce environmental pollution, such as public urban transport, cycling, pedestrian modes, and micro-mobility. Furthermore, a thorough review of documents related to sustainable mobility from 2015 to 2023 will be conducted, along with an examination of plans that have been developed in the city of Tunja.

Interviews with individuals knowledgeable about the subject and surveys of a sample of the population will also be carried out to analyze the public's perception of sustainable mobility. Finally, with this information, the aim is to provide a detailed analysis of survey results and offer a diagnosis of sustainable mobility in the city of Tunja for the year 2023.

Keywords: Intermediate Cities, Mobility, Sustainable mobility, Modes of transport, Environment.

Para citar este artículo: Briceño Ch, Andrés David; Mariño M, Laura Vanesa; Pardo L, Jorge Nicolas Felipe; Toledo C., Miguel Ángel "Diagnóstico de movilidad sostenible en ciudades intermedias: Caso de estudio Tunja". In L'Esprit Ingenieux. Vol. 13-1, pp. X-X.

1. INTRODUCCIÓN

En 2023, en ciudades intermedias (con entre 50.000 y 1'000.000 habitantes) se ha empezado a implementar la movilidad sostenible urbana, utilizando y empleando esta como medio de transporte para la mayor facilidad de los usuarios; si hablamos de sostenibilidad es importante resaltar el cuidado del medio ambiente y cómo este medio influye en la reducción de gases invernadero y la disminución de costos para las personas.

Este diagnóstico se dirige a la ciudad de Tunja, capital del Departamento de Boyacá (Colombia), donde se presentan desafíos y retos al implementar el uso de la movilidad sostenible como transporte. Mediante este estudio se busca identificar los problemas que existen e impiden la implementación de esta movilidad como transporte cotidiano para poder dar posibles soluciones que ayuden a ella.

Se evidencia la factibilidad de estos medios de transporte en la ciudad de Tunja, porque es una ciudad donde hay una alta demanda de vehículos convencionales, alto tránsito de estos y donde las vías no son tan largas comparadas con ciudades grandes con autopistas grandes y difíciles para un usuario que transporta con movilidad sostenible. De ahí su importancia.

Asimismo, es relevante entender que muchas ciudades intermedias en el mundo han optado por ver como una solución a la movilidad sostenible, ya que nos ayuda a reducir el consumismo desenfrenado de automóviles, motocicletas y todos los vehículos tradicionales que generan una alta contaminación ambiental y auditiva. En consecuencia, se ha demostrado que la compra masiva de vehículos tradicionales genera una alta circulación en los corredores principales, mayores tiempos de desplazamiento y alta contaminación auditiva.

2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO DE REFERENCIA

2.1. Estado del arte

2.1.1. Topografía de la ciudad de Tunja

Cabe destacar que, para llevar a cabo esta investigación, no sólo es suficiente conocer dicha información, sino que es necesario comprender parte de la geografía y topografía que conforman la ciudad. Esto permitirá identificar los corredores principales de transporte de la ciudad y su configuración topográfica:

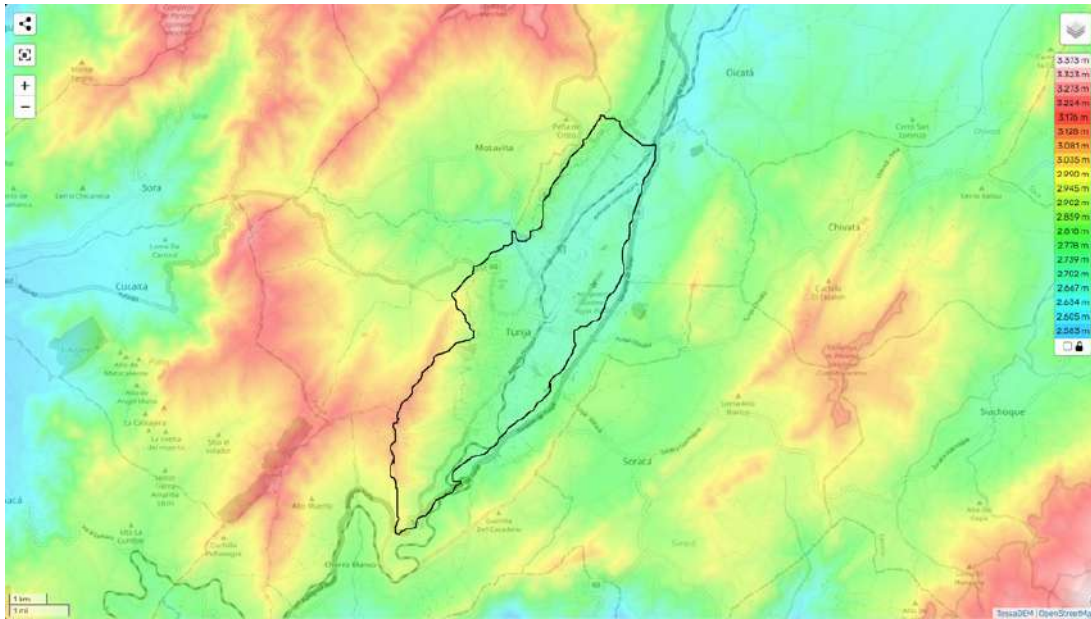


Figura 1. Mapa topográfico de la ciudad de Tunja.

Tomando en cuenta el gráfico anterior, en la zona de estudio se evidencia una altitud constante desde la carrera 11ª con calle 2ª (Los Hongos), que se encuentra a 2787 metros sobre el nivel del mar, hasta la Carrera 9ª-10ª y calles 19ª-20ª (Plaza de Bolívar), que se encuentra a 2781 metros sobre el nivel del mar. Como lo muestra la figura 2:



Figura 2. Puntos de Estudio.

Se aprecia una notable diferencia de alturas en tres lugares específicos: la *UPTC* (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia) está a 2688 metros sobre el nivel del mar, el campus de la Universidad Santo Tomás a 2682 metros sobre el nivel del mar, y el centro comercial *Viva Tunja* a 2680 metros sobre el nivel del mar.



Figura 3. Puntos de Estudio al Norte de la ciudad.

2.1.2. Impactos y preámbulo a los sistemas de movilidad sostenible

En el contexto de sostenibilidad urbana, se reconoce la relevancia del medio ambiente urbano y su papel en el desarrollo con un impacto significativo en las ciudades intermedias. Según González (2015), las corrientes globales se enfocan en resolver los desafíos de movilidad a través de tres pilares fundamentales: “La equidad social, el equilibrio ambiental y el valor económico” (p. 91). El autor sostiene que, incorporando estos tres principios primordiales, se pueden crear sistemas de transporte que permitan movilizar a un mayor número de pasajeros, empleando medios sostenibles en el tiempo, como el metro, los autobuses y los sistemas de cables, entre otros.

No obstante, es fundamental comprender los diferentes tipos de transporte de movilidad y su clasificación para abordar el tema del transporte. González (2015) presenta una tabla descriptiva que permite observar estas características detalladamente:

Modo	Medio	Unidades Transportadoras
TERRESTRE	Carretero	Automóvil, Bus, Bus Metropolitano, Bicicleta, Camión, Peatonal, Motocicleta, Carro eléctrico, patineta scooter
	Ferrovionario	Tren, Metro, Tranvía, Tren de Alta Velocidad.
	Cables	Teleférico, Funicular, Ferrocarril Funicular, Telecabinas.
AÉREO	Aéreo Aerodinámico	Aviones, Helicópteros.
	Aéreo Aerostático	Globo Aerostático, Dirigible.
ACUÁTICO	Fluvial	Transbordador o Ferry.

Tabla 1. Medios y modos de Transporte.

En el transcurso de la investigación se abordó en la información primaria el “Sistemas de transportes sostenibles” y su influencia en el desarrollo y evolución positiva de una ciudad, así con los impactos resultantes de su implementación. No obstante, la pregunta clave que se plantea es: ¿Qué es un sistema de transporte sostenible y

cómo se aplica dicho sistema? El sistema de transporte sostenible es el que desarrolló el gobierno local para reducir el impacto negativo de la contaminación ambiental, incluyendo los 'gases de efecto invernadero', mientras se busca aumentar el impacto económico y fomentar el desarrollo urbano a largo plazo. Además, se busca explorar alternativas de flujo vehicular para tener una ciudad con opciones de tránsito y transporte. Según el autor González (2015), estos sistemas de transporte sostenibles se asocian con cuatro elementos o factores de vital importancia e innegociables para lograr un desarrollo positivo, impactante y una evolución en el desarrollo de ciudades intermedias modernas:

1. Reducción del transporte tradicional, es decir una correcta implementación de planeación urbana, en el caso de Tunja un buen *Plan de Ordenamiento Territorial (POT)*.
2. El transporte alternativo al tradicional busca un modelo donde se eviten grandes cantidades de emisiones de gases que contaminen al medio ambiente, como lo es la bicicleta, el uso adecuado y constante de bus colectivo urbano (*TUC*), la patineta eléctrica, entre otros medios limpios.
3. Implementación de sistemas limpios, como el carro eléctrico, transporte de bajas emisiones de *CO2* y de gases de 'efecto invernadero', así mismo una alternativa a la infraestructura moderna para sistemas limpios.
4. Control y organización de flujos vehiculares, mediante diseños que reduzcan los impactos ambientales negativos.

2.1.3. Leyes y normatividad colombiana

Además, el gobierno ha implementado normas y regulaciones basadas en la población de cada ciudad. Según el artículo de González (2015), se establece que cada ciudad intermedia debe desarrollar planes de ordenamiento territorial (*POT*) y de movilidad, y realizar un seguimiento para reducir las emisiones de gases contaminantes al medio ambiente. Estas medidas se encuentran respaldadas por la Ley 1083 de 2006 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Más aún, en el Artículo 1° de esta ley, se hace hincapié en el uso de transportes alternativos que no generen contaminación, y se promueve el empleo de medios de transporte sostenibles. Asimismo, se insta a crear y regularizar planes de movilidad que garanticen la existencia de rutas de transporte no motorizado, como ciclorrutas y andenes adecuados, así como infraestructura general que favorezca el bienestar del medio ambiente y de los ciudadanos en general (*Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2006*).

2.1.4. Planes de movilidad sostenible

Dentro de la movilidad general de una ciudad, se enfrentan varios desafíos que van más allá del impacto de las emisiones de gases de 'efecto invernadero', la contaminación ambiental, el ruido generado por el flujo vehicular y la inseguridad vial. Entre estos desafíos, se encuentran los efectos negativos en la salud pública, como problemas respiratorios, así como los costos constantes asociados a la reparación y mantenimiento de la infraestructura vial.

Además, otro desafío es la existencia de enormes trancones causados por el exceso de vehículos, aunque muchos no llevan a su capacidad máxima de ocupantes,

ya que en su mayoría se conforman sólo por 5 ocupantes. Según Vega (2017), una solución viable ante esta problemática es fomentar el uso del transporte urbano colectivo o bus público, como se ilustra en la siguiente figura:



Figura 3. Comparación del uso de transporte vehicular vs transporte colectivo urbano.

2.1.5. Sistemas de transporte Colectivo Público Urbano y el uso de buses de bajas emisiones.

Según Grütter (2014), el uso de autobuses híbridos representa una solución altamente efectiva en términos de eficiencia energética y reducción de emisiones de gases de 'efecto invernadero' y contaminantes del medio ambiente. Estos autobuses, que combinan sistemas de propulsión eléctricos y convencionales, permiten lograr un ahorro significativo de combustible, que oscila entre 25% y 35%, en comparación con los autobuses tradicionales de combustión interna.

Además de su impacto positivo en la reducción de emisiones, los autobuses híbridos son una excelente alternativa para abordar la problemática ambiental durante 5 años. Estos vehículos son considerados una opción más limpia y sostenible en el transporte público, ya que ayudan a mejorar la calidad del aire y a mitigar los efectos negativos del cambio climático.

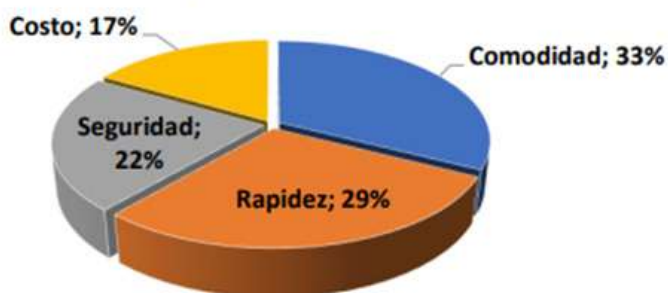


Figura 4. Buses híbridos en Bogotá, alternativa para transporte sostenible.

SISTEMA URBANO EN LA CIUDAD DE TUNJA

El sistema de transporte colectivo público urbano de la ciudad de Tunja presenta un servicio variado, el cual se ajusta a los factores que componen este sistema. Según lo expuesto por Gutiérrez (2019) en su proyecto investigativo, se llevó a cabo un estudio basado en cada uno de los elementos que conforman el servicio, el cual fue representado en el siguiente diagrama:

DISTRIBUCIÓN DE LA INCIDENCIA DE LOS ATRIBUTOS SOBRE LA CALIDAD DEL SISTEMA DE TPCU



Grafica 1. Elementos que componen la calidad del sistema de transporte público colectivo urbano de la ciudad de Tunja.

Este diagrama proporciona una representación gráfica que permite visualizar de manera clara cómo interactúan los distintos factores tales como costo, comodidad, rapidez y seguridad. para brindar un servicio diversificado y completo a los usuarios.

Para calificar un servicio de transporte urbano, se deben considerar varios factores que motiven e incentiven a los usuarios de Tunja a utilizarlo de manera constante, en cumplimiento del plan de movilidad establecido por las normas de sostenibilidad. En este contexto, los autores del estudio de calificación de este servicio de transporte presentaron los resultados obtenidos a partir de encuestas realizadas (Gutiérrez, 2019):

Gutiérrez (2019), observa que la calificación otorgada por los usuarios al servicio de transporte es de 5.64 en una escala de 1 a 10. Esta calificación sugiere que existen oportunidades de mejora para lograr un servicio de mayor calidad, lo que a su vez contribuye a fomentar el uso constante del transporte público por parte de los usuarios.

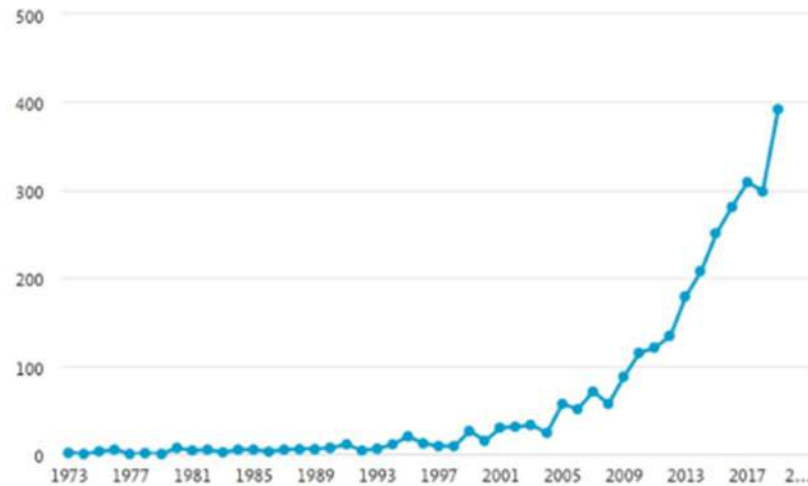
En este orden de ideas, si se implementa una mejora significativa en el servicio y se busca un sistema de transporte público de calidad para los ciudadanos, puede ser que el transporte público se incremente, reduciendo la dependencia de vehículos particulares, y disminuyendo la huella de contaminación en la atmósfera y las emisiones de gases de 'efecto invernadero'.

2.1.6. Modelos y sistemas de bicicletas y ciclorrutas en ciudades intermedias

El uso de la bicicleta como transporte ha cobrado gran relevancia en los últimos años a nivel mundial, por los numerosos beneficios que aporta a la salud del usuario. El empleo de la bicicleta como forma de transporte contribuye a prevenir enfermedades cardiovasculares, representa una excelente estrategia para contrarrestar el sedentarismo, y fomenta hábitos saludables de recreación, deporte y desplazamiento, al tiempo que tiene un efecto positivo en la economía personal del usuario. Según Peñalosa (2015), es un método indiscutible para enfrentar problemas tales como la contaminación ambiental, el ruido y la congestión vehicular.

El ámbito de la investigación en relación con la bicicleta ha experimentado un notable crecimiento, incluyendo estudios científicos y artículos especializados. Efectivamente, se han desarrollado modelos alternativos para el transporte urbano basados en la bicicleta, así como diseños de infraestructura específica para bicicletas,

como las bicirrutas o ciclorrutas. Estos estudios también han abordado el impacto que el uso de la bicicleta mantiene en la disminución de la contaminación ambiental causada por el transporte convencional. El interés por parte de la comunidad científica en esta temática es elevado, en gran medida, debido a las normativas y estándares establecidos por los gobiernos actuales y de países desarrollados (Mendivelso, 2020).



Grafica 2. Documentos de artículos publicados por año sobre el ciclismo urbano según Scopus.

En su investigación sobre el uso y análisis de la bicicleta en una ciudad intermedia de Boyacá -concretamente en Sogamoso-, Mendivelso (2020) realizó encuestas que revelaron que la mayoría de los usuarios emplean este medio de transporte para trayectos menores a 10 km. Este hallazgo es un factor relevante que motiva el uso de la bicicleta para todos los usuarios, lo que fomenta la promoción de este transporte sostenible por parte de los entes regulatorios de la ciudad.

Asimismo, las investigaciones que adelantó el autor, tanto científicas como de otros artículos relacionados, asumen el potencial de incentivar a la comunidad a respaldar y apoyar estos métodos de transporte sostenible, ya que contribuyen al aumento del bienestar general. De hecho, estas investigaciones son sólidas con miras a que las autoridades ejecuten programas y planes, para mejorar y promover el uso de la bicicleta y otros medios de transporte sostenible en Sogamoso y más allá.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

b.1 Metodología de la investigación

Este proyecto de investigación se desarrolla con una metodología mixta, que nos permite combinar procesos descriptivos y exploratorios; también se realizará un análisis cuantitativo y cualitativo a partir de fuentes primarias como encuestas y entrevistas, y secundarias como documentos relacionados y planes realizados sobre la investigación.

b.1.1 Población y muestras

La población definida para este estudio fueron los ciudadanos de la ciudad de Tunja, muestra de población basada en personas y usuarios que tienen usos de movilidad considerable. En efecto, los datos se tomaron de grupos de *WhatsApp* de gremios y de líderes de diferentes tipos de movilidad, calculando una muestra finita, ya que se

conoce el número de población definida para el estudio en orden al cual se generalizó el total de usuarios.

Para la definición de las submuestras se utilizó un nivel de confianza del 95%, con un margen de error del 4.38%. Por su parte, para los usuarios la submuestra se calculó en 288.990 personas, con 500. Se realizaron con la ecuación para población finita, respectivamente:

Debido a la amplitud de la población se calculó la muestra finita, así: El cálculo de la muestra para la aplicación de encuestas se tomó partiendo de que la población en la que se va a desarrollar las encuestas es una población infinita, por lo que se decidió realizar los cálculos para una población infinita de la siguiente manera:

N= Tamaño de muestra buscado.

Z= Parámetro estadístico que depende del Nivel de Confianza (NC)

E= Error de estimación máximo aceptado.

P= Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito).

Q= (1-p) Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado.

En la siguiente tabla se presenta el 'nivel de confianza' que se tomó a partir de los valores de parámetros estadísticos que dependen del nivel de confianza.

Nivel de confianza	Z _{alfa}
99.7%	3
99%	2,58
98%	2,33
96%	2,05
95%	1,96
90%	1,645
80%	1,28
50%	0,674

Tabla 2: Nivel de confianza.

De acuerdo con lo anterior, se puede asegurar que el tamaño de muestra buscado para este tipo de población fue de 96 encuestas, como lo presenta la anterior tabla.

Cálculos de muestra:

Parámetro	Insertar Valor
Z	1,960
P	50,00%
Q	50,00%
e	4,38%
n	500,00

3. Recolección de Datos

Para el desarrollo metodológico de la investigación se realizaron las siguientes actividades:

Revisión de *Fuentes Bibliográficas* sobre la temática de Movilidad urbana sostenible y temas relacionados, contenidas en fuentes secundarias, Encuestas, cuestionarios, entrevistas a funcionarios de entidades como el Concejo Municipal, la Alcaldía y la Secretaría de Tránsito y Transportes, Revisión de documentos e informes sobre el nivel de formación continua, índices de urbanidad sostenible, movilidad, usos de herramientas de transporte limpio, así como consulta de estadísticas e informes.

Elaboración del diagnóstico sobre la situación del contexto urbano sostenible de la ciudad de Tunja para establecer la capacidad de desarrollo de un adecuado diagnóstico en la ciudad, de acuerdo con la información obtenida en las anteriores actividades.

3.1 Materiales

3.1.1 Encuestas

El método de investigación del muestreo se utilizó para recopilar datos de una población o conjunto más amplio a través de la selección de una muestra representativa de esa población. Y se usó la entrevista de instrumento de cédula de entrevista y como método de muestreo selectivo de informantes claves.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Dentro del análisis de resultados, para nuestro diagnóstico se estructuró en tres secciones basados en la movilidad urbana sostenible. En primer lugar, se realizó un análisis acerca de la información estructurada encontrada en estudios previos para llevar a cabo una síntesis respectiva de ello.

En segundo lugar, se elaboró un estudio acerca del diagnóstico en términos específicos (infraestructura vial, sistema de transporte público colectivo urbano, sistema de bicicletas y descripción general de movilidad sostenible en la ciudad).

Como tercer y último análisis se realizó una observación e interpretación en las encuestas realizadas a nuestra población de estudio y las entrevistas realizadas como instrumento de investigación.

4.1. Diagnóstico de movilidad sostenible en Tunja como ciudad intermedia

4.1.1. Resultados y análisis de las encuestas aplicadas

La muestra de estudio de las encuestas realizadas estuvo conformada por 516 ciudadanos del municipio de Tunja, personas conformadas entre estudiantes universitarios, trabajadores, comerciantes, personas en general.

Los resultados de la encuesta fueron los siguientes:

1. ¿Cuál es su género?

a. Varón

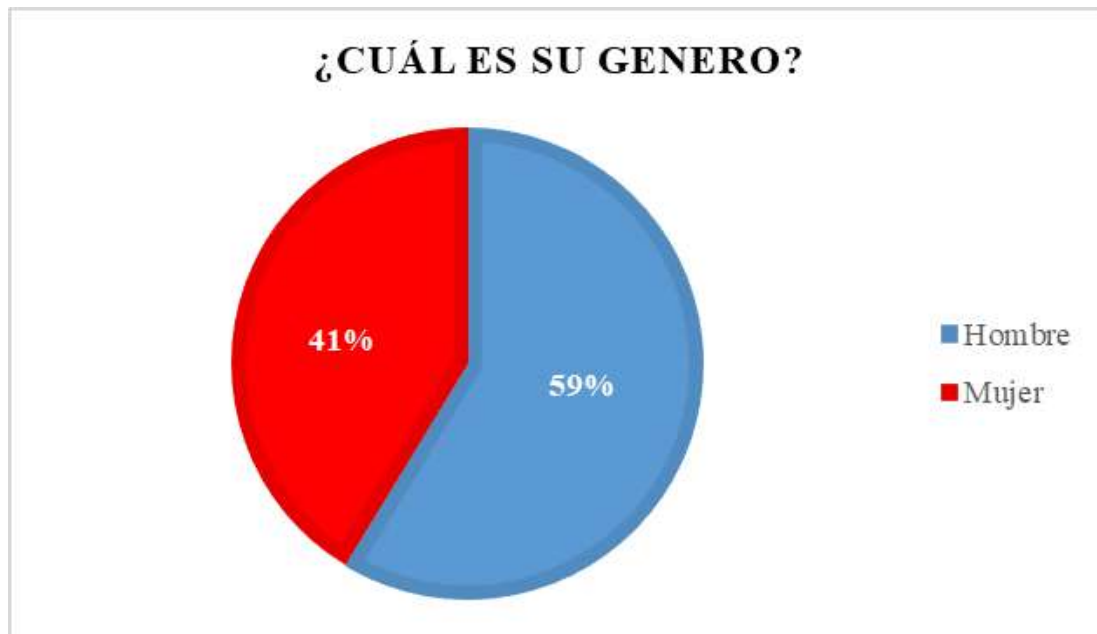
b. Mujer

Resumen de respuesta pregunta 1:

Genero	Cantidad	Porcentaje
Varón	301	59%
Mujer	212	41%
TOTAL	513	100%

Según los resultados obtenidos por los datos obtenidos, estos arrojaron que de 516 encuestados sólo 513 respondieron la pregunta; en el siguiente gráfico se puede observar de manera más ilustrativa la respuesta:

Representación gráfica de tipo de Género:



Gráfica 2. Fuente: Los Autores.

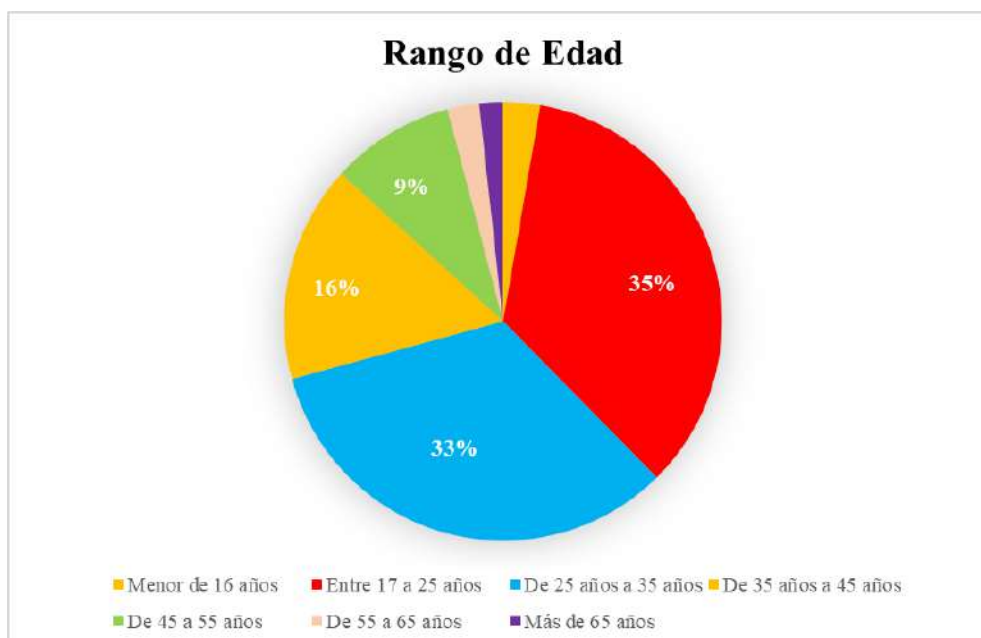
2. ¿Cuál es su rango de edad?

- a. Menor de 16 años
- b. Entre 17 - 25 años
- c. De 25 - 35 años
- d. De 35 - 45 años
- e. De 45 - 55 años
- f. De 55 - 65 años
- g. Más de 65 años

Resumen de respuesta pregunta 2:

Rango	Cantidad	Porcentaje
Menor de 16 años	14	2,7%
Entre 17 - 25 años	179	34,9%
De 25 - 35 años	170	33,1%
De 35 - 45 años	82	16,0%
De 45 - 55 años	47	9,2%
De 55 - 65 años	12	2,3%
Más de 65 años	9	1,8%
TOTAL	513	100%

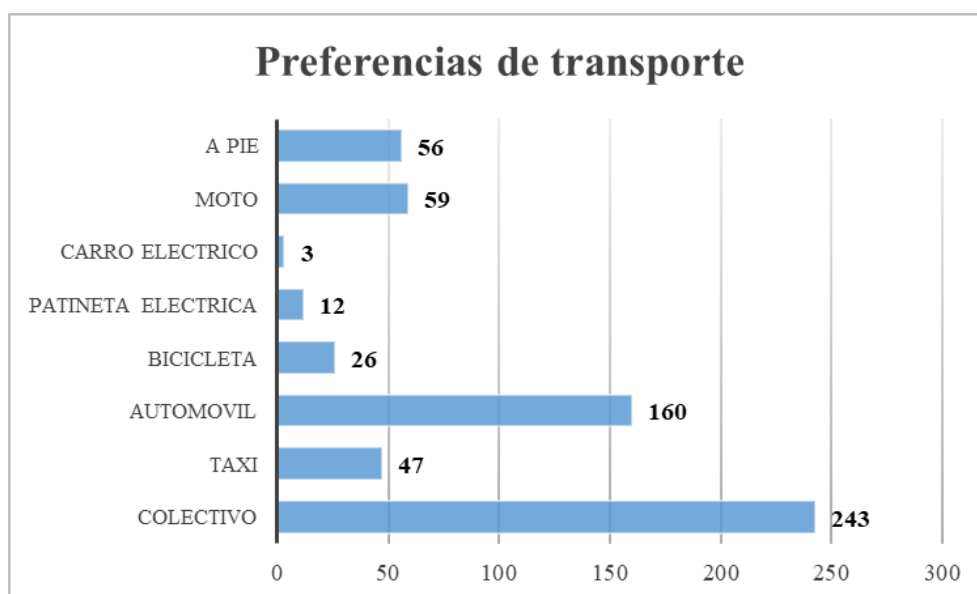
Representación gráfica de tipo de Rango de edad:



Gráfica 3. Fuente: Los Autores.

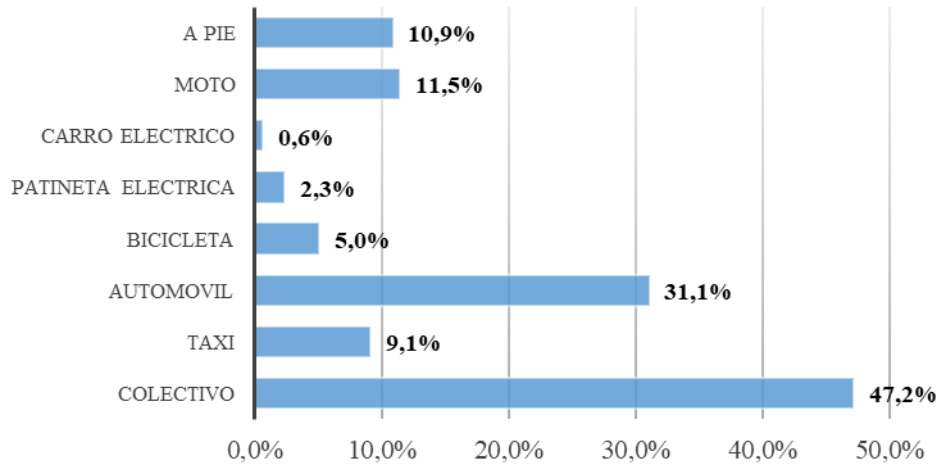
3. ¿Cuál es el modo de transporte que utiliza con más frecuencia?

- a. Colectivo
- b. Taxi
- c. Automóvil
- d. Bicicleta
- e. Patineta Eléctrica
- f. Carro Eléctrico
- g. Moto
- h. A pie



Gráfica 4. Fuente: Los Autores.

Porcentaje de usuarios

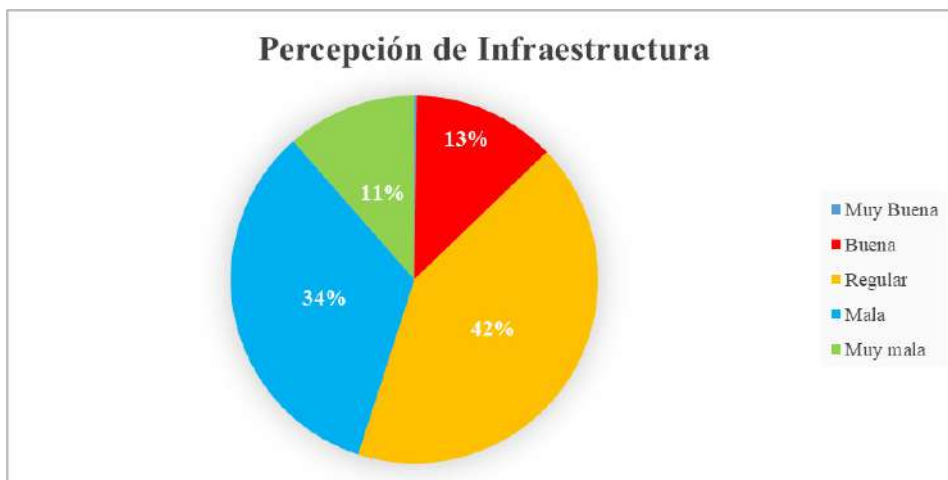


Gráfica 5. Fuente: Los Autores.

4. ¿Cuál es la percepción que tiene usted en cuanto a la infraestructura vial en su modo de transporte?

- a. Muy buena
- b. Buena
- c. Regular
- d. Mala
- e. Muy mala

Percepción de Infraestructura	Usuarios	Porcentaje
Muy Buena	1	0,2%
Buena	65	12,6%
Regular	217	42,1%
Mala	173	33,6%
Muy mala	59	11,5%
TOTAL	515	100,0%

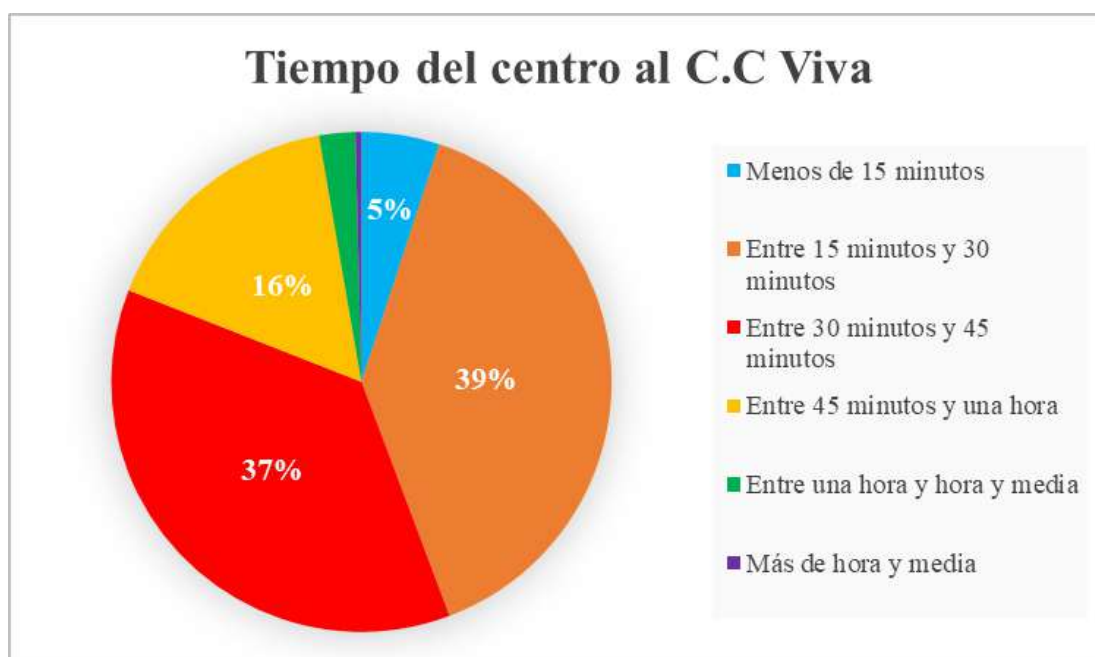


Grafica 6. Fuente: Los Autores

5. ¿Cuánto tiempo cree que se gasta usted del Centro histórico al Centro comercial *Viva Tunja* en 'hora pico' en su modo de transporte que usa a diario?

- Menos de 15 minutos
- Entre 15 minutos y 30 minutos
- Entre 30 minutos y 45 minutos
- Entre 45 minutos y una hora
- Entre una hora y hora y media
- Más de hora y media

Tiempos en Modos de Transporte	Usuarios	Porcentaje
Menos de 15 minutos	26	5,0%
Entre 15 minutos y 30 minutos	202	39,2%
Entre 30 minutos y 45 minutos	189	36,7%
Entre 45 minutos y una hora	84	16,3%
Entre una hora y hora y media	12	2,3%
Más de hora y media	2	0,4%
TOTAL	515	100,0%



Gráfica 7. Fuente: Los Autores.

6. ¿Qué tan seguro se siente usted al utilizar su modo de transporte?

- Muy seguro
- Seguro
- Inseguro
- Muy inseguro

Seguridad	Usuarios	Porcentaje
Muy seguro	76	15%
Seguro	364	71%
Inseguro	69	13%
Muy inseguro	5	1%
TOTAL	514	100%

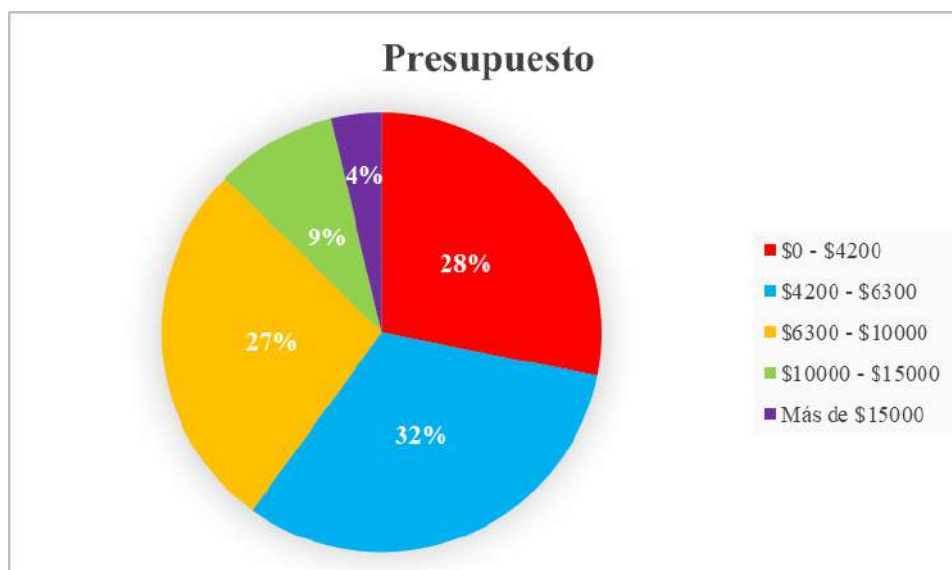


Gráfica 8: Fuente: Los Autores.

7. ¿Cuál es el costo promedio diario que utiliza para transportarse? En pesos colombianos (precio del pasaje, gasolina, etc.)

- a. \$0 - \$4200
- b. \$ 4200 - \$ 6300
- c. \$6300 - \$10000
- d. \$10000 - \$15000
- e. Más de \$15000

Costo promedio	Usuarios	Porcentaje
\$0 - \$4200	145	28,2%
\$4200 - \$6300	164	31,8%
\$6300 - \$10000	141	27,4%
\$10000 - \$15000	46	8,9%
Más de \$15000	19	3,7%
TOTAL	515	100,0%

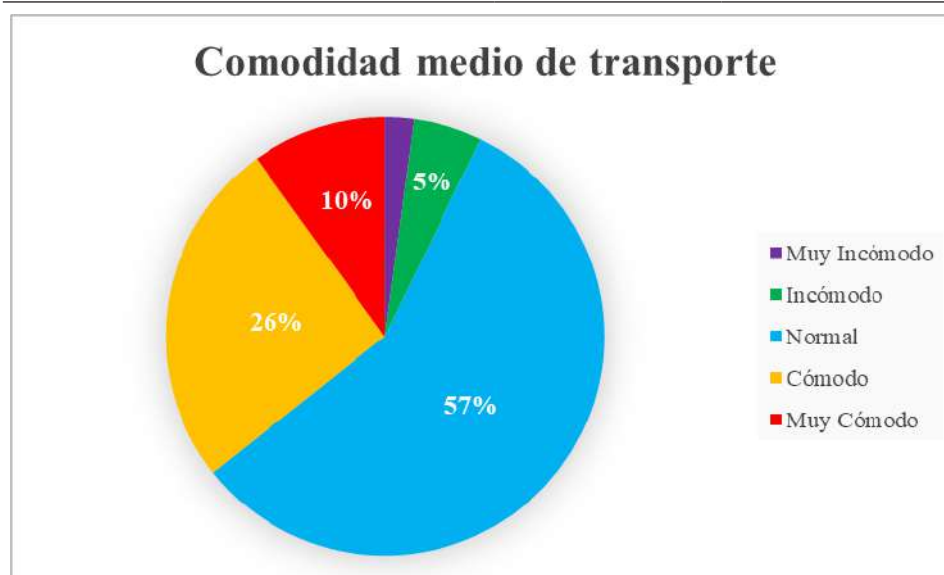


Gráfica 9. Fuente: Los Autores.

8. ¿Qué tan cómodo es su medio de transporte?

- a. Muy incómodo
- b. Incómodo
- c. Normal
- d. Cómodo
- e. Muy cómodo

Comodidad en medio de transporte	Usuarios	Porcentaje
Muy incómodo	11	2,1%
Incómodo	26	5,1%
Normal	293	57,1%
Cómodo	132	25,7%
Muy Cómodo	51	9,9%
Total	513	100,0%



Gráfica 10. Fuente: Los Autores.

9. Al salir de su casa, ¿qué tan cerca es su lugar principal de destino en promedio?

- a. Menos de 1 km a la redonda
- b. De 1 km a 3 km
- c. De 3 km a 5 km
- d. De 5 Km a 10 Km
- e. Más de 10 Km

Distancia Promedio	Usuarios	Porcentaje
Menos de 1 Km a la redonda	43	8,4%
De 1 km a 3 km	187	36,4%
De 3 Km a 5 km	149	29,0%
De 5 Km a 10 Km	99	19,3%
Más de 10 km	36	7,0%
TOTAL	514	100,0%

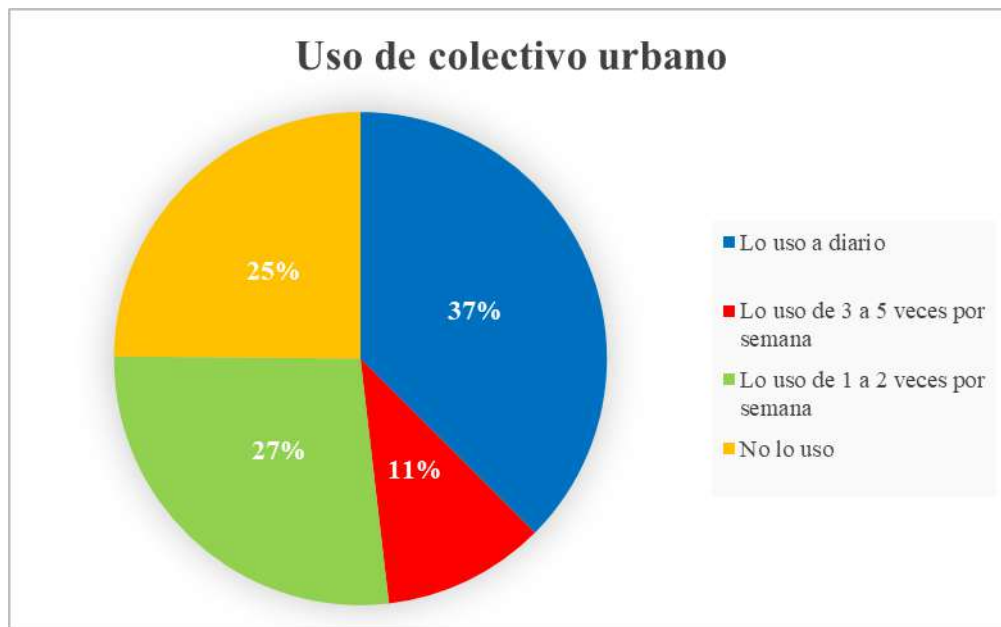


Gráfica 11. Fuente: Los Autores.

10. ¿Usa el transporte público colectivo urbano (bus) como modo de transporte?

- a. Lo uso a diario
- b. Lo uso de 3 a 5 veces por semana
- c. Lo uso de 1 a 2 veces por semana
- d. No lo uso.

Reurrencia de uso de colectivo urbano	Usuarios	Porcentaje
Lo uso a diario	193	37,5%
Lo uso de 3 a 5 veces por semana	55	10,7%
Lo uso de 1 a 2 veces por semana	139	27,0%
No lo uso	128	24,9%
TOTAL	515	100,0%



Gráfica 12. Fuente: Los Autores.

Diagnóstico de Movilidad Sostenible en Tunja, según nuestra área de estudio:

Dentro de la descripción a realizar del lugar de estudio se cuenta con un sistema de infraestructura diferentes en cada área propuesta en el objetivo general, se desglosó en los diferentes lugares: el primer tramo al analizar la infraestructura va desde *Los Hongos* hasta el *Bosque de la República*; existe una ciclorruta de 0.89 km de infraestructura para bicicletas, hasta el momento la vía más completa de la ciclorruta del lugar de estudio.

Las demás ciclorrutas en la zona de estudio se sitúan en la esquina de *Unicentro* hasta *Makro*, con una distancia de 0.57 km. Y la última ciclorruta establecida en nuestra zona de estudio está ubicada entre la esquina del almacén *Homecenter* y el centro comercial *Viva Tunja*, con una longitud de 0.23 km. Se cuenta, entonces, con 1.69 km de infraestructura sólo para ciclorrutas, teniendo en cuenta que nuestra zona de estudio alcanza una longitud de 5,49 km, lo que equivale al 30.78 % de nuestra zona de infraestructura exclusiva para bicicletas.

4.1.2. Resultados y análisis de las entrevistas

Este análisis es basado en respuestas de las personas entrevistadas según sus puntos de vista y experiencia en el tema de movilidad, las personas entrevistadas fueron:

- Secretario de Tránsito y Transporte de la ciudad de Tunja – Ing. Héctor Mauricio Sánchez Abril
- Director de escuela de la Facultad de Vías y Transportes UPTC – Ing. Luis Alfredo Vega
- Docente Escuela de Ingeniería de Vías y Transporte – Ing. Sonia Esperanza Díaz Márquez
- Representante de Comunidad Motera – Jorge Alba
- Docente de la Facultad de Vías y Transportes de la UPTC – Ing. Fredy Guío
- Concejal Municipal – Camilo Hoyos

Ahora bien, cada una de estas personas se tomó el tiempo de participar en una entrevista realizada -compuesta por 7 preguntas y analizada según su experiencia y conocimiento en el tema-;

en esta sección se realizó un análisis de pregunta por pregunta, luego de revisar la respuesta de todos y compararlas.

Primera pregunta ¿Qué políticas se han implementado según su conocimiento en el municipio de Tunja en materia de transporte sostenible, *teniendo en cuenta que transporte sostenible es el uso de transporte público colectivo, peatones, bicicletas y micromovilidad en general?*

Con respecto a esta pregunta los encuestados mencionaron varios planes en desarrollo. Destacan políticas como la creación del plan estratégico de transporte público, que unió a 4 empresas en Tunja para mejorar rutas y movilidad, beneficiando a pasajeros y conductores. Se mencionó la peatonalización del Centro histórico para fomentar el transporte a pie y reducir la congestión vehicular, a pesar de controversias. De hecho, la Administración 2020-2023 trabajó en un plan de movilidad sostenible y segura, con visión proyectada al 2042, buscando mejorar espacios públicos y así promover una movilidad ecológica. Se actualizó el Plan Maestro de Movilidad tras 10 años. Se implementó el pico y placa en toda la ciudad y se promovió el uso de bicicletas mediante campañas, proyectos y bicicletas públicas, como el 'Día de la Bicicleta' y la 'Bicicleta compartida'. Estas acciones buscan incentivar el uso de la *Movilidad sostenible*.

Segunda pregunta: ¿Qué fortalezas existen en el municipio de Tunja en materia de Transporte Sostenible?

En esta pregunta los encuestados se encontraron todos de acuerdo en que una de las mayores fortalezas que tiene la ciudad de Tunja es su reducido tamaño, pues es una ciudad relativamente pequeña y con distancias

cortas; asimismo, cuenta con una cantidad estable de habitantes y las distancias a cubrir no generan mayores retos. Todo esto ayuda a fortalecer la Movilidad sostenible, ya que la mayor parte de los habitantes usa el modo 'a pie', así sea para cubrir pequeñas rutas. Otra Fortaleza importante a resaltar es que la ciudad de Tunja cuenta con una 'alta población juvenil' que usa con gran frecuencia medios de transporte sostenible para movilizarse por la ciudad, lo cual nos ayuda a promover la implementación de Movilidad sostenible. También resaltaron que la unión temporal de las empresas de transporte público colectivo urbano ha fortalecido la calidad del transporte público, generando que este medio de transporte adquiera un mayor impacto entre los ciudadanos, y con esto también se ha fomentado este medio como una posibilidad de transporte utilizada en el 'Día de los Ciudadanos'.

De estas respuestas podemos analizar que al ser Tunja una ciudad pequeña permite que las personas prefieran el transporte sostenible a su carro particular, ya que las distancias son cortas y los tiempos que gastan de un lugar a otro en transporte sostenible no son muy diferentes a los que gastarían en su carro particular. También es importante resaltar que al mejorar el servicio en el sistema de transporte colectivo urbano ha incentivado a que los usuarios lo tomen con mayor frecuencia, así como importante hablar del tema de la población juvenil, ya que estas personas cuentan con una sensibilización mayor al tema de impacto ambiental y esto es de gran ayuda para promover el Transporte Sostenible.

Tercera pregunta: Ya hablamos de *Fortalezas*, ahora nos gustaría que habláramos de las *Debilidades* de que adolecemos en materia de *Transporte Sostenible*.

En el tema de *Debilidades* se encontraron varias falencias, pero la de mayor impacto que se debe considerar es falta de *infraestructura* de calidad para los diferentes medios de Transporte sostenible, iniciando por la infraestructura vial, la cual se encuentra en un pésimo estado. Esto genera incomodidad y dificultad para el desplazamiento de los diferentes medios de transporte: el tema de los andenes para los peatones... Hacen falta muchos kilómetros de andenes en toda la ciudad, y los que existen no van conectados, se encuentran en zonas de la ciudad donde no hay ni siquiera andén para que el peatón se desplace con seguridad. De hecho, los andenes que se encuentran no se rigen por ninguna norma sino se construyen como el dueño del predio lo desea; persisten muchos peligros para el peatón en andenes muy lisos, o con desniveles que hacen que el peatón pueda sufrir accidentes, también hay muchas zonas de la ciudad que no cuentan con una adecuada iluminación, lo que genera que el ciudadano se sienta inseguro de desplazarse a pie por diferentes zonas de la ciudad.

También es importante resaltar que las zonas de infraestructura para ciclorrutas son precarias, están en mal estado y no se encuentran conectadas entre sí, lo que genera que los biciusuarios se sientan inseguros de usar este medio. Además, otro tema importante en que se encontraron de acuerdo los encuestados es que hace falta mucha *educación vial* tanto para el peatón, el conductor, el biciusuario, el motociclista, entre otros, ya que todos ellos asumen las normas según les convenga y esto genera muchos accidentes en la ciudad. Otra *Debilidad* importante de resaltar es la seguridad, ya que en las campañas de sensibilización que se han realizado las personas constantemente afirman que

no se sienten seguros de usar transporte sostenible en horas de la noche, pues sienten miedo a sufrir un robo o atraco, y prefieren usar otros medios de transporte. Asimismo, se habló de que el transporte colectivo urbano no llega a todos los puntos de la ciudad, y esto hace que la ciudadanía prefiera no optar por este medio de transporte. De estas respuestas fue importante inferir que falta mayor normatividad con respecto a la movilidad vial, y urge una gran inversión con respecto a infraestructura vial.

Cuarta pregunta: *¿Qué planes en tema de Movilidad Sostenible se proyectan para la ciudad de Tunja?*

En cuanto a planes se refiere, la planeación se está gestionando para Tunja según uno de los proyectos más importantes es el sistema estratégico de transporte público (*ESTP*); plan estratégico de transporte que se busca sea cofinanciado en el 70% por la Nación y el 30% por el municipio de Tunja. Dicho plan estratégico quedó viabilizado también por el plan de gobierno actual, mediante el cual se busca transformar todo el tema de transporte sostenible y transporte público en la ciudad, realizando inversión en el cambio de vehículos, en un recaudo unificado, carreteras exclusivas y de buena calidad para los vehículos automotores. También en el tema de ciclovía y ciclorrutas se propende por el mejoramiento de la infraestructura y la necesidad vial, este plan prospecta realizar una transformación de cómo se ve actualmente el transporte público. De esta respuesta logramos analizar que se está planteando un gran proyecto que apuesta por el mejoramiento de la imagen de la ciudad de Tunja con respecto a la movilidad en el País, inyectándole un aire innovador a la ciudad y promoviendo la movilidad sostenible como medio de transporte

para el día a día; también demuestra que la administración se encuentra muy interesada en incentivar sistemas de transporte amigables con el medio ambiente, lo cual genera una gran expectativa para los ciudadanos.

Quinta pregunta: *¿Cuáles cree usted que son las necesidades existentes en la ciudad de Tunja en cuanto a infraestructura para bicicletas?*

Los entrevistados coincidieron en que tenemos una necesidad en aumentar la infraestructura vial en la ciudad, ya que contamos con pocas zonas de infraestructura para bicicleta además de que las que están actualmente se encuentran en muy mal estado; necesitamos más kilómetros de infraestructura para bicicletas y además que estas se encuentren conectadas y delimitadas para que no sean ni riesgosas para el biciusuario, ni para los peatones, pues actualmente al no haber infraestructura adecuada los biciusuarios optan por usar andenes anchos poniendo en riesgo también a la población que usa el modo a pie como medio de transporte. También una necesidad es sensibilizar sobre el tema de cultura vial para los biciusuarios, incentivando el correcto uso de este medio de transporte, otra necesidad que se ve es generar mayores planes que apoyen las bicicletas como medio de transporte y la seguridad con respecto al uso de ellas, ya que los biciusuarios cuentan con miedo de transitar por zonas de la ciudad donde se sienten intimidados por sujetos mal intencionados. Asimismo, es importante resaltar que se deben crear más campañas para fomentar la bicicleta como medio de transporte desde pequeños, fomentando actividades culturales que fortalezcan este medio de transporte en colegios, universidades y empresas. A partir de esta pregunta se puede analizar que

contamos con muchas necesidades para poder incentivar el uso de las bicicletas como medio de transporte cotidiano y que hace falta inversión de parte de la administración municipal para crear corredores viales exclusivos para esta práctica, lo cual generaría que muchos más usuarios la tomaran sin miedo a correr algún peligro.

Sexta pregunta: *¿Qué debería mejorarse en el sistema de transporte público colectivo urbano para que sea de excelente calidad?*

Con respecto al sistema de transporte público colectivo urbano, es preciso realizar bastantes mejoras para que este sea de buena calidad, empezando por unificar las rutas y generar un horario que ayude al conductor a no sentirse constantemente presionado, ya que esto ocasiona que el mismo conductor no preste un servicio adecuado y el transporte público no sea inclusivo puesto que en esa guerra de cumplir los tiempos, los conductores muchas veces se molestan cuando sube un adulto mayor y se demora. No son inclusivos para personas con movilidad restringida, y todos los automotores no cuentan con sistemas para estas personas; urge entonces implementar una mayor inclusión para que todas las personas puedan movilizarse mediante este tipo de transporte.

De igual forma, es importante crear conciencia ciudadana sobre los paraderos de ascenso y descenso de pasajeros, y contar con mayores frecuencias de las rutas, pues muchas veces los usuarios demoran mucho tiempo esperando el transporte, lo cual hace que opten por medios diferentes. Es importante resaltar que la infraestructura vial también afecta el servicio; de ahí la relevancia de mejorar la calidad de la infraestructura vial para que se pueda prestar un mejor servicio, y

generar jornadas de capacitación para los conductores con respecto a la atención y el trato al ciudadano. Asimismo, generar jornadas de sensibilización del trato de los ciudadanos a los conductores, procurando una mejor relación que redundará en un mejor servicio.

De esta pregunta podemos deducir que el servicio de transporte público colectivo urbano cuenta con bastantes falencias que inducen a que la gente opte por un medio de transporte diferente; sin embargo, todo esto lo podemos cambiar mejorando la calidad del servicio en orden a realizar una mejor comunicación entre las empresas transportadoras.

Séptima pregunta: ¿Cuál cree usted que son las necesidades existentes en cuanto a la infraestructura de peatones teniendo en cuenta el modo a pie como opción de movilidad cotidiano?

De hecho, una necesidad que se experimenta es la mayor cobertura de senderos peatonales. Efectivamente, apremia aumentar los andenes para los peatones y ceñirse a una normativa de estos andenes, ya que estos actualmente no cuentan con ninguna regulación sino son contruidos por el propietario del predio. Más aún, es importante regular sus dimensiones y demás normas para estos andenes, ya que este tema puede generar accidentes para el peatón. De igual manera conviene suprimir cualquier tipo de obstáculo que se pueda presentar y genere incomodidades, a la par que garantizar guías para personas con movilidad restringida, las cuales no se sienten seguras en los andenes o ni siquiera tienen posibilidad de movilizarse por ellos debido a la estrechez del mismo. Por lo demás, es urgente se realicen construcciones que incluyan un andén conveniente, ya que se ve que en diferentes zonas de la ciudad se realizan construcciones pero no se diseña un adecuado andén.

Asimismo, persiste grandes necesidades frente a la seguridad: mayor iluminación, cámaras de seguridad para que el peatón se sienta seguro al transitar por las diferentes zonas; al respecto, los encuestados coincidieron en que el municipio asume un gran reto con relación al tema del modo a pie como método de transporte cotidiano, en cuanto no existen espacios con la infraestructura necesaria para que las personas puedan realizar sus trayectos en el modo a pie, ya que constantemente se deben exponer a estar en la vía y tener cualquier tipo de percance.

De estas respuestas podemos inferir que la infraestructura vial para peatón es muy mala, en tanto precaria, al no contar con una norma regularizada que le dé prioridad al peatón para sentirse seguro y tranquilo al usar este medio de transporte que, dicho sea de paso, debería incentivarse bastante, ya que el municipio de Tunja es relativamente pequeño y seguro para que las personas puedan usar este medio de transporte.

Octava pregunta: ¿Desde su perspectiva como percibe la infraestructura vial en la ciudad de Tunja?

En esta pregunta contextual y coyuntural los encuestados consideran que la infraestructura vial es deficiente, especialmente en el centro histórico en razón de todo lo que tiene que ver con superficies de rodadura en todas las zonas de la ciudad. En efecto, están deteriorados y pareciera no existir una sola vía en buen estado; incluso hay zonas que requieren reconstrucción y algunos tramos importantes en algunos barrios y sectores de la ciudad requieren pavimentación. Es decir que urge una reconstrucción de toda la estructura del pavimento, así como desde el punto de vista de peatones y bicicletas; se requieren perfiles adecuados y senderos

peatonales; en líneas generales la infraestructura es insuficiente, hace falta una conectividad transversal que permita descongestionar importantes vías de la ciudad, al igual que una longitudinal para conectar sectores de la ciudad y así generar mayor descongestión vehicular. Y, por si fuera poco, también se ve que por las malas condiciones de infraestructura vial se presentan muchos accidentes de tránsito, ya que al esquivar los huecos existentes se invaden los carriles.

De esta pregunta podemos colegir que la infraestructura vial actual requiere de una gran inversión, en cuanto sus condiciones son muy malas para toda la comunidad en general; y se requiere que esta inversión se haga con previos estudios rigurosos para que los arreglos que se adelanten sean de calidad y permitan que perdure el arreglo ejecutado, también que cuando se instalen reductores se realicen diferentes estudios para garantizar que estos generen un real beneficio para la comunidad.

Se deduce entonces que se ha venido trabajando en implementar la movilidad sostenible. No obstante, a pesar de estos conatos, no se ha logrado una gran acogida por las condiciones de la infraestructura para este tipo de movilidad, ya que las condiciones no son todavía aptas para una implementación de *movilidad sostenible*; de hecho, la ciudad requiere una gran inversión en cuanto a infraestructura, calidad y sensibilización vial para así poder impulsar todos los proyectos que se están presentando.

En este sentido, la infraestructura vial de Tunja juega un papel importante en el desarrollo económico de la ciudad, al permitir el transporte eficiente de mercancías y facilitar el acceso a áreas comerciales e industriales, promoviendo así la actividad empresarial y el empleo.

La planificación y la gestión adecuada de la malla vial en Tunja son fundamentales para adaptarse al crecimiento demográfico y urbano, así como para asegurar la sostenibilidad a largo plazo, considerando aspectos como la expansión de vías, la construcción de nuevos accesos y la implementación de sistemas de transporte público eficientes.

A todas luces, la implementación de políticas de movilidad sostenible en Tunja puede reducir la dependencia de los automóviles particulares, lo que a su vez disminuye los costos asociados con la propiedad y el mantenimiento de vehículos, a fin de promover la adopción de estilos de vida saludables, ya que se alienta a las personas a caminar y utilizar la bicicleta así como medios de transporte activos.

5. CONCLUSIONES

La *movilidad sostenible* en Tunja reduce la huella de carbono de la ciudad, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y al cumplimiento de los compromisos internacionales en materia de reducción de emisiones, por lo que mejora la calidad de vida de sus habitantes y protege el medio ambiente, además de disminuir la congestión vehicular y mejora la fluidez del tráfico en la ciudad.

Asimismo, la *movilidad sostenible* reduce la dependencia de los combustibles fósiles, lo que ayuda a diversificar la matriz energética de la ciudad y a disminuir la vulnerabilidad ante fluctuaciones en los precios del petróleo.

El desarrollo de infraestructuras para la movilidad sostenible, como carriles para bicicletas y estaciones de carga para vehículos eléctricos, fomenta la creación de empleo local y estimula la economía de la ciudad con miras a facilitar el desplazamiento de las

personas hacia diferentes partes de la ciudad y mejorando la integración social.

El uso de bicicletas y el caminar como medios de transporte promueve la interacción social y fortalece el sentido de comunidad en Tunja, al tiempo que reduce el estrés y mejora la salud mental de las personas.

La implementación de infraestructuras para la *movilidad sostenible*, como estaciones de carga para vehículos eléctricos, fomenta la transición hacia una movilidad más limpia y sostenible a nivel nacional.

La calidad de la infraestructura vial en Tunja influye directamente en la seguridad vial, por lo que es crucial mantenerla en buen estado para prevenir accidentes y proteger la vida de los usuarios y con una infraestructura vial eficiente y bien planificada en Tunja. Más aún, contribuye a reducir los tiempos de desplazamiento, mejorar la fluidez del tráfico y minimizar la congestión, lo que redundará en un mayor nivel de satisfacción de los ciudadanos.

La planificación y la gestión adecuadas de la infraestructura vial en Tunja son fundamentales para adaptarse al crecimiento demográfico y urbano, así como para asegurar la sostenibilidad a largo plazo, considerando aspectos como la expansión de vías, la construcción de nuevos accesos y la implementación de sistemas de transporte público eficientes.

La topografía de Tunja puede plantear desafíos para el uso de la bicicleta como medio de transporte en la ciudad. Sin embargo, con una planificación adecuada, la creación de infraestructuras adaptadas y campañas de sensibilización es posible fomentar y facilitar la movilidad en bicicleta, aprovechando los beneficios que este medio de transporte sostenible puede ofrecer para la ciudad.

La malla vial de Tunja juega un papel importante en el desarrollo económico de la ciudad, al permitir el transporte eficiente de mercancías y facilitar el acceso a áreas comerciales e industriales, promoviendo la actividad empresarial y el empleo.

De acuerdo con los resultados de las encuestas, el 64.3% de los usuarios declararon utilizar medios de transporte sostenibles como mínimo una vez a la semana. Este dato se presenta como un indicador clave hacia la consecución de una ciudad intermedia sostenible.

REFERENCIAS

- Acevedo, J. & Bocarejo, J. P. (2009). "Movilidad sostenible: una construcción multidisciplinaria". *Revista de Ingeniería*, (29), 72-74.
- Bedoya, H. U.; Arias, A. V. & Yovera, S. R. Y. (2019). "Tendencias y evolución investigativa sobre la movilidad sostenible". *Producción+ Limpia*, 14(2), 42-60.
- Cedeño, E. A. L.; Rocha-Hoyos, J. C.; Zurita, D. B. P. & Milla, J. C. L. (2018). "Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura: Caso de estudio Quito, Ecuador". *Enfoque UTE*, 9(2), 149-158.
- DANE (2018). Departamento Administrativo Nacional de Estadística: Censo realizado en la ciudad de Tunja, Boyacá.
- González, J. R. Q. (2012). "Caracterización del ruido producido por el tráfico vehicular en el centro de la ciudad de Tunja (Colombia)". *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (36), 311-343.
- González, J. R. Q., & González, L. E. Q. (2015). "El transporte sostenible y su papel en el desarrollo del me-

dio ambiente urbano”. *Ingeniería y Región*, 14, 87-97.

- Grütter, J. (2014). Rendimiento Real de Buses Híbridos y Eléctricos. *Grütter Consulting*.
- Gutiérrez García, E. L. (2019). Ajuste al transporte público colectivo urbano de Tunja: Integración con el terminal interurbano. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Mendivelso, J. T.; Silva, H. C. & Pérez, T. V. (2020). “Ciudades inteligentes y movilidad en bicicleta como factor de sostenibilidad: Un análisis en ciudades intermedias en Colombia”. *Revista colombiana de tecnologías de avanzada (RCTA)*, 3(Especial).
- Méndez, R., Michelini, J., & Romeiro, P. (2006). Redes socio-institucionales e innovación para el desarrollo de las ciudades intermedias. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 38(148), 377-395. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2353770> <https://www.uclg.org/es/agenda/ciudades-intermedias#:~:text=Las%20ciudades%20intermedias%20son%20aquellas,total%20de%20la%20poblaci%C3%B3n%20urbana.> *página web de Ciudades y Gobiernos locales Unidos (2018)*
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2006). Ley 1083 de 2006. Recuperado de: <https://www.funcionpublica.gov.co/>
- Pérez Prada, F.; Velázquez Romera, G.; Fernández Añez, M. & Dorao Sánchez, J. (2015). Movilidad inteligente. *Economía industrial*, (395), 111-121.
- Peñalosa, G. G. (2015). Los beneficios del ciclismo: bienestar global e individual. Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://doi.org/10.18800/9786123170912.005>
- Quintero González, J. (2013). Efecto de la velocidad en la contaminación por ruido del tráfico vehicular en la ciudad de Tunja (Colombia). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Recuperado de <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/77411>.
- Recasens Alsina, M. (2020). “Desafíos para una movilidad sostenible: Barcelona”. *Ciudad y territorio, estudios territoriales*, 52(204), 263-276.
- Vega, Pilar. (2017). Guía práctica para la elaboración e implantación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible (1st ed.). *Ecologistas en Acción*, 1-160

Calidad de La Información y del Sistema de Gestión del Conocimiento

Quality Of Information And The Knowledge Management System

Caro C., Carlos Andrés

Universidad Santo Tomás
carlos.caro@usantoto.edu.co
Ph. D. Ingeniería Civil

Ochoa P. Jorge Esteban

Universidad Santo Tomás
Jorge.ochoap@usantoto.edu.co
Estudiante de ingeniería civil

Torres A. Dayana Vanessa

Universidad Santo Tomás
Vanessa.torresu@santoto.edu.co
Estudiante de ingeniería civil

Resumen

Este trabajo presentado a continuación es un ítem de gobernanza de cuencas rurales índice *GWI*, que busca en 18 ítems una evaluación de las cuencas rurales para aprovechar el agua sostenible, basado en el manejo inadecuado de Latinoamérica y es ineficiente la calidad de agua en zonas rurales. Se realizó sobre el ítem No. 22 que titula calidad de la información y del sistema de gestión del conocimiento desarrollado en Cóbbita (Boyacá) por una metodología propuesta por los autores. El manejo y calidad de la información asume un papel importante en recursos hídricos, a nivel de Colombia. Efectivamente, se llevó a cabo en el municipio de Cóbbita una metodología propuesta por los mismos autores, que se desarrolló basada en las principales carencias de información que se detectaron a nivel Colombia en zonas rurales. Se evaluaron cuatro factores que en la metodología se consideran fundamentales para el manejo y calidad de la información, a saber: crear un sistema que permita ubicarnos espacialmente y poder georreferenciar los datos tomados para un mejor manejo de la información, posicionando las viviendas espacialmente; se llevó a cabo con una macro de autoría propia y un plano también formulado por los autores, en la cual se pudo también llevar un registro de consumos e información de la cuenta matriculada. El siguiente subítem tenido en cuenta fue el uso de suelo debido a que la demanda de agua de este se vio atribuido a cultivos y se identificaron acueductos para riego agrícola o puntos de explotación de agua -clave para el estudio-; el tercer subítem será la identificación de la toma de agua actual, mediante el cual se permitió conocer el acceso de agua potable en el acueducto rural y la legalidad, ya que en zonas rurales es normal la explotación de aguas superficiales y subterráneas para el uso de cultivos agrícolas o ganadería, y estos en algunos casos puede carecer de licencias del agua captada. Por último, se realizó el análisis de la calidad del servicio actual, que tuvo una fuerte repercusión debido a que en algunos casos se presenta tubería antigua, y acceso limitado o por horas o días de servicio, o el mantenimiento puede presentarse frecuente debido a tubería en mal estado y a su uso en varios años. El estudio ya mencionado se llevó a cabo en el municipio de Cóbbita (Boyacá), en la vereda San Rafael, que carece de información y control, pero se logró elegir un punto de estudio.

Palabras clave: Recursos hídricos, Legalidad, Metodología, Información, Georreferenciar, Uso de suelo, Acueductos, Calidad del servicio.

Abstract

Information management and quality play a significant role in water resources at the Colombian level. In the municipality of Combita, a methodology proposed by the authors was implemented. This methodology was developed based on the main information gaps identified at the rural level in Colombia.

Four key factors are evaluated in the methodology, which are considered essential for information management and quality. Firstly, the creation of a system that allows us to spatially locate and georeference the collected data for better information management by positioning households spatially. This will be carried out using a custom macro and a plan also formulated by the authors. The macro will also enable the recording of consumption and information related to the registered account. The next sub-item to be considered will be land use, as the water demand in this context can be attributed to crops, and it can identify aqueducts for agricultural irrigation or key water exploitation points for the study. The third sub-item will be the identification of the current water intake, which will allow us to understand the access to potable water in rural aqueducts and assess its legality. In rural areas, the exploitation of surface and groundwater for agricultural or livestock purposes is common, and in some cases, it may lack the required water extraction licenses. Finally, an analysis of the current service quality will be conducted. This is of great importance because, in some cases, it involves old pipelines, limited access, intermittent service, or frequent maintenance due to deteriorated pipelines from years of use.

The study was conducted in the municipality of Combita (Boyacá), specifically in the San Rafael rural area, which lacks information and control. Hence, it was chosen as the study focal point.

Para citar este artículo: Caro C., Carlos Andres; Ochoa P., Jorge Esteban; Torres A., Dayana Vanessa. "Calidad de la información y del sistema de gestión del conocimiento." In L'Esprit Ingenieux. Vol. 13-1, p.p X-X.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Constitución de 1991 de Colombia, se establece que en cuanto a los servicios públicos se deberá tener acceso de manera equitativa para toda la población colombiana, en lo que atañe a una buena calidad, la cantidad suficiente, y una continuidad del servicio prestado. Sin embargo, es común que las zonas que se encuentran alejadas de las cabeceras municipales presenten carencias en alguna de estas tres exigencias, debido a obras antiguas, ausencia de obras, o poco mantenimiento en las mismas. Todo esto a su vez causa que las zonas rurales tengan limitantes para su desarrollo (Ospina, Alberto & Álvarez, 2017).

La cumbre de la *ONU* estableció 17 objetivos de desarrollo sostenible para crear un mejor planeta en 15 años de cumplimiento, donde los países participantes se comprometieron a cumplir con los objetivos. Colombia fue partícipe y se acogió a lo presentado por las Naciones Unidas, contexto cuyo objetivo No 06 era el acceso a saneamiento y agua potable, ya que se estima que sólo una de cada tres personas (30%) tiene acceso al mundo a agua potable. También se ve disparado el deceso de niños y adultos mayores debido a la calidad del agua potable, causando enfermedades por bacterias como *E. Coli*, *Cryptosporidium*, *Amebiasis*, *Cólera* en niños estas enfermedades, que llegan a tener un nivel de mortalidad más elevado.

Por su parte, en Colombia se ha intentado favorecer esta problemática de agua potable, se espera que para 2030 según los objetivos de desarrollo sostenible se tenga un acceso del 100% de la población colombiana a un servicio de calidad de agua potable; esto se ha venido reforzando en zonas rurales del país debido a que no se cuenta con un control de servicios adecuado y no se tiene manejo idóneo de la calidad del agua, que se espera para el año pasado ya se tuviera. Con las acciones diseñadas, 8'573.951 personas tendrán acceso a soluciones de agua potable. Es de importancia el tener en cuenta las zonas rurales y el acueducto y alcantarillado de estas debido a que cumplen un papel importante en el desarrollo integral con una proyección de país de cara a los *ODS* <“Agua Limpia y Saneamiento - La Agenda 2030 en Colombia - Objetivos de Desarrollo Sostenible”, 2018>.

Actualmente, en el país no manejan un sistema de direcciones para las zonas rurales del país, lo cual conduce a tener un mal manejo de la información debido a la falta de georreferenciación de las casas a las cuales se le aporta el acceso a servicios; debido a esto, es normal encontrar cuentas sin matricular, o casas que no poseen servicio de acueducto, ya que este va diseñado hasta un punto y no abarca todas las casas por eso es importante proponer una metodología de registro y toma de datos más eficiente. Para esto se pueden tener en cuenta sistemas de ubicación en las zonas rurales, sistemas que permitan una geo-codificación adecuada para esto se puede plantear sistemas alfanuméricos, que básicamente contienen letras y números, los cuales pueden codificar zonas de gran extensión. Tal es el caso de zonas rurales o alejadas de cabeceras urbanas donde la densidad de población es baja y los predios no son consecutivos (Luisa *et al.*, n.d.).

Es importante diagnosticar las zonas rurales del país frente a los problemas de acueducto y saneamiento, debido que la falta de estos puede generar también impactos medioambientales por una falta de manejo de aguas residuales, o por la explotación de fuentes hídricas sin licencia pueden generar repercusión en ciclos

hidrológicos de la zona. Por esto es importante el diagnóstico de las zonas rurales del país para identificar problemáticas que pueden estar presentes (Andrés & Ríos, n.d.). Más aún, no se lleva un registro y control adecuado en cuencas rurales, y por consiguiente, no se tiene un control de calidad a la disposición de agua potable en zonas rurales, provocando así un sistema ineficiente en zonas que no pertenecen a la cabecera urbana del país.

2. CALIDAD DE LA INFORMACIÓN Y DEL SISTEMA DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN LA VEREDA SAN RAFAEL, DE CÓMBITA (BOYACÁ).

Se llevó a cabo el paso a paso de la metodología propuesta para un sistema de información más eficiente en cuencas rurales de Colombia.

2.1. Sistema de direcciones basado en cuadrículas alfanuméricas para localización de puntos de interés en zonas Rurales (SDBC_ALFA)

De acuerdo con la metodología planteada es importante tener el plano de la vereda seleccionada para el desarrollo de la investigación, si bien las veredas en Colombia no poseen una dirección o identificación.

Para el caso en estudio se eligió el municipio de Cómbita -específicamente la vereda San Rafael-, la cual no contaban con su respectivo plano topográfico, razón por la cual fue necesario hacer la elaboración de este para así poder avanzar en el estudio, recurriendo a los *softwares* tipo *GIS*, *Google Earth Pro*, entre otros, aplicando las siguientes metodologías: Título de tercer nivel y superiores.

2.1.1. Método 1:

Se utilizaron dos metodologías para el caso de estudio: la primera se realizó mediante el procesamiento de datos descargados directamente del IGAC (<https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia>), y a su vez descargando el plano cartográfico de los municipios de Colombia en archivos tipo *Shape*. Posteriormente, estos datos fueron exportados en *Arcmap*, programa que permite el procesamiento de datos, tales como: las curvas de nivel que ofrece el IGAC, y vías que también se encuentran en el municipio.

Después de esto se filtraron los datos, dejando únicamente aquellos que tuvieran relevancia y fueran necesarios, para así proceder a recortar el lugar de interés y obtener las imágenes que se muestran a continuación en la *Ilustración 1*, exportados los archivos al *ArcMap*, y se procedió a delimitar la zona de estudio, con toda la información que necesitamos, esto es: curvas de nivel, vías, entre otros como predios que nos serán de utilidad, y posterior a esto urgió un debido geoprocesamiento tal como se muestra en la *Ilustración 2*, centrando toda la información en un mismo *Shape*, y delimitando la zona.

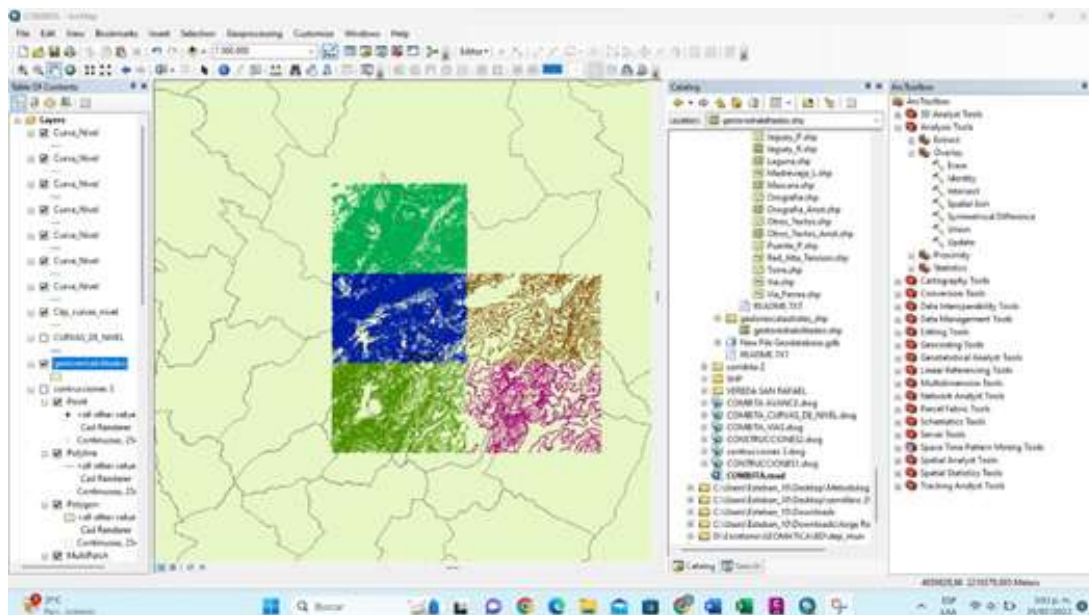


Ilustración 1. Archivos shp sin geoprocesamiento.

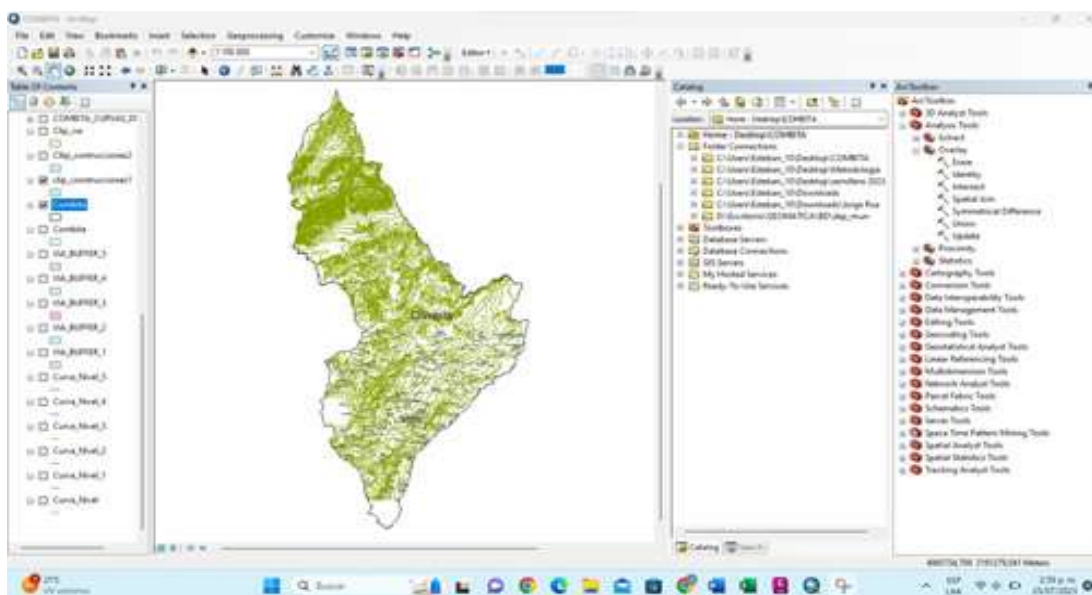


Ilustración 2. Archivo shp posterior al geoprocesamiento.

Cabe destacar que toda la información se trabajó en *UTM (Urchin Tracking Module)*, sistema *WGS84*, y la zona de Cómbita que es *18 North*, con la finalidad de poder geolocalizar en *Civil 3D* y realizar todo de manera apropiada: del *método 1* se obtuvo lo presentado en la *Ilustración 3*, que presentó incongruencias al haber sido exportada a *Civil 3D* debido a que la información se encontraba actualizada y carecía de vías terciarias que condujeran a la vereda. Asimismo, también las curvas de nivel suministradas mantienen distancia entre curvas superiores, lo cual no permite hacer un análisis más detallado de la zona analizada; por otro lado, favorece el conocimiento general de todo el municipio, y es un acercamiento apropiado si fueran varias veredas o la vereda de estudio fuera de gran extensión territorial.

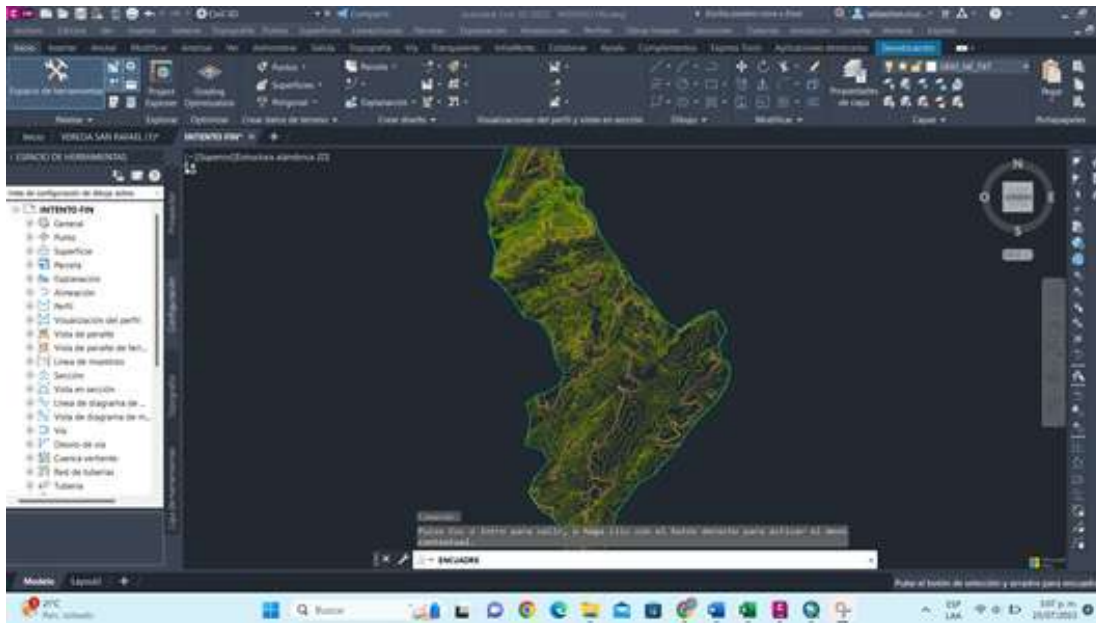


Ilustración 3. Export civil 3D.

Para continuar con la descripción del contenido de esta subsección se pone punto seguido y se da paso al párrafo de aclaración, tal como se hizo en este ejemplo. No deben llevar numeración.

2.1.2. Método 2:

Teniendo en cuenta los problemas obtenidos mediante la modelación con el *IGAC*, se desarrolló un modelo con un geoprocesamiento a partir de un *RASTER*, el cual consiste en una imagen satelital exportada de *Google Earth Pro*, en el cual se localizó la vereda San Rafael, ya que debido a la intensidad de puntos que este puede generar lo mejor es limitar la información al lugar de estudio tal como se muestra en la *Ilustración 4*, donde se ve ya demarcada la vereda San Rafael, enmarcada con una línea rojo de contorno.

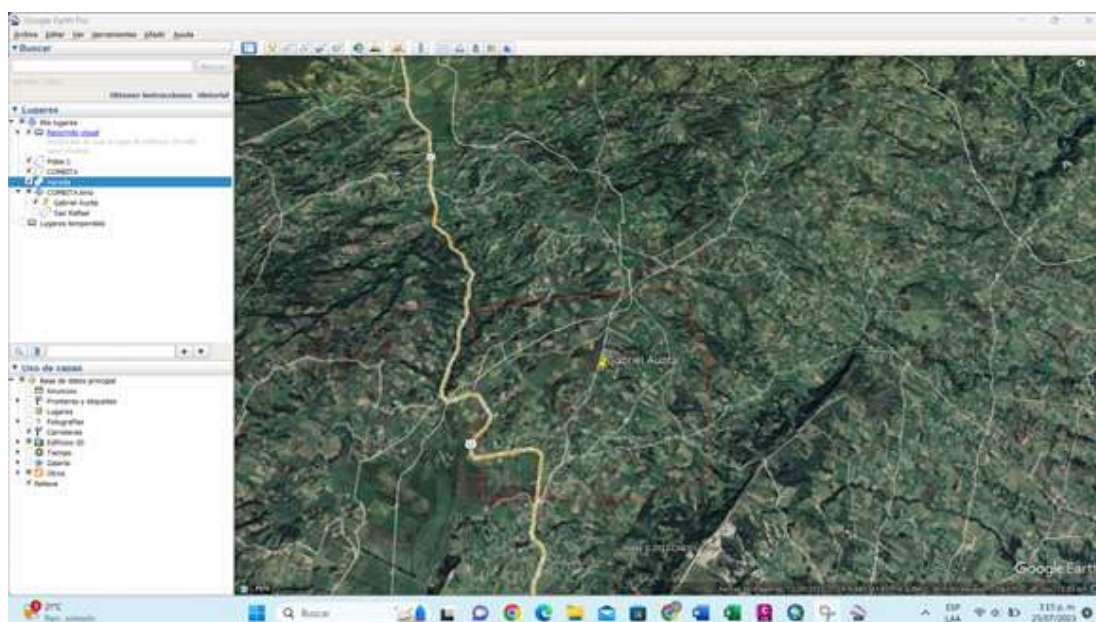


Ilustración 4. Vereda San Rafael Google Earth Pro.

Ahora bien, en este método se trabajó con una imagen importada como *KMZ*, y debido a que el geoprocesamiento fue satelital se utilizó *Global Mapper 2.0* y un sistema de coordenadas *UTM* (*Urchin Tracking Module*), sistema *WGS84*, y la zona de Cóbbita que es *18 North*; cuando es exportado se tendrá un mapa con pendientes, los cuales corresponden a la vereda tal y como se muestra en la *Ilustración 5*, en la cual nosotros procedemos a generar los contornos de la curva de nivel tal como se muestra en la *Ilustración 6*.

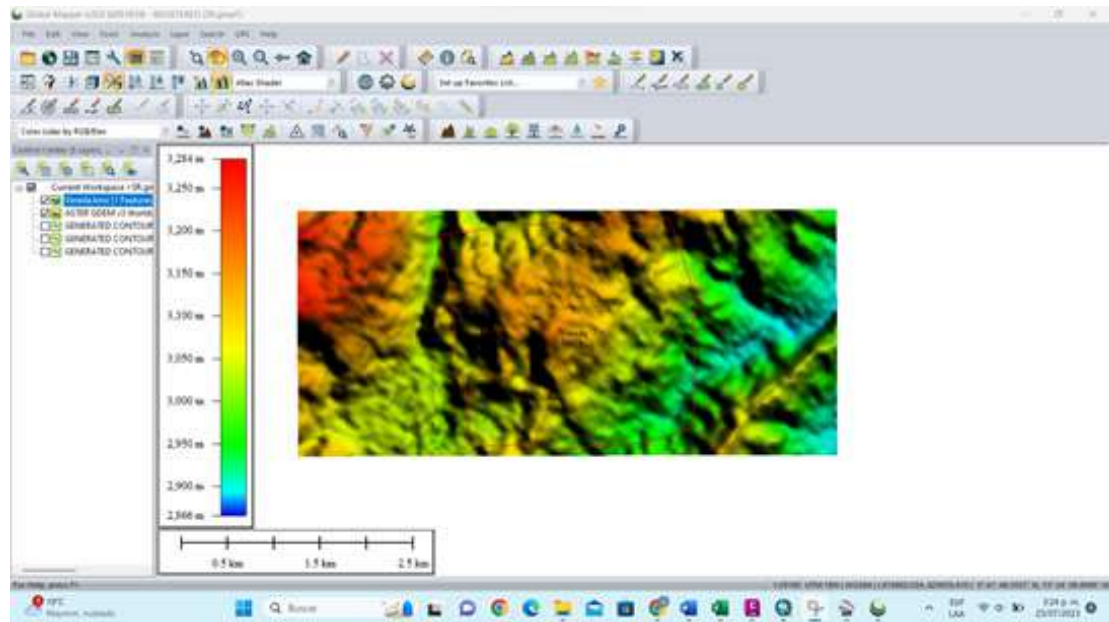


Ilustración 5. Vereda San Rafael Global Mapper 2.0.

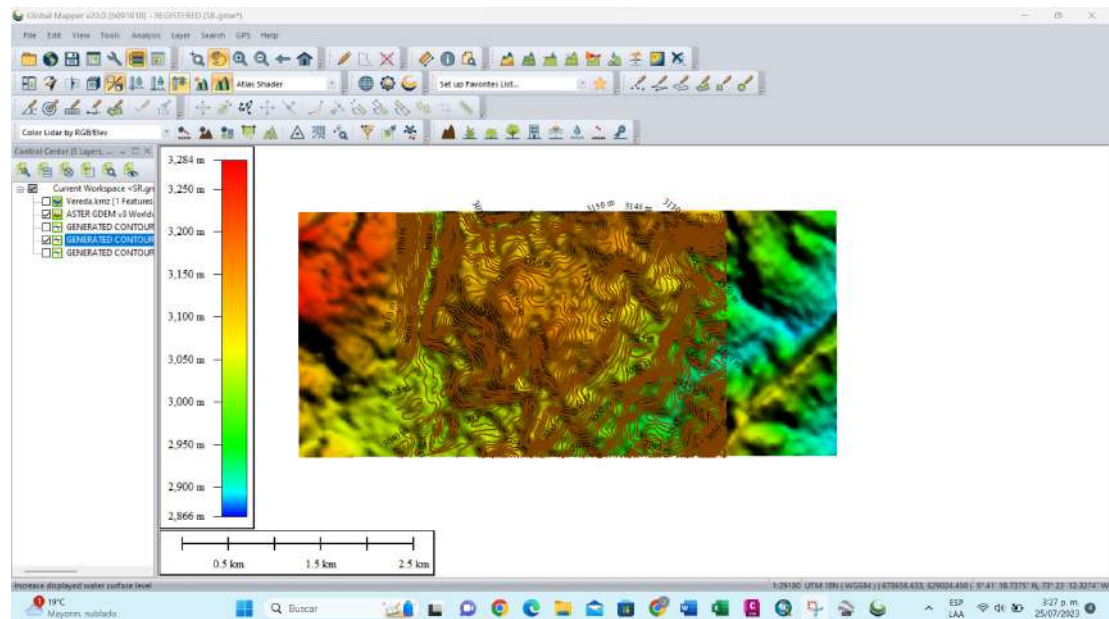


Ilustración 6. Curvas de nivel Global Mapper 2.0.

Por consiguiente, esta información se convirtió a un archivo *DWG* por medio de puntos que fueron exportados de *Global Mapper*, los cuales se cargaron en *Civil 3D* como nubes de puntos, y permiten generar superficies para la elaboración de las curvas de nivel. Cabe resaltar que el *Civil 3D* debe ser programado y georreferenciado adecuadamente para poder trabajar sobre el mismo.

Finalmente, se cargaron las curvas de nivel y se trazaron las vías y casas implementadas para la realización del estudio tal y como se muestran en la *Ilustración 7*.

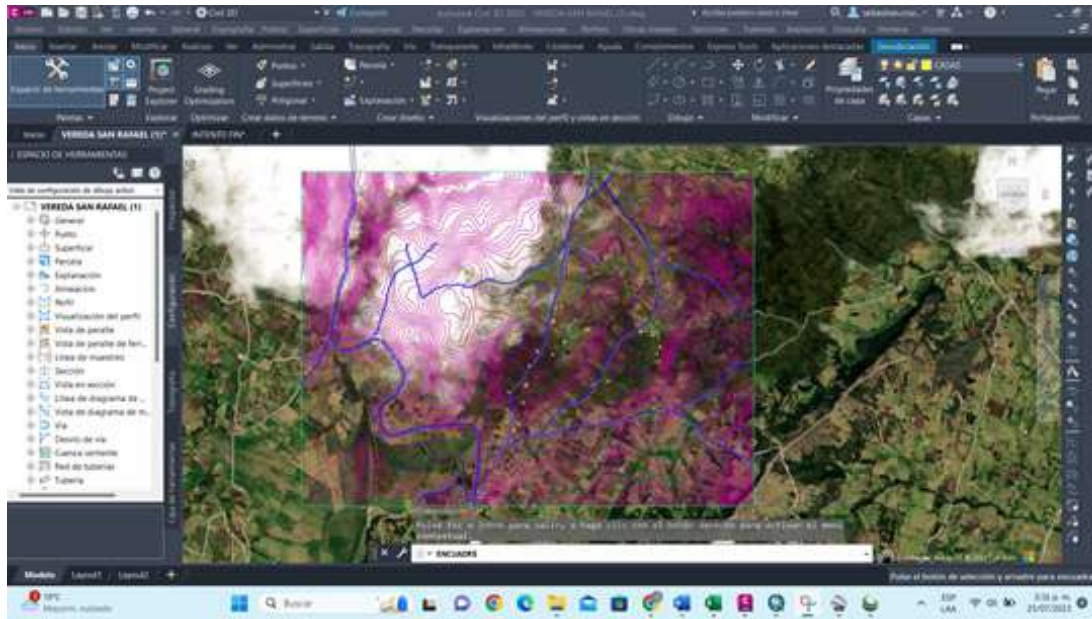


Ilustración 7. Curvas de nivel Civil 3D.

Una vez obtenido el material necesario para el desarrollo del estudio, se trazó la grilla para así poder empezar a emplear el sistema alfanumérico propuesto en la metodología, obteniendo lo mostrado en la *Ilustración 8*, en el cual se tomaron grillas de 200m x 200m.

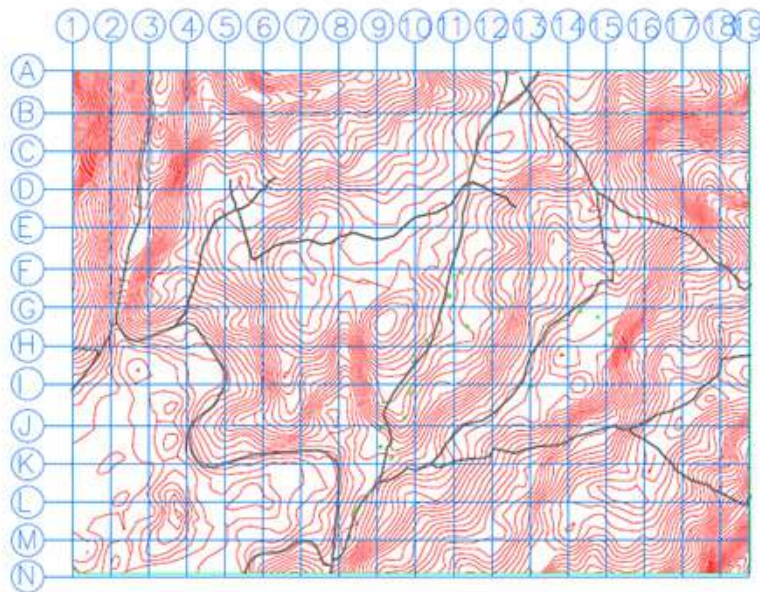


Ilustración 8. Grilla realizada en Civil 3D.

Las casas se encuentran identificadas con polígonos color verde tal como se evidencia en la *Ilustración 9*, y el sector analizado de la vereda San Rafael sólo comprende entre los límites 8 a 17; por eso sólo hay casa en esa porción del plano, y lo otro ya pertenece a otra vereda, al tiempo que las casas se encuentran enumeradas según el turno de visita y tendrán un número identificativo.

Las casas 3, 4, 5 y 6 compartirán en su escritura de dirección el nombre de la vereda y el *SBDC_ALFA* que corresponde a J9.

Para la casa 3, 4, 5 y 6 sería así:

3. Nombre de la vereda (San Rafael) / *SDBC_ALFA* (J9) / número de casa (1) San Rafael / J9 / 1

4. Nombre de la vereda (San Rafael) / *SDBC_ALFA* (J9) / número de casa (2) San Rafael / J9 / 2

5. Nombre de la vereda (San Rafael) / *SDBC_ALFA* (J9) / número de casa (3) San Rafael / J9 / 3

6. Nombre de la vereda (San Rafael) / *SDBC_ALFA* (J9) / número de casa (3) San Rafael / J9 / 3

El siguiente paso es sistematizar esta información en una base de datos creada en *Excel* y manejando un lenguaje de programación llamado *Visual Basic* para poder llevar un control de las personas que ya construyeron, y poder llevar consumos de agua, esto para conformar un sistema ordenado, se deberá llenar un formato tipo de *MACRO de Excel*, que se presenta en la *Ilustración 10*.

Nota: el formato *dwg* se puede tener como anexo para más detalle.

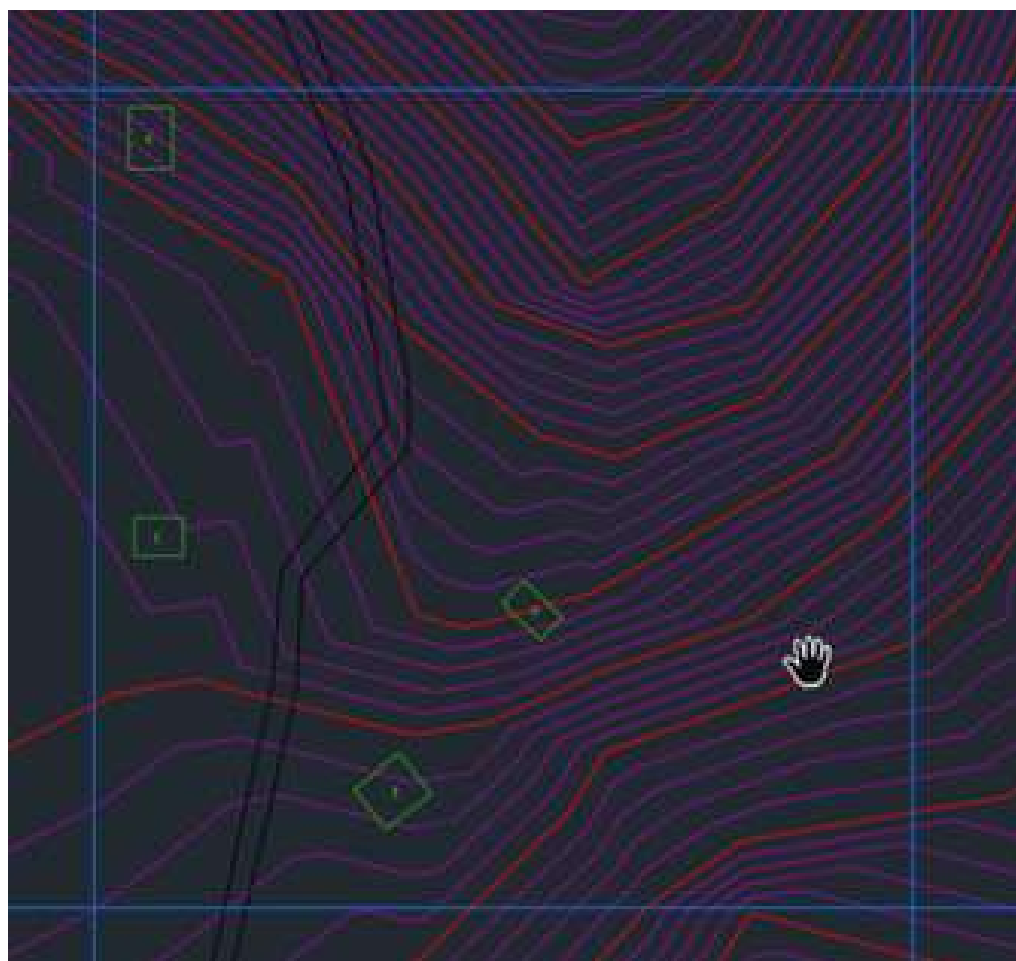


Ilustración 9: Grilla id J9.

Manejo de la información (BD)

gobernanza del agua en cuencas rurales.
Índice GWI

Autor: Jorge Enríquez Ochoa Prieto
USTA TUPIZA 2023 / Ing. Civil

Nombre: Apellido: C.C. / NIT: Estrato:

Dirección: Barrio: Tel. o Cel.:

Servicio: Uso Alcan.: Uso agua:

Nº del contador: Fecha instalación: Nº de cuenta: Valor: Estado de cuenta:

Guardar **Buscar** **Eliminar** **Limpiar**

Lectura uno:

Lectura dos:

Lectura tres:

Lectura cuatro:

Lectura cinco:

Lectura seis:

Lectura siete:

Lectura nueve:

Lectura diez:

Lectura doce:

Gráfica de consumo

Ilustración 10. Macro realizada en Excel para base de datos.

Se deberá llenar hasta que registremos las 22 casas que encuestamos para empezar a diligenciar un registro, de tal manera que si queremos información de la casa sólo baste ingresar el número de cuenta y ya se tendrá la información necesaria. En este orden de ideas, se asignaron matrículas condicionales con la primera letra *P* e iniciando con *P100*, con la finalidad de llevar una base de datos adecuada.

Nota: este macro se anexa como parte de la metodología desarrollada. Y se tendrá como resultado lo siguiente, en la segunda página de la macro tal como se muestra en la *Ilustración 11*.

Nº de cuenta	Nombre	Apellidos	C.C. / NIT	Estrato	Dirección	Barrio	Calle o tal	Servicio	Uso Alcan.	Uso agua	Fecha instalación	Nº de contador	Estado de cuenta
P100	Esabella	Molina	NIR	2	San Rafael / LB / 1	Combita	NIR	Acueducto y alcantarillado	Residencial	oficial	NIR	NIR	sin deuda
P101	Diana	Molina	NIR	1	San Rafael / LB / 2	Combita	NIR	Alcantarillado	Residencial	comercial	NIR	NIR	sin deuda
P102	Blanca	Torres	NIR	1	San Rafael / PB / 1	Combita	NIR	Acueducto y alcantarillado	Residencial	oficial	NIR	NIR	sin deuda
P103	Wilko	Salas	NIR	1	San Rafael / PB / 2	Combita	NIR				NIR	NIR	sin deuda
P104	Juan	Salas	NIR	1	San Rafael / PB / 3	Combita	NIR				NIR	NIR	sin deuda
P105	Lucy	Díaz	NIR	2	San Rafael / PB / 4	Combita	NIR	Acueducto y alcantarillado	Residencial	oficial	NIR	NIR	sin deuda
P106	Ofelia	Aguilar	NIR	1	San Rafael / PB / 5	Combita	NIR	Acueducto y alcantarillado	Residencial	oficial	NIR	NIR	sin deuda
P107	Diana	Aguilar	NIR	1	San Rafael / PB / 2	Combita	NIR	Acueducto y alcantarillado	Residencial	oficial	NIR	NIR	sin deuda
P108	Henry	García	NIR	1	San Rafael / PB / 3	Combita	NIR	Alcantarillado	Residencial	comercial	NIR	NIR	sin deuda
P109	Isabel	Aurita	NIR	1	San Rafael / PB / 1	Combita	NIR				NIR	NIR	sin deuda
P110	Yvonne	Aurita	NIR	1	San Rafael / G10 / 1	Combita	NIR	Acueducto	Residencial	oficial	NIR	NIR	sin deuda
P111	Edilma	González	NIR	2	San Rafael / G10 / 2	Combita	NIR	Acueducto	Residencial	comercial	NIR	NIR	sin deuda
P112	Carmin	García	NIR	1	San Rafael / G11 / 1	Combita	NIR	Acueducto	Residencial	oficial	NIR	NIR	sin deuda
P113	Miriam	Torres	NIR	1	San Rafael / P10 / 1	Combita	NIR	Acueducto	Residencial	oficial	NIR	NIR	sin deuda
P114	Salomón	Torres	NIR	1	San Rafael / G12 / 1	Combita	NIR	Acueducto	Residencial	oficial	NIR	NIR	sin deuda
P115	Nelson	Aurita	NIR	1	San Rafael / P11 / 1	Combita	NIR				NIR	NIR	sin deuda
P116	Galina	Aurita	NIR	1	San Rafael / P12 / 2	Combita	NIR	Acueducto	Residencial	oficial	NIR	NIR	sin deuda
P117	Silvia	García	NIR	1	San Rafael / G14 / 1	Combita	NIR	Acueducto	Residencial	oficial	NIR	NIR	sin deuda
P118	Gilma	García	NIR	1	San Rafael / G14 / 2	Combita	NIR				NIR	NIR	sin deuda
P119	Maria	Torres	NIR	1	San Rafael / G15 / 1	Combita	NIR				NIR	NIR	sin deuda
P120	Ricardo	García	NIR	1	San Rafael / G14 / 3	Combita	NIR	Acueducto	Residencial	oficial	NIR	NIR	sin deuda
P121	Nepomuceno	Torres	NIR	1	San Rafael / G13 / 1	Combita	NIR	Acueducto	Residencial	oficial	NIR	NIR	sin deuda

Ilustración 11. Base de datos.

2.1.2.1 Método calificativo. Se parametrizaron valores de calidad de la información para asignación de puntaje de la calidad de esta, siendo 5 la calificación más óptima, aplicando la *Ecuación 1* para la calificación de casas evaluadas sobre las existentes.

Calidad del plano y elaboración de la grilla:

No hay grilla-----→0 Puntos

300m X 300m-----→1Punto

250m X 250m-----→2Puntos

200m X 200m-----→3Puntos

150m X 150m-----→4Puntos

100m x 100m -----→5Puntos

En este caso se llevó a cabo con una grilla de 200m x 200m, teniendo así alrededor de dos o tres casas por recuadro alfanumérico, y debido a esto recibe una calificación de:

$$G_d = 3 \text{ puntos}$$

Cantidad de casas evaluadas referente a las existentes:

$$C_s = \frac{C_R * 5pts}{C_T}$$

Ecuación 1. Fórmula para evaluación de casas censadas

$$C_T = \text{Total de casas.}$$

$$C_R = \text{Casas registradas.}$$

Resultado:

$$C_s = \frac{22 * 5pts}{22}$$

$$C_s = 5pts$$

Resultado de Sistema de direcciones basado en cuadrículas alfanuméricas para localización de puntos de interés en zonas Rurales (*SDBC_ALFA*), tal como se muestra en *Ecuación 2*, para cuyo caso lo óptimo en este ítem sería la suma de diez puntos en total.

$$SDBC = C_s + G_d$$

$$SDBC = 3pts + 5pts$$

$$SDBC = 8 \text{ puntos}$$

2.2. Uso de suelo (opcional)

Este ítem no se tuvo en cuenta, debido a que ninguna de las casas encuestadas realizaba algún tipo de cultivo, razón por la cual no se justifica la implementación

de un acueducto veredal para cultivo, y sería un gasto innecesario.

De haberse tenido en cuenta se aplicaría:

En las zonas rurales: por lo general se hace la siembra y cultivos, estos van muy de la mano de su posición geográfica y también de su climatología, pero en general tenemos una demanda de agua extra a la normalmente consumida en las zonas rurales, debido a lo afirmado anteriormente.

Por ende, es acertado intentar definir qué usos mayormente se les asignan a los suelos para llegar a poder construir una gráfica y ver las demandas que pueden llegar, por ende; sería desacertado omitir este factor ya que es de suma importancia.

Asimismo, se va a proponer una tabla donde además se seleccionará el uso del suelo y un posible recargo al servicio que se puede generar debido al uso; aparte de esto se tendrá en cuenta una posible demanda.

A continuación, se propone un cuadro diseñado por nosotros, donde el ingeniero a cargo puede empezar a construir y evidenciar las demandas de agua que presenta la zona rural para poder proponer un valor extra según el tipo de cultivo; se plantean entonces dos tablas para clima seco (Tabla 1) y clima Húmedo (Tabla 2).

Categorías	Clima seco	
	Demanda de agua	Veces de riego
	m ³ /Ha/año	Riegos por semana
Categoría 1: Almendros, Olivos, Hortalizas (ajos, cebollas, etc.)	<500	1-2
Categoría 2: Cebada, Melones, Maíz.	500-1000	2-3
Categoría 3: Almendros, Granadas, Aguacates.	1000-1500	3-4
Categoría 4: Guayabas, Aceitunas, Lentejas.	1500-2000	2-3
Categoría 5: Limones, Albaricoques, Higos.	2000-2500	3-4
Categoría 6: Nueces, Uvas pasas, Caquis	2500-3000	4-5
Categoría 7: Almendros, Pistachos, Espárragos	3000-3500	2-3
Categoría 8: Nogales, Tréboles, Avena	4000-4500	3-4

Tabla 1. Demanda de agua en clima seco.

Categorías	Clima húmedo	
	Demanda de agua	Veces de riego
	m ³ /Ha/año	Riegos por semana
Categoría 1: Fresas, Maíz dulce, Uvas.	<500	0-1
Categoría 2: Cebada, Melones, Maíz.	500-1000	1-2
Categoría 3: Piñas, Cacao, Papaya.	1000-1500	2-3
Categoría 4: Bananas, Mandarinas, Yuca.	1500-2000	1-2
Categoría 5: Papas, Duraznos, Manzanas.	2000-2500	2-3
Categoría 6: Tomates, Berenjenas, Pimientos.	2500-3000	3-4
Categoría 7: Frijoles, Pepinos, Calabazas.	3000-3500	1-2
Categoría 8: Mango, Guanábana, Guayaba.	4000-4500	1-3

Tabla 2. Demanda de agua en clima húmedo.

Al identificar en el sitio algún tipo de riego agrícola es importante clasificar e identificar la zona que está teniendo demanda de agua por riego, e identificar este subítem permitirá adjudicar un puntaje de diez puntos.

2.3. Identificación de la manera de obtención actual del agua

2.3.1. Recolección de la información

Para la evaluación de este punto se realizó una visita a 20 viviendas ubicadas en el municipio de Cóbbita, vereda San Rafael, para así poder identificar cuál es la manera en la que los habitantes del sector obtienen el agua, si bien la identificación actual de la toma de agua, y el manejo del alcantarillado en la zona rural permiten evidenciar el impacto que se está teniendo, y la condición actual de la zona en estudio. La recolección de la información se llevó a cabo mediante una planilla llenada por los estudiantes expuestos en el informe, en la cual se marcó con una (X) toda la información referente a la manera actual de obtención del agua, así como en cuanto a su estado de legalidad la información recaudada es la que se muestra en la *Tabla 3*.

 										
Información				Manera de obtención de agua actual					Estado de legalidad	
Propietarios	N° de cuenta	dirección	Fecha	Acu. Veredal	Agua subterráneas	Agua superficial	Agua lluvia	otro	legal	ilegal
Estella Molina	328	San Rafael / L8 / 1	11.07.2023	X					X	
Diana Molina	P100	San Rafael / L8 / 2	11.07.2023		X					X
Bianca Terjo	326	San Rafael / I9 / 1	11.07.2023	X					X	
Wilson Salas	P101	San Rafael / I9 / 2	11.07.2023		X					X
Jaime Salas	P102	San Rafael / I9 / 3	11.07.2023							
Luis Deavique	356	San Rafael / I9 / 4	11.07.2023	X					X	
Ofelia Aguilar	358	San Rafael / I9 / 1	11.07.2023	X					X	
Diana Aguilar	359	San Rafael / I9 / 2	11.07.2023	X					X	
Henry Castellblanco	P103	San Rafael / I9 / 3	11.07.2023							
Faviola Aunta	P104	San Rafael / H9 / 1	11.07.2023		X					X
Yuber Aunta	321	San Rafael / G10 / 1	11.07.2023	X					X	
Edilma Gonzales	325	San Rafael / G10 / 2	11.07.2023	X					X	
Carmen Garcia	365	San Rafael / G11 / 1	11.07.2023	X					X	
Miriam Torres	368	San Rafael / F10 / 1	11.07.2023	X					X	
Salomon Torres	347	San Rafael / G12 / 1	11.07.2023	X					X	
Nestor Aunta	P105	San Rafael / F11 / 1	11.07.2023			X				X
Gabriel Aunta	341	San Rafael / F11 / 2	11.07.2023	X					X	
Silvia Garcia	346	San Rafael / G14 / 1	11.07.2023	X					X	
Gilma Garcia	P106	San Rafael / G14 / 2	11.07.2023		X					X
Marina Torres	P107	San Rafael / G15 / 1	11.07.2023		X					X
Flor Garcia	316	San Rafael / G14 / 3	11.07.2023	X					X	
Nepomouseno Jimenez	310	San Rafael / I13 / 1	11.07.2023		X				X	

Tabla 3. Información recaudada en el estudio.

Nota: Aquella información respecto a la manera de obtención del agua y su estado de legalidad -que no pueda ser obtenida en las visitas realizadas- se deja en blanco.

A partir de la información obtenida se realizó la construcción de un *diagrama de torta*, el cual arroja de manera estadística la simple información sobre cuál es la manera más usada actualmente, y a su vez mediante un *diagrama de barras* se obtendrá el porcentaje de viviendas que se encuentra en estado de ilegalidad.

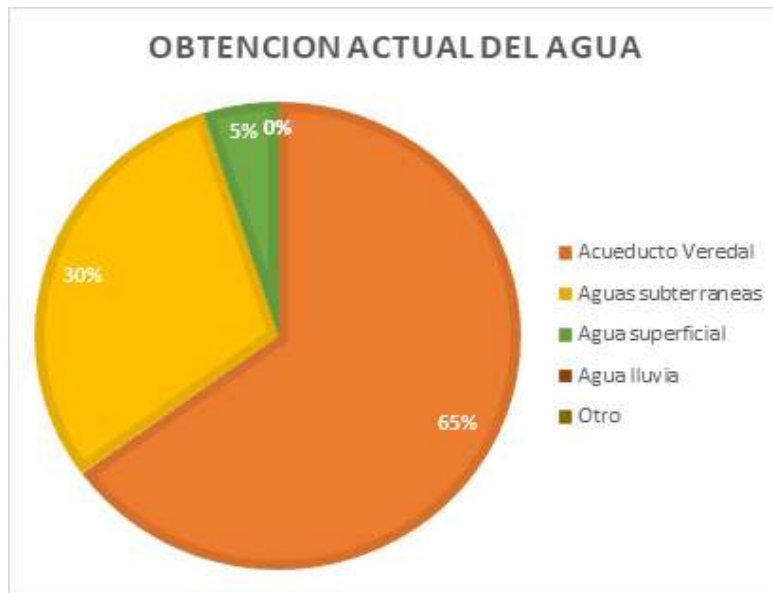


Ilustración 12. Diagrama circular de obtención de agua.

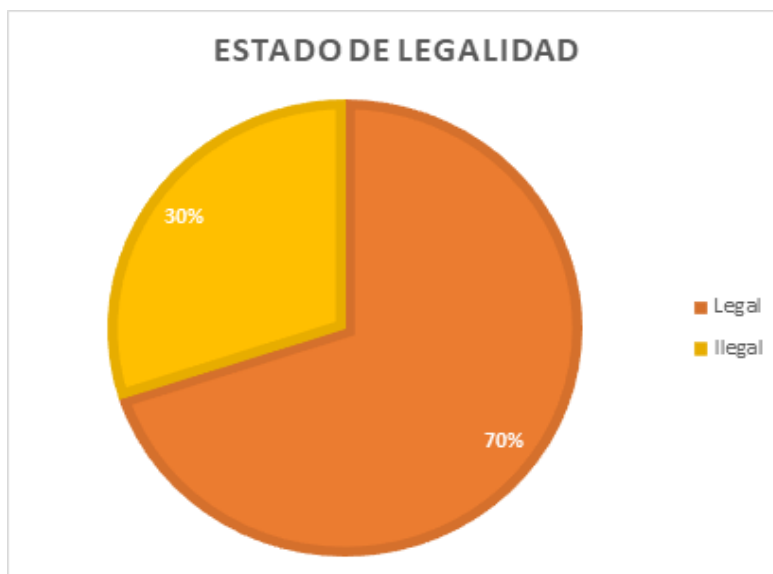


Ilustración 13. Diagrama circular del estado de legalidad.

Método calificativo.

Identificación de la manera de obtención actual del agua:

Total, casas registradas (C_T)	dirección	Puntaje (S_A)
1	San Rafael / L8 / 1	5
2	San Rafael / L8 / 2	5
3	San Rafael / J9 / 1	5
4	San Rafael / J9 / 2	5

5	San Rafael / J9 / 3	0
6	San Rafael / J9 / 4	5
7	San Rafael / I9 / 1	5
8	San Rafael / I9 / 2	5
9	San Rafael / I9 / 3	0
10	San Rafael / H9 / 1	5
11	San Rafael / G10 / 1	5
12	San Rafael / G10 / 2	5
13	San Rafael / G11 / 1	5
14	San Rafael / F10 / 1	5
15	San Rafael / G12 / 1	5
16	San Rafael / F11 / 1	5
17	San Rafael / F11 / 2	5
18	San Rafael / G14 / 1	5
19	San Rafael / G14 / 2	5
20	San Rafael / G15 / 1	5
21	San Rafael / G14 / 3	5
22	San Rafael / I13 / 1	5

Tabla 4. Evaluación por vivienda.

Identificación del estado de legalidad:

Total, casas registradas (C_T)	Dirección	P u n t a j e (S_A)	Puntaje (E_L)
1	San Rafael / L8 / 1	5	5
2	San Rafael / L8 / 2	5	5
3	San Rafael / J9 / 1	5	5
4	San Rafael / J9 / 2	5	5
5	San Rafael / J9 / 3	0	0
6	San Rafael / J9 / 4	5	5
7	San Rafael / I9 / 1	5	5
8	San Rafael / I9 / 2	5	5
9	San Rafael / I9 / 3	0	0
10	San Rafael / H9 / 1	5	5
11	San Rafael / G10 / 1	5	5
12	San Rafael / G10 / 2	5	5
13	San Rafael / G11 / 1	5	5
14	San Rafael / F10 / 1	5	5
15	San Rafael / G12 / 1	5	5
16	San Rafael / F11 / 1	5	5
17	San Rafael / F11 / 2	5	5
18	San Rafael / G14 / 1	5	5
19	San Rafael / G14 / 2	5	5
20	San Rafael / G15 / 1	5	5
21	San Rafael / G14 / 3	5	5
22	San Rafael / I13 / 1	5	5
	Puntaje ítem	100.0	100.0

Tabla 5. Media.

Resultado:

$$Pt = S_A + E_L$$

Ecuación 2. Puntaje por casa

Pt=Puntaje de cada una de las casas registradas

$$\mu = \frac{Pt\ n + Pt\ n1 \dots}{C_T}$$

Ecuación 3. Puntaje total.

P_{tn} = Puntaje casa n C_T = Total casas registrada

$P_t = 9.1$ puntos

2.4. Calidad del servicio

2.4.1. Recolección de la información

Evaluar la calidad del servicio de acueducto prestado por el municipio es fundamental para beneficiar a aquellas personas que cuentan con un servicio de mala calidad, el cual no cubre de manera óptima las necesidades a las que se encuentra expuesta la comunidad. Por tal razón se implementó una encuesta de satisfacción, mediante la cual se buscó tener un acercamiento respecto al servicio de acueducto del municipio, estableciendo las condiciones y calidad del recurso que es suministrado a la población, y se realizó esto a través del formato.

gobernanza del agua en cuencas rurales.
Índice GWA

SOLICITUD DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS.

Fecha de la solicitud: _____

SERVICIO SOLICITADO (MARQUE CON UNA X):

Acueducto _____	Alcantarillado _____	Aseo _____
Uso del servicio _____	Residencial _____	Comercial _____
	Industrial _____	Oficial _____

DATOS DEL SOLICITANTE:

Nombre y apellido _____

Cédula o Nit _____

Dirección _____

Barrio o sector _____

Teléfono y/o celular _____

DATOS DE LA EMPRESA:

Número del contador _____

código del suscriptor _____

Marca del contador _____

Fecha de instalación _____

ESPACIO PARA LLENAR PLANEACIÓN.

Licencia de contador N° _____

Número de predio _____

Estrato _____

VoBo Planeación municipal. _____

Solicitante _____

VoBo Fontanero _____

funcionario encargado _____

Parte 1

Parte 2

Parte 3

Parte 4

SHWR
School of Technology and Water
Resource Management

UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS
TUNJA

Ilustración 14. Formato de diligenciamiento por vivienda.

Lo cual fue organizado en la base de datos tal como se muestra en la *Tabla 6*, la cual recopila la información tomada:

¿Usted cuenta con servicio de acueducto?	Escriba su nombre a continuación	A continuación, escriba la vereda o sector del cual hace parte	¿Cuanto tiempo al día tiene servicio de acueducto?	¿Hace cuanto tiempo cuenta con la prestación del servicio de acueducto?	¿En alguna ocasión ha realizado un reclamo a la entidad prestadora del servicio de acueducto?	¿Con qué frecuencia presenta problemas en el servicio de acueducto?	¿A través de qué medio realizó el reclamo?	¿Cuál fue el motivo del reclamo?	¿Su solicitud y/o queja fue resuelta?	¿Considera que la tarifa de su factura es adecuada?	¿Cómo califica la calidad del servicio de acueducto que le es prestado?
Si	Estella Molina	San Rafael	24 horas	2 a 4 años	Si	Ocasionalmente	Presencial	Rotura	Si	Si	Bueno
Si	Blanca Tenjo	San Rafael	Menos de 12 horas	Mas de 8 años	Si	Ocasionalmente	Via telefonica	Falta de suministro	Si	Si	Bueno
Si	Luis Deavique	San Rafael	Menos de 12 horas	Mas de 8 años	Si	Ocasionalmente	Presencial	Falta de suministro	Si	Si	Bueno
Si	Ofelia Aguilar	San Rafael	Menos de 12 horas	Mas de 8 años	Si	Ocasionalmente	Via telefonica	Falta de suministro	Si	Si	Bueno
Si	Diana Aguilar	San Rafael	24 horas	Mas de 8 años	Si	Ocasionalmente	Via telefonica	Falta de suministro	Si	Si	Bueno
Si	Yuber Aunta	San Rafael	24 horas	2 a 4 años	Si	Ocasionalmente	Presencial	Falta de suministro	Si	Si	Bueno
Si	Edilma Gonzales	San Rafael	Menos de 12 horas	Mas de 8 años	Si	Ocasionalmente	Via telefonica	Falta de suministro	Si	Si	Bueno
Si	Carmen Garcia	San Rafael	24 horas	Mas de 8 años	Si	Ocasionalmente	Presencial	Costo en la factura	Si	Si	Regular
Si	Miriam Torres	San Rafael	Menos de 12 horas	Mas de 8 años	Si	Ocasionalmente	Via telefonica	Falta de suministro	Si	Si	Bueno
Si	Salmon Torres	San Rafael	Menos de 12 horas	Mas de 8 años	Si	Ocasionalmente	Via telefonica	Rotura	Si	Si	Regular
Si	Gabriel Aunta	San Rafael	Menos de 12 horas	Mas de 8 años	Si	Ocasionalmente	Presencial	Falta de suministro	Si	Si	Bueno
Si	Silvia Garcia	San Rafael	24 horas	Mas de 8 años	Si	Ocasionalmente	Via telefonica	Falta de suministro	Si	Si	Bueno
Si	Flor Garcia	San Rafael	12 horas	2 a 4 años	Si	Ocasionalmente	Via telefonica	Falta de suministro	Si	Si	Regular

**Tabla 6. Calidad del servicio.
Método calificativo.**

Identificar la calidad del servicio:

$$E_s = \frac{C_R * 10pts}{C_T}$$

Ecuación 4. Calidad del servicio:

$$C_T = \text{Total de casas.}$$

$$C_R = \text{Casas registradas.}$$

$$E_s = \frac{20 * 10pts}{22}$$

$$E_s = 9.1$$

2.5. Cálculo final

El cálculo se tramita basado en la metodología inicial de administración del recurso hídrico, propuesta para el cálculo *GWI*, en el cual se evalúan las cuencas rurales según la disposición de recursos hídricos y ambientales.

Por ende, el cálculo involucra los cuatro sub-ítems presentados previamente, tal como se muestra en la *Ecuación 5*, arrojando un resultado sobre este ítem y asumiendo como puntaje favorable 10 y muy desfavorable 1 (Carlos C., Castellet E. & Soler D.)

Cálculo final:

No se completa el acueducto de riego.

$$\text{Calidad de la información} = \frac{SDBC + PT + CS}{3}$$

$$\text{Calidad de la información} = \frac{8 + 9.1 + 9.1}{3}$$

$$\text{Calidad de la información} = 8.3 \text{ puntos}$$

3. CONCLUSIONES

Luego de poner en marcha la metodología planteada para la evaluación de la Calidad de la información y del sistema de gestión del conocimiento, se pudo percibir que es de suma importancia implementar un nuevo acueducto que sea capaz de suplir las necesidades básicas de cada uno de los habitantes del sector San Rafael, debido a que de acuerdo con la información obtenida este cuenta con más de 20 años y presenta fallas concurrentes en el servicio, lo cual afecta notoriamente a la población. A su vez la gestión respecto a la cobertura del servicio debe presentar mejoras, si bien un gran porcentaje de los habitantes no se ven beneficiados con la prestación del servicio de acueducto.

Es importante un manejo adecuado y georreferenciado de los servicios de acueducto y saneamiento, ya que cumplen una función importante para conocer la situación actual de las veredas, que permitirá conocer el estado actual del servicio. Como se mencionó anteriormente, la zona rural también impulsa un gran desarrollo en el país, mientras el mal acceso y control de la información entorpece el desarrollo del país.

Se concluye que el servicio de la zona rural de Cómbita carece de una base

de datos o una información adecuada de las cuentas de servicio inscritas en el acueducto veredal; asimismo, se presentan altos índices de consumo de agua obtenida mediante la explotación de fuentes superficiales y subterráneas, fenómeno que puede ser causante de un desequilibrio ambiental de la zona de estudio, razón por la cual es importante llevar un control del estado de obtención de agua de las casas que se encuentran en la vereda.

Adicionalmente, se evidenció que la zona rural carecía de un censo poblacional, y de igual manera de información como planos donde que contengan vías y demás; la vereda no es aspirante ser productora de alguna siembra en especial, siendo los cultivos no muy extensos y con mayor proporción de papa pero no en potencial de siembra.

REFERENCIAS

Fernando, C.; Ospina, A.; Alberto, J., & Álvarez, G. (2017). "Los Acueductos como medio para potencializar el desarrollo en las comunidades rurales en Colombia". Retrieved from: http://uniminuto_dspace.scimago.es:8080/bitstream/10656/5433/1/TEGP_SuazaArboledaUrielAlonso_2017.pdf.

- Agua limpia y saneamiento: La Agenda 2030 en Colombia - Objetivos de Desarrollo Sostenible. (2018). Retrieved September 28, 2023, from *Agua limpia y saneamiento - La Agenda 2030 en Colombia - Objetivos de Desarrollo Sostenible* website: <https://ods.dnp.gov.co/es/objetivos/agua-limpia-y-saneamiento>.
- Moran, M. (2023, September 15). "Agua y saneamiento - Desarrollo Sostenible". Retrieved September 28, 2023, from: Desarrollo Sostenible website: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Luisa, M., Rodríguez, M., Carlos, J., & Rodríguez, H. (n.d.). Sistemas de información geográfica. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/5717/571760747003/html/1>.
- Andrés, G., & Ríos, J. (2016.). Programa de manejo integral de acueductos rurales, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales, Programa de Administración del medio ambiente Pereira, 2008. Retrieved from: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/b83d86d5-eba7-472f-ab20-f5816a8b8d8e/content>
- IDEAM. (n.d.). Guía Metodológica de la Operación Estadística: Variables Meteorológicas. Código: M-gdi-m-g002, Anexo 2: Definiciones del Catálogo Nacional de Estaciones, Categorías de las estaciones. Recuperado de <http://archivo.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/M-GDI-M-G002+GUIA+METODOL%C3%93GI+DE+LA+OPERA+C I % C 3 % 9 3 N + E S T A - D I S T I C A + V A R I A B L E S + M E T E O R O L % C 3 % 9 3 G I C A S . pdf/16ed20ac-dd40-4e37-a296-632e6e6d83fe1>.
- Carlos, C. A., Bladé i Castellet, E., & Soler, D. G. (2006). Administración del recurso hídrico: gobernanza del agua en cuencas rurales. Índice GWI. Retrieved September 28, 2023, from <https://www.amazon.com/Administraci%C3%B3n-del-recurso-h%C3%ADrico-gobernanza/dp/6200397090>.
- Zamudio Rodríguez, C. (2012). Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: Entre avances y retos. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Vista de Seguimiento en la gestión del recurso hídrico para cuencas rurales en Boyacá (Colombia). (2023). Retrieved September 28, 2023, from: *Acofipapers.org* website: <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/3006/2261>.
- Datos Abiertos Cartografía y Geografía / Geoportal. (2023). Retrieved September 29, 2023, from: *Igac.gov.co* website: <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia>.

Análisis Comparativo de las Propiedades Mecánicas del Concreto Celular: una Perspectiva Aplicativa

Comparative Analysis The
Of The Mechanical
Properties Of Cellular Concrete:
An Application Perspective

Ballesteros B., Milton Fernando

Universidad Santo Tomás
milton.ballesteros@usantoto.edu.co
Master en Ingeniería del Terreno

Chaparro R., Andrés Esteban

Universidad Santo Tomás
andres.chaparror@usantoto.edu.co
Ingeniero Civil

Martínez G. Sebastián

Universidad Santo Tomás
sebastian.martinezg@usantoto.edu.co
Ingeniero Civil

Resumen

Este artículo caracteriza un material moderno y con grandes beneficios: el *concreto celular*, cuya caracterización se hace mediante diferentes propiedades mecánicas y estructurales de acuerdo con las investigaciones experimentales realizadas a nivel mundial. La resistencia a compresión, el módulo de elasticidad, la relación de Poisson y la densidad, son los parámetros elegidos para desarrollar la caracterización del material. Se realiza un análisis comparativo entre seis diferentes especímenes experimentales preparados en diferentes investigaciones para relacionarlos así con el concreto estructural, y luego realizar un análisis aplicativo del *concreto celular*, para finalmente comentar sobre el uso de este en Colombia. Como resultados se obtuvo que el *concreto celular* es un material ligero y su densidad varía entre 400 kg/m^3 y 1900 kg/m^3 , dependiendo de su resistencia a emplear y sus materiales; presenta algunos beneficios en relación con el concreto estructural y su utilización debe ser estudiada de acuerdo con el problema ingenieril que se presente. Debido a su baja densidad no presenta resistencias mecánicas altas; sin embargo, el material responde muy bien a la penetración y a la densificación.

Palabras clave: Concreto celular, Concreto estructural, Materiales de construcción, Propiedades mecánicas.

Abstract

This article provides an in-depth characterization of a modern material with significant advantages: cellular concrete. The characterization is based on diverse mechanical and structural properties, aligning with experimental research conducted globally. Key parameters chosen for material characterization include compressive strength, elastic modulus, Poisson's ratio, and density. A comparative analysis is conducted among six distinct experimental specimens prepared in various research studies to establish correlations with structural concrete. Following this, an applicative analysis of cellular concrete is conducted, followed by insights into its usage in Colombia. The results reveal that cellular concrete is a lightweight material, with its density varying between 400 kg/m^3 and 1900 kg/m^3 , contingent upon the desired strength and constituent materials. The material demonstrates several benefits compared to structural concrete. However, its application must be carefully studied concerning the specific engineering challenge at hand. Despite its low density, it may not exhibit high mechanical strength; nevertheless, the material exhibits excellent resistance to penetration and densification, enhancing its overall appeal.

Keywords: Cellular concrete, Structural concrete, Construction materials, Mechanical properties.

Para citar este artículo: Ballesteros B., Milton Fernando; Chaparro R., Andrés Esteban; Martínez G., Sebastián. "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto celular: Una perspectiva aplicativa" In L'Esprit Ingenieux. Vol. 13-1, pp. X-X.

1. INTRODUCCIÓN

El concreto celular fue patentado por Axel Eriksen en 1923 (Amran *et al.*, 2022) como una mezcla de cemento *Portland*, agregados pétreos, agente espumante y agua. De acuerdo con (Binod *et al.*, 2017), uno de los retos ingenieriles es mejorar las propiedades mecánicas de resistencia del material (resistencia a compresión, módulo de elasticidad, relación de Poisson), mejorar la capacidad de instalación, la consistencia y durabilidad de este.

El concreto celular presenta una estructura porosa en donde los vacíos internos del material no se conectan entre sí, y en consecuencia es un material ligero (Yahya y Amran, 2016); así pues, se caracteriza por ser un material ideal para usar en procesos ingenieriles. La ingeniería geotécnica es uno de los campos en donde más se ha usado este material como una solución eficiente a algunos problemas geotécnicos en situaciones específicas que requieran utilizar un material liviano debido a su baja densidad $<2300 \text{ kg/m}^3>$, a su fluidez extrema y capacidad para llenar cavidades de cualquier tamaño y forma, relacionando así su menor costo con respecto a la mayoría de las otras soluciones (Amran *et al.*, 2022). Como consecuencia, la investigación del concreto celular se ha desarrollado profundamente a nivel global enfocando la investigación a las propiedades mecánicas y estructurales del material de referencia: la resistencia a compresión, el aislamiento térmico, aislamiento acústico, su estructura interna de poros, densidad húmeda, la vida útil y durabilidad del material, atributos que son un ejemplo de las propiedades que más se han estudiado (Xu, Liu, Wang, Wen, y Yu, 2019).

Este artículo asume como objetivo determinar los principales valores mecánicos del material relacionando el módulo de elasticidad, la relación de Poisson, la resistencia a compresión máxima y el peso unitario como los principales índices mecánicos y estructurales del material, de acuerdo con los resultados experimentales de varios investigadores (Alam y Hu, 2023; Mugahed Amran *et al.*, 2020 y Song y Lange, 2020), para así realizar un análisis comparativo entre las diferentes muestras del *concreto celular* y relacionarla con el *concreto estructural*. También, presenta una descripción de algunos usos aplicativos ingenieriles en los que este material puede resultar una solución eficiente, a partir de una breve reseña histórica en Colombia del uso del material.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

En este capítulo se realizará una descripción con respecto a las definiciones principales contempladas para el desarrollo del documento de investigación.

2.1. Concreto

El concreto, también conocido en otros países como *hormigón*, es una mezcla de material aglutinante, agregados pétreos y agua que conforman una roca artificial capaz de soportar grandes esfuerzos (Zamora Terrones, 2015). Adicionalmente, se puede agregar en la mezcla aditivos o minerales para cambiar las propiedades físicas o estructurales del material (Sánchez de Guzmán, 2001) y mejorar la resistencia a la flexión y a la compresión en un rango del 25% al 35% (Schenk y Guest, 2011; Zhang, 2019; Osorio, Vélez y Ciró, 2007; Valore, 1954; Zamora, 2015).

En cuanto a la estructura del concreto estructural es heterogénea y compleja, de acuerdo con (Metha, 1998) se pueden distinguir varias fases del material aglutinante y de los agregados pétreos. Al revisar la sección transversal del concreto, se evidencia una estructura densa y sin cavidades porosas (cf. Figura 1 a y b). La pasta de cemento y agua cubre completamente cada partícula de agregado y llena todos los espacios entre las partículas.

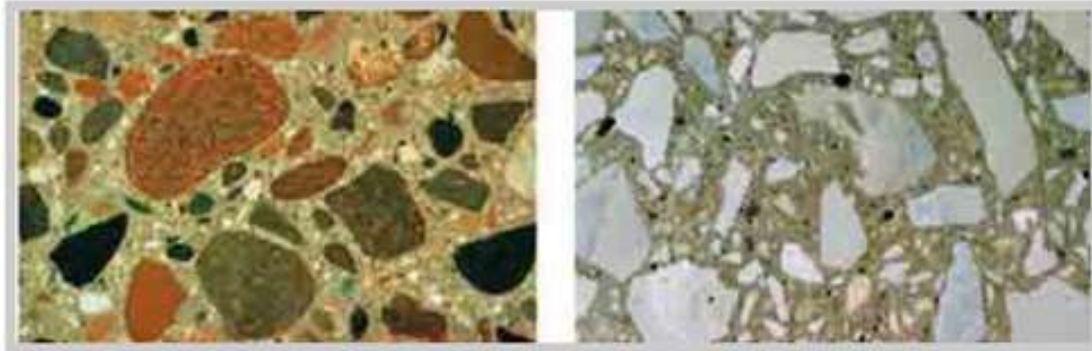


Figura. 1. Sección transversal del concreto A y B. Fuente: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/la-calidad-del-concreto-depnde-de-la.html>. Nota: A) Sección transversal del concreto endurecido, confeccionado con grava arredondeada de silicio (izquierda) y B) Calcéreo triturado (derecha).

Por su parte, la estructura de concreto celular está compuesta básicamente por material aglutinado y vacíos internos o poros que no se interconectan entre ellos. Sin embargo, el concreto celular no posee el tradicional agregado grueso o agregado pétreo y en vez de su estructura posee poros esféricos con forma regular, que marca la diferencia con el concreto ordinario (Zhou *et al.*, 2023).

En la estructura del *concreto celular*, usando agentes expansivos modernos, los poros crecen de forma escalonada y paulatina (Liu *et al.*, 2023). No obstante, el concreto celular debe cumplir con los parámetros ingenieriles y aprovechar al máximo sus propiedades. (Zhou *et al.*, 2023)

Más aún, las propiedades mecánicas es uno de los problemas que conviene solucionar en su popularización y aplicación. Corrientemente es arduo obtener el proceso de concreto celular a través de la mecánica ordinaria, como también es difícil que los métodos de análisis teóricos revelen la naturaleza de sus propiedades mecánicas desde el nivel mesoscópico (Jason, Huerta, Pijaudier-Cabot, y Ghavamian, 2006).

Al revisar la sección transversal del concreto celular, se evidencia una estructura porosa; no obstante, los poros no se interconectan entre sí (cf. Figura 2); por tanto, el comportamiento del concreto celular a compresión, flexión, penetración y cargas de impacto es un parámetro esencial para una valoración integral en orden a evaluar propiedades mecánicas en aplicaciones con mayor porosidad y menor densidad del concreto celular.

La resistencia a compresión del hormigón celular disminuye (Chen, Wu, y Zhou, 2013), y junto al módulo de elasticidad depende de los huecos de aire y la densidad.



Figura. 2. Sección transversal del concreto celular, matriz celular.
Fuente: (Thienel, Haller, y Beuntner, 2020).

Bajo esfuerzos de compresión, el *concreto celular* experimenta una carga máxima seguida de un aplastamiento, y luego presenta una meseta con cargas más bajas, donde los vacíos siguen colapsando y finalmente conducen a la densificación y falla del concreto (Song y Lange, 2020).

De acuerdo con Valore (1954), la relación de resistencia a la flexión y a la compresión para gamas de concreto celular puede ser del 25% al 35%, menor a la del concreto convencional. Por su fragilidad y baja resistencia a la flexión, el concreto celular presenta una falla abrupta sin mucha resistencia bajo carga de flexión (Flores-Johnson y Li, 2010).

Asimismo, la resistencia del concreto a la flexión y a la compresión depende directamente de la densidad del material, ya que una mayor densidad aumenta la resistencia del material (Falliano *et al.*, 2019).

No obstante, el *concreto celular* es un material que presenta algunos beneficios respecto de otros materiales. Por ejemplo, ostenta excelentes propiedades térmicas y acústicas (Liu *et al.*, 2023). También posee una excelente capacidad de absorción, que lo hace viable a utilizar en sistemas de contención y rampas de escape (Alam y Hu, 2023). Asimismo, la baja densidad y alta fluidez lo convierten en un material de construcción favorable en relación con los costos de manipulación, colocación y construcción (Abdigaliyev y Hu, 2019).

La conductividad térmica se puede definir como la capacidad por la cual se transfiere calor por conducción a través de una unidad de área de sección transversal de un material (Ratna, 2012). Es decir, es la medida de la facilidad con la que un material permite que el calor se transmita a través de él. De hecho, los materiales con alta conductividad térmica permiten que el calor se propague rápidamente a través de ellos, mientras que los materiales con baja conductividad térmica tienden a ser aislantes y no permiten que el calor se transmita fácilmente.

Por tanto, (Mugahed Amran *et al.*, 2020) hicieron ensayos experimentales de conductividad térmica con base en la norma de ensayo *ASTM C177*, contexto según el cual los autores concluyen que la conductividad térmica depende del volumen de vacíos existentes, ya que el aire presenta muy baja conductividad térmica (entre 0.56

y 0.64 W/m). Asimismo, los resultados experimentales muestran que la conductividad térmica disminuye al aumentar el contenido de espuma y cambiar el porcentaje de vacíos presentes en el espécimen (Wong, 2007). Li, Huang, Zhu, Tang y Liu, (2020) descubrieron que la conductividad térmica del concreto celular es proporcional a la del gas espumante que se utiliza para su fabricación. Además, con el envejecimiento, la conductividad térmica del *concreto celular* cuyo gas espumante no es aire se acerca gradualmente a la de aquellos que utilizan aire como gas espumante en la etapa inicial. Así mismo, Li *et al.* (2020) concluyen que usar gas espumante o cemento con menor conductividad térmica para preparar la mezcla celular puede ser eficaz para mejorar el aislamiento térmico del hormigón celular.

Por otro lado, la evaluación de las cualidades acústicas se basa principalmente en la relación entre el volumen de los poros interconectados y el volumen total de los poros (Laukaitis y Fiks, 2006). Los resultados de laboratorio muestran que el concreto poroso tal como el concreto celular puede absorber eficazmente la acústica y cumplir con los estándares mecánicos de resistencia al viento. Además, la granulometría del agregado grueso combinado tiene un efecto significativo sobre el rendimiento de la absorción acústica (Wang y Zhao, 2015).

Por su parte, Stolz, Boluk y Bindiganavile (2018) realizaron ensayos para obtener las propiedades acústicas del concreto celular, añadiendo ceniza activada de acuerdo con la norma *ASTM C384-04*, de los que concluyeron que el concreto celular con ceniza activada muestra una amplia absorción sonora, con un coeficiente de absorción menor a 0.1.

Más aún, el *concreto celular* también se ha aplicado ampliamente para la absorción de impactos estructurales (Zhang *et al.*, 2020). En consecuencia, Alam y Hu (2023) realizaron un estudio en donde evaluaron las propiedades o la capacidad de absorción del concreto celular en una sola capa y un sistema de multicapas, con el fin de verificar la capacidad de absorción del concreto celular. En este estudio se utilizó hormigón celular con tres densidades diferentes (400 kg/m³, 641 kg/m³ y 881 kg/m³) y concreto celular multicapa, que consiste en unir las tres densidades de la capa superior a la inferior por la más baja a la mayor densidad, respectivamente.

Según los ensayos de (Alam y Hu, 2023), la capacidad de absorción del concreto celular varía entre 340.3 KJ/m³ y 1571.4 KJ/m³ (cf. Tabla 1). Finalmente, los autores concluyen que la muestra de multicapa de concreto celular exhibió mayor absorción de energía que la muestra de hormigón celular monocapa de mayor densidad.

Al mismo tiempo, el concreto celular es económicamente viable. A primera vista, utilizar hormigón celular es más caro que utilizar concreto convencional. Sin embargo, es liviano, lo que permite ahorrar costos (Izquierdo y Ortega, 2017) y, al reducir las cargas muertas en el diseño, se traduce en ahorro en cimentaciones y refuerzos (Amran, Farzadnia y Ali, 2015).

Tabla 1. Resultados obtenidos del ensayo de impacto.				
Identificación superficial resultante de la prueba de impacto				
Id	Identificación Profundidad (mm)	Identificación Diámetro (mm)	Identificación Volumen (mm ³)	Energía Absorbida (KJ /m ³)
CC400	15.20	84.10	300.01	458.80
CC641	8.10	76.40	233.99	611.80
CC881	5.70	62.90	130.87	1094.00
ML881	16.90	85.10	343.22	443.80
FRCC400	14.10	84.80	319.70	447.80
FRCC641	5.90	57.90	101.70	1407.90
FRCC881	3.60	55.80	91.11	1571.40
MLFRCC	15.40	92.90	420.67	340.30

Fuente: Autores (tomado de Alam y Hu, 2023).

Nota: CC400, Concreto celular densidad de 400 kg/m³. CC641, Concreto celular densidad de 641 kg/m³ CC881, Concreto celular densidad de 881 kg/m³. MLCC, *multilayer cellular concrete*, FRCC 400 *fiber-reinforced*- Concreto celular densidad de 400 kg/m³, FRCC 641 *fiber-reinforced*- Concreto celular densidad de 641 kg/m³, FRCC 881 *fiber-reinforced*- Concreto celular densidad de 881 kg/m³, MLFRCC, FRCC 641 *fiber-reinforced-multilayer* Concreto celular.

Por otro lado, los bloques de concreto celular (cf. Figura 3) se prefieren en la construcción de edificios con estructura para mampostería de relleno, ya que el bloque de concreto celular es aproximadamente 40 % más ligero que el ladrillo de arcilla convencional o el bloque de hormigón macizo (Bhosale, Zade, Sarkar y Davis, 2020).

Otros investigadores como Kumar *et al.* (2021) han trabajado en usar desechos agrícolas en busca de un concreto celular ligero y resistente, usando estos materiales como agregados livianos; se han usado materiales como cáscara de palma de aceite, *clinker* de aceite de palma y cáscara de coco.



Figura. 3. Bloque en concreto celular.

Fuente: <https://barracacentral.com.uy/producto/bloque-retak-hcca/>

Materias primas usadas en el concreto celular: ultraliviano como concreto de ingeniería especial a base de cemento Portland, cenizas volantes, arena, agua y materiales preformados y espuma en diferentes cantidades; todos estos componentes se combinan para conformar un material solidificado con una densidad seca al horno máxima de 400 kg/m² (Amran *et al.*, 2022).

Cemento Portland: se utiliza como material conglomerante (Amran *et al.*, 2022). Arena: se usa como material de agregado fino también conocido como llenante (Kim, Jeon y Lee, 2012).

Filler: en concretos celulares con fines no estructurales, que tradicionalmente se relacionan con concretos de muy baja densidad, no se maneja agregado; en contraste, se implementan rellenos para minimizar el uso de cemento sin agregar peso. En la fabricación de concretos aireados estructurales (densidades superiores a 1200 kg/m³), se utilizan áridos o rellenos de cualquier procedencia. Los residuos industriales con actividad puzolánica son los materiales de relleno más utilizados. Las cenizas volantes son uno de los sobrantes más usados para sustituir los áridos naturales (Narayanan y Ramamurthy, 2000).

Agua: necesaria para activar la reacción química del cemento. La hidratación del cemento es el proceso por el cual el cemento -al mezclarse con el agua- reacciona y empieza a producir estructuras cristalinas, que a su vez lo transforman en un material aglutinante.

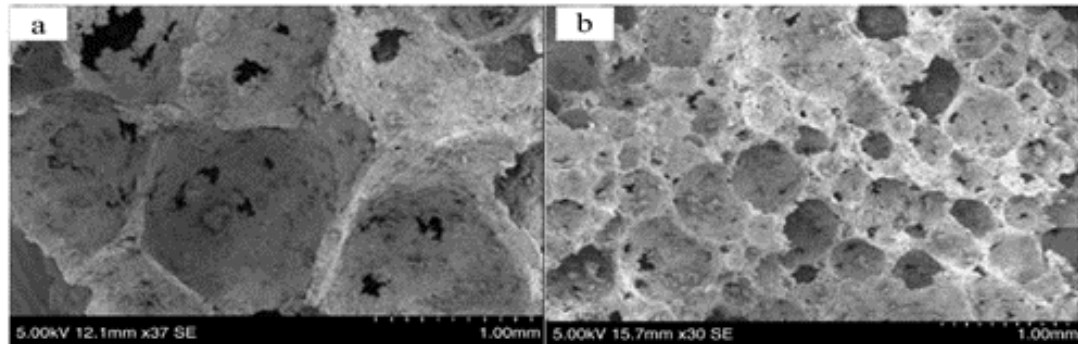
Agente espumante: las técnicas de espumación química y mecánica se utilizan comúnmente en la tecnología del concreto celular para desarrollar materiales de construcción livianos (Hajimohammadi, Ngo y Mendis, 2018).

La espuma es útil para regular la densidad y la porosidad del concreto celular al incluir burbujas de aire; además, los agentes espumantes controlan las características, como la densidad, la distribución de los poros y el rendimiento de resistencia (Amran *et al.*, 2022). Existen varios métodos para la creación de espuma, entre ellos el preespumado. Su proceso exige el uso de una herramienta de aire comprimido para producir burbujas de aire preespumado, que pueden ser incorporadas a una mezcla fresca de compuestos cementosos, dando lugar a una estructura celular ya que es muy importante el agente espumante que se use (Panesar, 2013). El método de preespumado, en el que se utiliza una espuma acuosa estable y una mezcla base se elaboran por separado y luego se mezclan adecuadamente (Amran *et al.*, 2020).

La espuma producida durante el proceso de mezcla conduce a una estructura porosa en el compuesto cementoso resultante (Amran *et al.*, 2022). Muchos agentes espumantes sintéticos a base de proteínas son muy populares, aunque también se pueden utilizar detergentes, resinas adhesivas y saponinas (Amran *et al.*, 2022; Raj, Sathyan, y Mini, 2019).

Por su parte, los agentes espumantes se producen a partir de proteínas hidrolizadas aprovechables de forma natural. El mecanismo de acción de un agente espumante es su descomposición, ya que produce burbujas. Las pequeñas moléculas hidrofóbicas se generan al romperse los enlaces de las moléculas grandes. Este procedimiento disminuye la tensión superficial y genera interfaces de burbujas de aire (Amran *et al.*, 2022). La figura 4 presenta el efecto formado por dos diferentes agentes espumantes (proteica y sintética): en la zona (a) se evidencia que la cantidad

de espuma aumenta al incrementar la concentración de aire, independientemente del tipo de espuma utilizada. En la zona (b) se evidencia que la densidad no parece verse afectada por el tipo de espuma que se utiliza. Por lo cual, en la Figura 4 se concibe el efecto de dos espumas desiguales (proteica y sintética) sobre la consistencia y la densidad (Amran *et al.*, 2022). No obstante, estudios como Amran (2020) aseguran que los agentes a base de proteínas hidrolizadas permiten una estructura de poros fuerte y cerrada, lo que resulta en una red estable de espacios vacíos. Por el contrario, Falliano, De Domenico, Ricciardi, y Gugliandolo (2018) afirman que los agentes espumantes sintéticos crean muestras de concreto celular espumado más estables que los agentes espumantes proteicos a una proporción fija de agua / cemento.



**Figura. 4. A) Representación aumentada de la muestra de espuma;
B) Efecto formado por una proteína y un agente sintético.**

Fuente: Amran *et al.* (2022).

Clases de concreto celular: se clasifica normalmente por su peso unitario o densidad, que normalmente varía entre 400 kg/m^3 a 1850 kg/m^3 (Amran *et al.*, 2015); en términos de resistencia se clasifican en tres tipos: de baja resistencia ($0.7\text{--}2.0 \text{ MPa}$), moderada resistencia ($7\text{--}14 \text{ MPa}$), y concretos estructurales ($17\text{--}63 \text{ MPa}$) (Alwarded, Jaeel, y Ismail, 2020), y las densidades de estas clases de concreto se encuentran en los siguientes rangos: 300 y 800 kg/m^3 de baja resistencia, 800 y 1350 kg/m^3 de moderada resistencia, y $1350\text{--}1920 \text{ kg/m}^3$ para concretos estructurales. Concreto celular autoclave: es un tipo de hormigón ligero producido al infundir burbujas de gas en el concreto fresco, y luego curando el concreto en una cámara de curado con vapor a alta presión, lo que se conoce como autoclave (Amran, Alyousef, Alabduljabbar, Alrshoudi, y Rashid, 2019). Este proceso se usa generalmente para crear bloques de concreto celular, ya que la estructura celular desarrollada es uniforme y contiene espacios de aire en el rango de 0.01 a 1.01 mm (Yahya y Amran, 2016). Comparado con el concreto convencional, el concreto celular autoclave ofrece mejor resistencia térmica y menor densidad (Cong, Lu, Yao, y Wang, 2016).

Concreto celular espumado: es una sustancia de muy baja densidad que incluye el 75% de vacíos en el interior de su estructura (Hashim y Tantray, 2021). El concreto espumado es ideal para llenar huecos superfluos, como tanques de combustible abandonados, sistemas de alcantarillado, tuberías y alcantarillas, especialmente en áreas con acceso limitado (Kadela, Kozłowski, y Kukiełka, 2017).

Estudios han demostrado que si la técnica utilizada para crear concreto celular espumado tuviera una densidad de menos de 400 kg/m^3 y una conductividad térmica de menor a la cantidad de 0.10 W/mK , la resistencia del concreto celular espumado sería insuficiente, lo que resultaría en frágil concreto (Cuce, Cuce, Wood, y Riffat, 2014).

Concreto celular con *poliestireno*: Las investigaciones iniciales tuvieron como objetivo estudiar el concreto con poliestireno y así explotar sus propiedades como peso ligero, baja conductividad térmica y baja absorción de agua en comparación con otros hormigones ligeros. Poliestireno expandido posee muchas propiedades tales como: muy ligero (densidad en el rango de 10 a 50 kg/m³), conductividad térmica muy baja (aproximadamente 0,04 W/mK a 27 °C) y casi impermeable. Se añade al hormigón para reducir su peso y masa térmica (Ali, Fahmy, AbouZeid, Shaheen, y Mooty, 2020). El concreto celular con poliestireno ha sido usado en muchas obras ingenieriles, y como subbase en un pavimento por la facilidad de configuración y disponibilidad (Perry, Bischoff, y Yamura, 1991).

Concreto celular con agregados reciclados: La reutilización y el reciclaje de residuos de hormigón pueden ser estrategias exitosas para lograr la sostenibilidad a largo plazo. El concreto reciclado se utiliza para reemplazar el agregado grueso natural, que se recolecta, tritura y reutiliza eficientemente para lograr la sostenibilidad (Abdel-Hay, 2017).

Sin embargo, las características solicitadas del concreto celular establecen el tipo de agregado liviano a utilizar. Por consiguiente, se puede utilizar un agregado ligero y débil cuando existen requisitos estructurales mínimos, pero un excelente aislamiento térmico (Herki, 2020).

Concreto estructural aligerado: el EURO-código, contiene los requerimientos de diseño para concreto celular aligerado, así como sus agregados (National Standards Authority of Ireland, 2005). Si la densidad es inferior a 2200 kg/m³, se clasifica como hormigón ligero (asumiendo la densidad del hormigón normal entre 2.300 y 2.400 kg/m³) y la densidad del árido utilizado debe ser inferior a 2.000 kg/m³ (Bremner, 2008).

Técnicas de producción de concreto celular: El hormigón celular o concreto celular es similar al hormigón autocompactante en el sentido de que está destinado a proporcionar una fluidez y compactibilidad ideales, por lo cual su producción está regulada en parte por la cantidad de agua y espuma utilizada en la mezcla (Ramamurthy, Kunhanandan Nambiar, y Indu Siva Ranjani, 2009).

La mezcla por lotes y con tornillo son los dos sistemas de producción que generalmente se utilizan para mezclar el cemento y el agua en el concreto celular (Amran *et al.*, 2022).



Figura. 5. Diferentes compuestos para preparar concreto celular.

En la Figura 5 se observan los diferentes materiales con los cuales se puede elaborar un concreto celular; sin embargo, los agentes espumantes son la manera perfecta de hacer concreto celular (Thienel *et al.*, 2020).

Mezclado por lotes: esta técnica se refiere a crear el agente espumante en una máquina de espuma y es la más utilizada en la producción de concreto celular (Lesovik *et al.*, 2020). En seguida con una mezcladora de doble tornillo se mezclan los componentes del concreto celular y se garantiza las propiedades del mismo (Amran *et al.*, 2022).

Mezcla con tornillo: la mezcla con barrena o tornillo de Arquímedes se ejecuta en camiones de hormigón volumétricos móviles o *mixers* e implica mezclar los materiales con un eje giratorio; luego, las materias primas se reciben en un extremo del sinfín, que gira y mezcla los componentes a medida que son empujados. En la mayoría de los equipos de instalación de concreto celular se utiliza una bomba de cavidad progresiva, muy constante al mantener limpio su interior mientras está en uso. El transporte del concreto celular se hace mediante bombas peristálticas (Amran *et al.*, 2022).

Reseña histórica del uso del concreto celular a nivel global y una reseña en Colombia: La primera mención de este tipo de aglomerante con propiedades similares al hormigón es del escritor romano Plinio, quien menciona la proporción de conglomerante utilizada en la construcción de los embalses romanos (Pacheco Tinoco, 2018).

Según el Instituto Español del Cemento y sus aplicaciones, el estudio de este elemento viene desde 6000 a. C.; la unión de cemento con agua, arena y áridos resultó en un nuevo material que se podía manipular rápidamente y que, cuando secaba, obtiene características de solidez, resistencia y durabilidad bastante buenas. Este nuevo material fue el origen del hormigón o del concreto como lo conocemos en Colombia.

El cemento *Portland* ha desempeñado un rol muy importante en la historia de los materiales de construcción, pero no fue hasta 1811 cuando James Frost patentó el primer compuesto artificial obtenido de la caliza molida y arcilla. En 1824, a su vez Joseph Apsdin patentó por primera vez un cemento tan duro como la piedra *portland*, conocido actualmente como cemento Portland (Alvarez, Martín, y García, 1995).

Aunque se tienen registros de construcción del primer concreto ligero desde hace más de 2.000 años (Herki, 2020), hasta en 1923, Axel Eriksson desarrolló el primer concreto celular (Amran *et al.*, 2015), y desde entonces diferentes investigadores alrededor del mundo han estudiado las propiedades mecánicas del *concreto celular*. En efecto, a nivel global es muy reconocido y utilizado en diferentes tipos de labores por sus diferentes ventajas como, por ejemplo, que es un material muy liviano (Pacheco Tinoco, 2018). Desde 1938, en la unión soviética se ha trabajado el concreto celular en diferentes procesos de producción para elementos no estructurales (Amran *et al.*, 2022).

Actualmente, el concreto celular se usa ya que suele optimizar el diseño estructural, y por sus propiedades reduce las cargas muertas a las que se someten los elementos estructurales de una edificación (Izquierdo y Ortega, 2017).

En Colombia, actualmente, las especificaciones generales de construcción de carreteras (2022, EGCC-22; Universidad Nacional de Colombia, Universidad del Quindío e Instituto Nacional de Vías, 2022), en el Artículo 611-22 denominado “Concreto celular para rellenos”, describe los estatutos y los parámetros técnicos que se deben cumplir en Colombia con respecto al uso de *concreto celular* en rellenos. En esa especificación enumeran el suministro, la fabricación, el transporte y la instalación

del concreto celular. Así mismo, la norma de referencia afirma las aplicaciones donde no puede ser utilizado el concreto celular: concreto estructural, concreto de capa funcional de pavimentos, prefabricados de concreto, adoquines de concreto, material expuesto a erosión, material que contenga aditivos que puedan generar corrosión al acero de refuerzo.

Por su parte, la norma *EGCC-22* establece el concreto celular como una mezcla homogénea de material cementante, agua y agente espumante, por la cual se obtiene un concreto liviano con un contenido de burbujas de aire distribuidas uniformemente. Los materiales o las materias primas de producción deben cumplir con los requisitos expuestos en la norma de referencia. En la instalación, la *EGCC-22* exige cumplir las recomendaciones de *ACI 523-Guide for cast-in-place Low-Density cellular concrete*. La norma insta que se debe realizar un ensayo establecido de acuerdo con la *ASTM C796* de la densidad y el contenido de aire del concreto celular en estado fresco. Este ensayo se debe hacer para cada lote de 80 m³ o por cada jornada de trabajo.

La norma señala que se debe hacer un ensayo de compresión según *ASTM C796* y *ASTM C495* para cada lote o jornada de trabajo. Se deben obtener cuatro muestras cilíndricas para ser fallas a compresión. De igual forma, las especificaciones generales de construcción de carreteras (2022) clasificó el concreto celular según la densidad (cf. Tabla 2) e indicó algunos parámetros mecánicos mínimos de resistencia a compresión y capacidad portante del concreto celular.

Tabla 2. Clasificación del concreto celular según con <i>EGCC-22</i>			
CLASE	Densidad concreto fresco máxima	Resistencia a la compresión mínima	Capacidad portante
	(Kg/m ³)	(MPa)	(MPa)
I	385	0.07	0.07
II	480	0.28	0.28
III	575	0.55	0.55
IV	670	0.83	0.83
V	800	1.10	1.10

Fuente: Autores. <Tomado de: Universidad Nacional de Colombia, Universidad del Quindío, e Instituto Nacional de Vías, 2022>.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En el siguiente capítulo, se realiza una revisión comparativa de las propiedades mecánicas del concreto celular, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en diferentes investigaciones a nivel mundial.

Uno de los parámetros más importantes en la evaluación del *concreto celular* es la densidad de la mezcla. Alam y Hu (2023) ensayaron 6 diferentes tipos de especímenes de concreto celular con diferentes densidades; para el presente estudio se tuvieron en cuenta 3 tipos: el primero con un peso unitario de 400 kg/m³, el segundo con un peso unitario de 641 kg/m³, y el tercero con peso unitario de 881 kg/m³; en el estudio de referencia (Alam y Hu, 2023) denominaron las muestras con la siguiente nomenclatura: *CC400*, *CC641* y *CC881*, respectivamente para cada densidad. Asimismo, en la preparación de las muestras utilizaron un agente espumante basado

en una proteína hidrolizada con una relación de agua cemento constante de 0.5. La mezcla la prepararon según la norma *ASTM C796*.

En la Tabla 3 se puede observar el diseño de mezcla para cada tipo de concreto evaluado en el presente artículo.

Tabla 3. Diseño de mezcla concreto celular para diferentes densidades.			
ID	Cemento, Kg/m ³	Agua, Kg/m ³	Agente Espumante, Kg/m ³
CC400	267	91	42
CC641	427	178	35
CC881	587	265	28

Fuente: Autores. Tomado de Alam y Hu (2023).

Para realizar los ensayos de laboratorio, Alam y Hu (2023) fabricaron prismas de concreto celular con las dosificaciones resaltadas en la Tabla 3 con unas dimensiones de 101.6 mm x 101.6 mm x 355.6 mm, con el fin de posteriormente cortar y formar cubos para las pruebas de impacto. Para los ensayos de los parámetros mecánicos, los autores dividieron las muestras de la siguiente forma: primero, para evaluar la resistencia a compresión realizaron cilindros de 76.2 mm de diámetro y 152.4 mm de altura en una sola capa de *concreto celular*. Segundo, para evaluar el módulo de elasticidad y la relación de Poisson (Alam y Hu, 2023) fabricaron cilindros de 101.6 mm de diámetro y 203.2 mm de altura. Es muy importante que todos los especímenes fueron fabricados a una temperatura ambiente controlada de 23°C con un grado de humedad del 95%. Para el curado de las muestras la temperatura ambiente fue controlada de 23°C y la humedad fue del 100%.

Después de 28 días, Alam y Hu (2023) realizaron varios ensayos de laboratorio. En primer lugar, hicieron el ensayo de compresión de acuerdo con la norma *ASTM C109* para luego obtener el promedio de 3 muestras realizadas.

Enseguida, relacionaron la prueba de penetración de impacto (cf. Figura 6) para los prismas fabricados anteriormente (Moore, 1972). Generalmente, se usa el marco de prueba *Instron 4502* para este ensayo (Song y Lange, 2020). Efectivamente, se introduce una varilla de acero de 19,05 mm (0,75") de diámetro en el espécimen de *concreto celular* verticalmente desde la parte superior central.

Con este ensayo Alam y Hu (2023) realizaron la curva de carga versus el desplazamiento del concreto celular y también lograron evaluar la deformación de los poros después de la penetración (cf. Figura.6.). Adicionalmente, con este ensayo los autores calcularon la energía de absorción basados en el área de la curva debajo en la relación carga – desplazamiento y el punto de densificación.

A continuación, Alam y Hu (2023) realizaron la prueba de resistencia de impacto usando máquina de impacto *CADEX*. La energía de impacto fue hallada dejando caer un objeto estandarizado de 4.17 kg desde una altura de 3.5 m. Alam y Hu (2023) midieron la deformación por impacto y la familia de discontinuidades presentes en la muestra de ensayo.

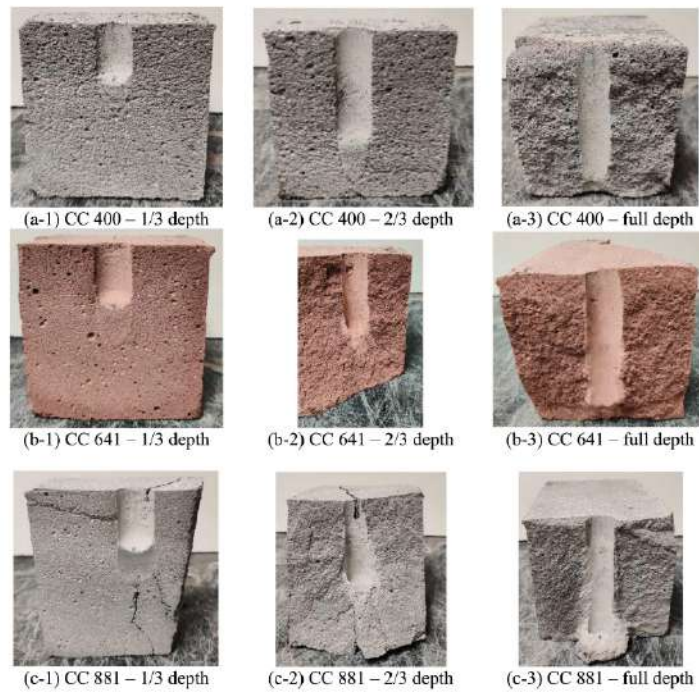


Figura. 6. Ensayo de penetración.
Fuente: Tomada de Alam y Hu (2023).

Finalmente, Alam y Hu (2023) realizaron la prueba de fuerza de flexión para los especímenes de concreto celular de acuerdo con la norma *ASTM C1609* con una velocidad controlada hasta que el espécimen falló o se desplazó 4 mm.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, al realizar el ensayo y compresión se observa que las muestras experimentaron cargas máximas en la etapa elástica dentro de un rango de 0 a 5 mm de desplazamiento, y se generan las primeras fisuras de falla en esta etapa. Cuando la compresión máxima es alcanzada se observa una propagación de fisuras al largo del espécimen. Enseguida, se observa en los especímenes una meseta de aplastamiento, en cuya etapa se generan la mayor cantidad de grietas longitudinales, y finalmente se observa el colapso de la muestra. Los resultados obtenidos por los autores con este ensayo se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 4. Resultados mecánicos obtenidos del concreto celular para diferentes densidades.			
ID	Esfuerzo de compresión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Relación de Poisson
CC400	1.80	977	0.26
CC641	2.51	2954	0.26
CC881	5.55	4617	0.25

Fuente: Tomado de Alam y Hu (2023).

En el ensayo de penetración, Alam y Hu (2023) observaron un compartimento similar en las muestras, sin embargo, los resultados del ensayo muestran que mientras que el concreto celular de mayor densidad resistió mayores cargas bajo

la prueba de penetración, el concreto celular de menor densidad proporcionó una zona de densificación más profunda con una penetración limpia y sin desgarros en el concreto. Esto se debe a que el concreto de baja densidad disipa mejor la energía bajo un ensayo de penetración.

En el ensayo de resistencia de impacto, la energía cinética del equipo fue transportada al espécimen través del dispositivo de impacto, y aunque se perdió un porcentaje de energía el *concreto celular* recibió la mayor parte del impacto. La profundidad de la abolladura y el diámetro de la misma son dos parámetros esenciales para entender la capacidad de absorción de energía y la capacidad del concreto celular para recibir los impactos (Alam y Hu, 2023). Según el ensayo, la densidad del concreto celular aumenta la profundidad, diámetro y volumen de la abolladura disminuyen indicando que los concretos de baja densidad son más frágiles y no tan resistentes para absorber los restos del impacto. Es decir, que el concreto celular con una densidad mayor adquiere una mejor capacidad de absorción de energía con respecto a las otras muestras.

Finalmente, el comportamiento de las muestras de esfuerzos de flexión muestra información acerca del comportamiento estructural del concreto celular (Alam y Hu, 2023). Según los resultados obtenidos en este ensayo, la mayor, es decir, el espécimen *CC881* mostró mayor fortaleza al esfuerzo de flexión. La resistencia a flexión del concreto celular depende de la densidad del material.

Por su parte, Mugahed Amran *et al.* (2020) realizaron pruebas de laboratorio para diferentes densidades y con diferentes materiales. Para el estudio se seleccionaron las siguientes mezclas: a) Mix III -1, cuya característica principal es que la densidad es de 1800 kg/m³; b) Mix III-4, cuya característica principal es la densidad de 1900 kg/m³; sin embargo, esta muestra contiene un porcentaje de arena fina en su composición.

En la Tabla 5 se observa la composición de las mezclas utilizadas por Mugahed Amran *et al.* (2020) para los ensayos experimentales que realizaron.

Tabla 5. Composición de diseño de las mezclas: MIX III-1 y MIX III-4.				
ID	Cemento, Kg/m ³	Agua, Kg/m ³	Agente Espumante, Kg/m ³	Arena Fina, Kg/m ³
MIX III-1	541	243	0.20	0
MIX III-4	541	243	0.20	1080

Fuente: Tomado de Mugahed Amran *et al.*, 2020.

Estos investigadores utilizaron un agente espumante aditivo sintético *AK-350* con una relación de 1:40 agua-aditivo. Para la mezcla se usó el método 1 “Mezclado por lotes” (Amran *et al.*, 2022) y se homogenizó la mezcla con una batidora; no obstante, se fijó una tolerancia entre 50 a 100 kg/m³ con el diseño de mezcla original consecuentemente con los límites aceptados.

Los especímenes de laboratorio se fabricaron en muestras cúbicas de 150 mm de tamaño para los ensayos de la resistencia a la compresión del concreto con diferentes tiempos de curado: 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días para la resistencia a la tracción a 28 días.

Enseguida, Mugahed Amran *et al.* (2020) fabricaron especímenes vigas prismáticas para el ensayo de contracción con dimensiones de 100 mm x 100 mm x 525 mm 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días en condiciones de humedad del 95% +/- 3% y una temperatura 22°C +/- 2°C. Para el ensayo de contracción los moldes los pusieron en una sala por 23.5 hr +/- 0.5 con una humedad >60% y una temperatura de 20°C +/- 3 °C.

Para cada ensayo de laboratorio, Mugahed Amran *et al.* (2020) realizaron como mínimo 3 muestras y se tomó en los resultados el valor promedio de las mismas. Al respecto, ellos realizaron el ensayo de compresión tomando como referencia la norma *ASTM C512*, contexto en que se evidenció que a medida que el tiempo de curado aumenta, la resistencia de compresión también se incrementa.

Por su parte, la Figura 7 enseña que la resistencia a compresión aumenta a medida que crece la densidad, ya que existen menos espacios o vacíos de aire dentro de la estructura del concreto. Los mismos citados autores encontraron que el concreto celular puede llegar a obtener valores de resistencia a compresión entre 10 y 58 MPa.

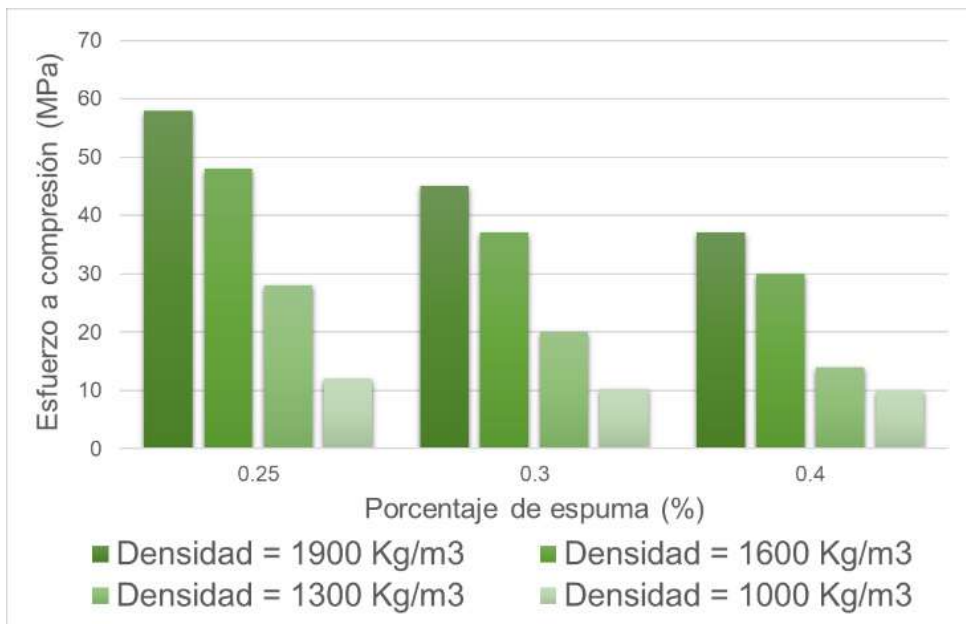


Fig. 7. Resultados del ensayo a compresión porcentaje de agente espumante.
Fuente: Autores: Tomada de Mugahed Amran et al. (2020).

Asimismo, en la evaluación del módulo de elasticidad de los materiales Mugahed Amran *et al.* (2020) observaron un mejor comportamiento en la muestra sin arena, ya que la ausencia de árido grueso arroja como resultado una buena homogeneidad.

Para los especímenes del ensayo de compresión, Mugahed Amran *et al.* (2020) -como se observa en la Figura 8- variaron el porcentaje de agente espumante añadido, dando como resultado que entre más porcentaje de aire dentro de la muestra el módulo de elasticidad del espécimen es menor.

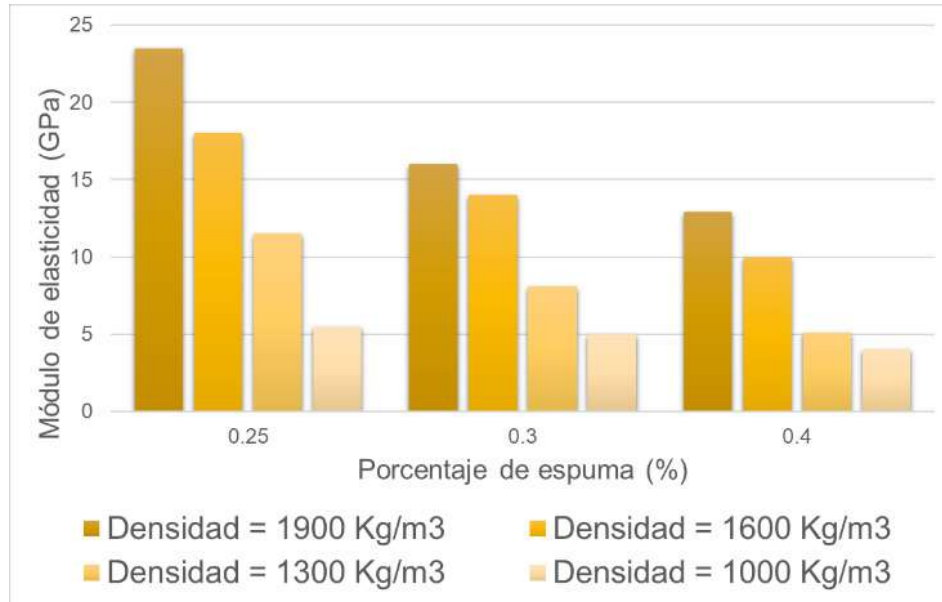


Figura. 8. Resultados ensayo de compresión, módulo de elasticidad.

Fuente: Autores: Tomada de Mugahed Amran *et al.* (2020).

El ensayo de tensión, Mugahed Amran *et al.* (2020) lo ejecutaron de acuerdo con la norma *ASTM C496*, en el cual se evidenció que la resistencia a tensión (cf. Figura 9) se redujo de acuerdo con el contenido de aire de la estructura del espécimen, es decir, a mayor densidad mayor resistencia a los esfuerzos de tensión tal como se patentiza en la Figura 9.

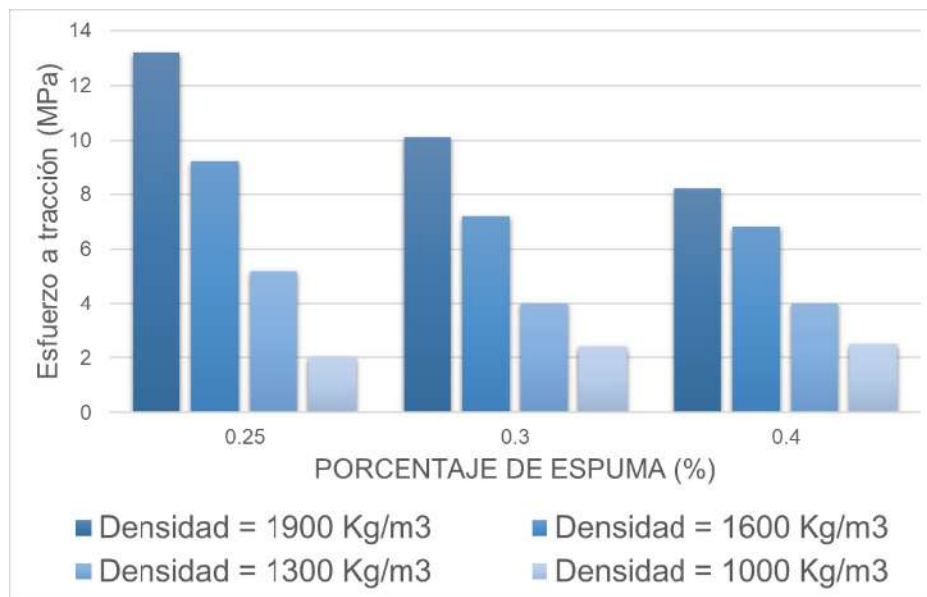


Fig. 9. Resultados del ensayo de flexión.

Fuente: Autores: Tomada de Mugahed Amran *et al.* (2020).

De esta manera, Mugahed Amran *et al.* (2020) evalúan la resistencia a la flexión de los especímenes, llegando a la conclusión de que la resistencia a flexión aumenta a medida que crece la densidad. El ensayo de contracción se aplicó de acuerdo con la norma *ASTM C490*, en donde los resultados establecieron que a un mayor contenido de espuma la contracción también es mayor.

Por su parte, Song y Lange (2020) realizaron una investigación sobre el comportamiento estructural al aplastamiento y la deformación del concreto celular a través del ensayo de penetración; según este análisis, el comportamiento del concreto celular depende de la densidad; ellos afirman que la densidad de un concreto celular debe estar entre 400 kg/m^3 y 1800 kg/m^3 ya que, inferior al rango, el concreto celular comienza a perder su estabilidad antes de que fragüe, y afirman que entre densidades de 800 y 1800 kg/m^3 el *concreto celular* se comienza a comportar similar a un elemento sólido tal como el concreto estructural.

Según su estudio, Song y Lange (2020) prepararon 3 diferentes clases de mezclas; asimismo, reemplazaron un porcentaje de cemento por cenizas volantes. Los diseños de las mezclas fueron creados de acuerdo con *ASTM C796*. Para tal clase de mezclas se utilizaron una mezcla pura y 5 mezclas de concreto celular con densidades entre 400 kg/m^3 y 800 kg/m^3 . La primera clase de mezcla la llamaron ‘clase controlada’, en la cual la relación agua - cemento es de 0.42, y reemplazaron el 10% de cemento con cenizas volantes. La segunda clase la llamaron ‘clase con alto contenido de ceniza volante’, manteniendo la relación agua - cemento en 0.42 pero reemplazando el 30% de cemento con cenizas volantes. Finalmente, la tercera clase la denominaron ‘alto contenido de agua’, versión que mantuvieron bajo el contado de ceniza volante en 10%, pero la relación agua - cemento fue de 0.47.

La preparación de la mezcla la realizaron por el método 1: “Mezclado por lotes” (Amran *et al.*, 2022), contexto en donde crearon la mezcla de cemento y agua, y luego crearon la mezcla del agente espumante, y finalmente revolvieron de acuerdo con los requerimientos de las *ASTM C305*. Para el proceso de producción los autores usaron un superplastificante *SIKA Visco créete 2100* en una dosificación del 8% del peso. El índice de agente espumante usado fue de 1:15, cuya modalidad usada por los autores fue *BASF Masterícelo 30*, es decir un agente sintético.

Las medidas de las probetas cilíndricas de concreto celular fueron de $101,6 \times 203,2 \text{ mm}$ (2 x 4 pulgadas) y para moldes prismáticos de $50,8 \times 50,8 \times 203,2 \text{ mm}$ (2x2x8 in). Las probetas fueron curadas a 21°C de temperatura con una humedad del 100%. Se procedió a analizar el comportamiento del *concreto celular* a desplazamientos versus cargas fue uno de los parámetros más importantes para entender el comportamiento estructural del concreto celular (Song y Lange, 2020).

Según los resultados de estos investigadores se evidenciaron que entre mayor sea la densidad mayor esfuerzo de penetración se debe aplicar en el espécimen. Asimismo, observaron 4 fases en el comportamiento del concreto celular -la fase lineal y elástica-, y enseguida una fase de transición, la tercera fase conocida como fase de creación de meseta o aplastamiento y la cuarta fase es la densificación. Los autores observaron que después de estas cuatro fases, se podía observar el material densificado debajo de la penetración del equipo, tal como se observa en la Fig.10; esta zona debajo del equipo en forma de cono se denomina normalmente ‘zona muerta’ (Song y Lange, 2020).

Más aún, ellos observaron que el concreto celular no sufrió agrietamiento después del ensayo de penetración. Este comportamiento se debió a la baja relación de Poisson del material. También captaron que la menor resistencia a la compresión a los 21 días fue para mezcla con menos densidad (400 kg/m^3), y mayor porcentaje de ceniza volante con un valor de resistencia a compresión de 0.27 MPa. En contraste,

el mayor valor de resistencia se provocó con relación a la mayor densidad (800 kg/m^3); sin embargo, este valor se obtuvo en la muestra con mayor porcentaje de ceniza volante con un valor de resistencia a compresión de 15.09 MPa.



Fig. 10. Material densificado debajo de la penetración del equipo.

Fuente: Tomada de Song y Lange (2020).

Con relación al módulo de elasticidad, los resultados de los ensayos realizados por Song y Lange (2020) dio como resultado que el menor valor del módulo fue para la mezcla con menos densidad (400 kg/m^3) y el mayor porcentaje de ceniza volante fue con un valor de 407 MPa; por el contrario, el mayor valor del módulo se dio a la mayor densidad (800 kg/m^3), y también en la muestra con mayor porcentaje de ceniza volante con un valor de resistencia de 3559 MPa.

Finalmente, concluyeron que el concreto celular de baja densidad asume un comportamiento de aplastamiento diferente al que usualmente vemos en materiales de concreto convencional. Su estructura altamente triturable admite una cantidad importante de energía que se disipa. Esta propiedad única acerca a la instalación del *concreto celular* como absorbente de energía o disipador de energía.

3. RESULTADOS

De acuerdo con lo previsto, se realizó un análisis comparativo entre los valores típicos del concreto convencional y los resultados obtenidos en los artículos de referencia. Se estableció una evaluación técnica teniendo en cuenta la densidad del material, la resistencia a compresión, el módulo de elasticidad y la relación de Poisson. En primer lugar, el concreto convencional obtuvo una densidad alrededor de 2300 Kg/m^3 y una resistencia a la compresión entre 20 MPa (concreto estructural-1) y 40 MPa (concreto estructural-2) (Song y Lange, 2020). A su vez, la relación de Poisson para un concreto estructural se pudo tomar de un valor de 0.20, y el módulo de elasticidad está dado por la ec.1 (Gobierno de la República de Colombia, 2010):

$$4700 \cdot \sqrt{([F']_C)} \quad (1)$$

Según esta ecuación (1) de referencia, el rango de módulo de elasticidad para concreto convencional es de 21019 en MPa (concreto estructural-1) a 29725 MPa (Concreto estructural-2).

Tabla 6. Resultados mecánicos obtenidos en la investigación.				
ID	Densidad (Kg/m ³)	Esfuerzo de compresión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Relación de Poisson
CC400	400	1.80	977	0.26
CC641	641	2.51	2954	0.26
CC881	881	5.55	4617	0.25
Ceniza volante 1	400	0.27	407	-
Ceniza volante 2	800	15.09	3559	-
MIX III-1	1800	42	14000	-
MIX III-4	1900	44	17000	-
Concreto estructural -1	2300	20	21019	0.20
Concreto estructural -2	2300	40	29725	0.20

Fuente: Autores.

Acorde con esta Tabla 6, se observan los valores mecánicos obtenidos para diferentes tipos de muestras: a) según Alam and Hu (2023): CC400 (400 Kg/m³), CC641 (641 Kg/m³), CC881 (881 Kg/m³); b) obtenido de los resultados de laboratorio de Song y Lange (2020): ceniza volante 1 (400 Kg/m³) y ceniza volante 2 (800 Kg/m³); c) obtenidos de los resultados de laboratorio (Mugahed Amran *et al.*, 2020): MIX III -1 (1800 Kg/m³) y MIX III-4 (1900 Kg/m³), resultantes de interpolaciones de las gráficas de los ensayos de laboratorio de Mugahed Amran *et al.* (2020); finalmente, d) concreto estructural 1 (2300 Kg/m³) y concreto estructural 2 (2300 Kg/m³) obtenidos por los métodos descritos en el presente documento (*Gobierno de la República de Colombia*, 2010).

3.1. Relación entre CC400 y Concreto estructural 1

De acuerdo con la Figura 11, se observaron los valores comparativos entre dos especímenes: por un lado, el *concreto celular CC400* en relación con el *concreto celular 1* del otro lado, cuya densidad de la muestra CC400 fue de 1900 kg/m³, menor a la del concreto estructural que corresponde al 82%, más liviano en comparación con el concreto estructural 1. Sin embargo, la resistencia a la compresión de CC400 representó sólo 9% de la resistencia a la compresión del concreto estructural 1, y el módulo de elasticidad de CC400 correspondió al 4.6 % del total con respecto al *concreto estructural 1*.

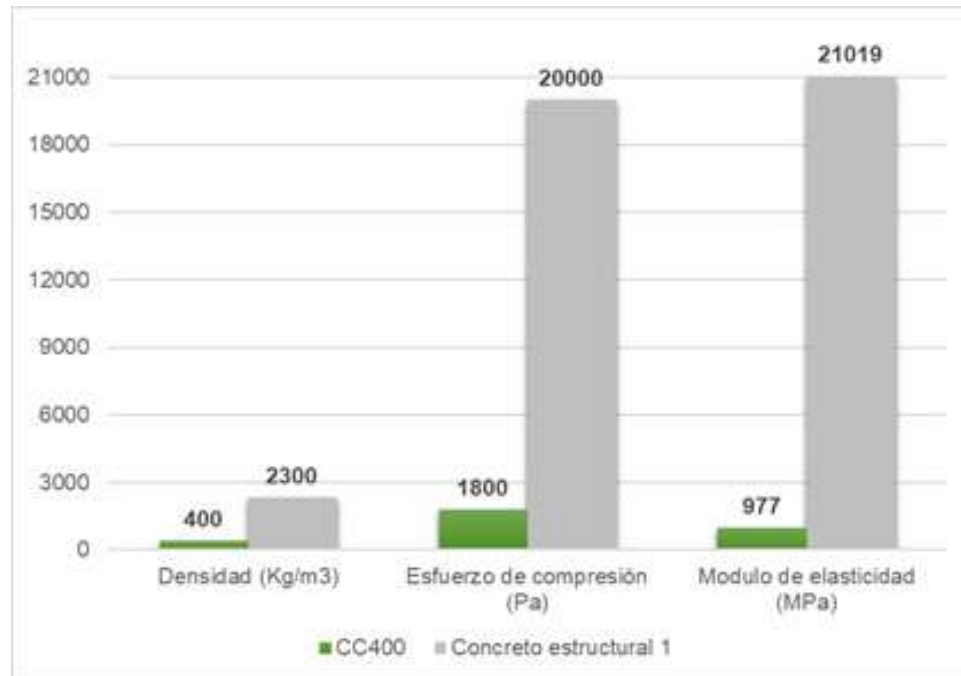


Figura 11. Gráfico comparativo entre CC400 y concreto estructural 1.

Fuente: Autores.

3.2. Relación entre CC641 y Concreto estructural 1

De conformidad con los resultados obtenidos (cf. Figura.12.), la densidad de la muestra CC641 corresponde sólo al 27.8% de la densidad del *concreto estructural 1*, es decir, la densidad del espécimen CC641 es 1641 kg/m³ menor a la del concreto estructural 1. Por su parte, la resistencia a la compresión del CC641 representa sólo 12.55% de la resistencia a compresión del concreto estructural 1, mientras el módulo de elasticidad del CC641 corresponde al 14.05 % del total que dio el concreto estructural 1.

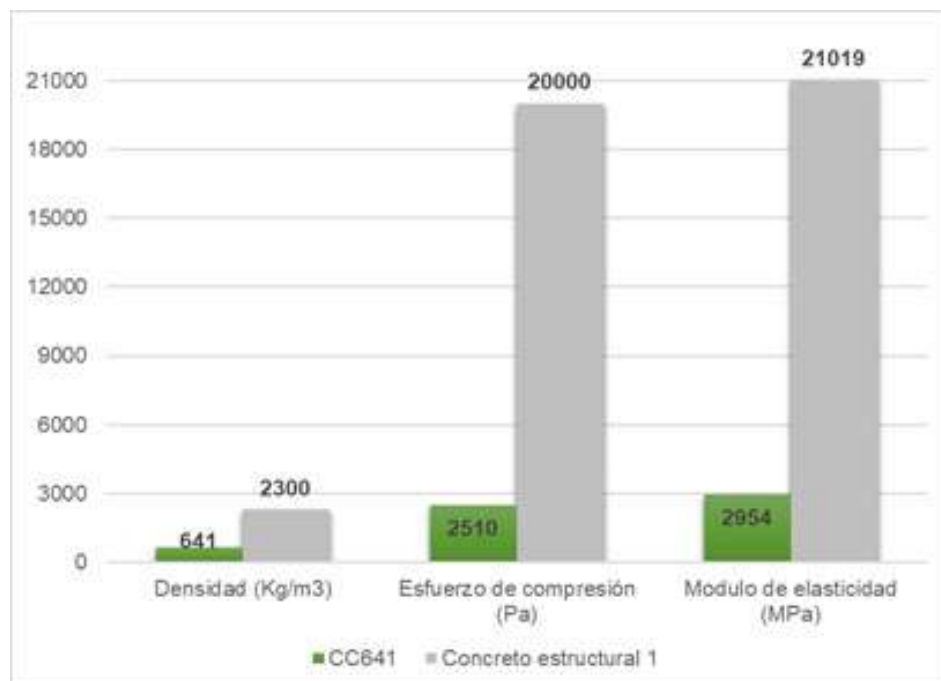


Figura. 12. Gráfico comparativo entre CC641 y el concreto estructural 1.

Fuente: Autores.

3.3. Relación entre MIX III-1 y Concreto estructural 1.

Probablemente, uno de los materiales de estudio con mejores propiedades mecánicas es el resultante en el espécimen *MIX III-1*, ya que, como se observa en la Fig. 13, la densidad de la muestra *MIX III-1* correspondió al 78.26% de la densidad del concreto estructural 1. Sin embargo, la resistencia a compresión del espécimen *MIX III-1* es mayor del doble con relación al concreto estructural 1 y, por su parte, el módulo de elasticidad de la muestra *MIX III-1* sí es menor al concreto estructural 1, es decir, es un material más rígido.

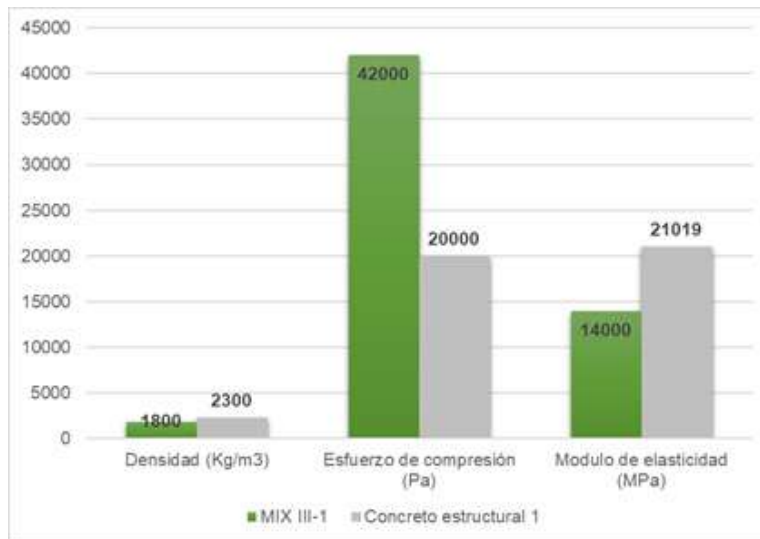


Fig. 13. Gráfico comparativo entre MIX III-1 y concreto estructural 1.

Fuente: Autores.

3.4. Relación entre CC881 y Concreto estructural 2

Por su parte, el material del espécimen *CC881*, es un material liviano con respecto al concreto estructural 2 (cf. Figura 14), mecánicamente se comporta mejor a la muestra *CC400*; sin embargo, la resistencia a compresión del *CC881* representa sólo el 13.87% de la resistencia a compresión del concreto estructural 2, mientras el módulo de elasticidad del *CC881* corresponde al 15.53 % del total resistente por el concreto estructural 2.

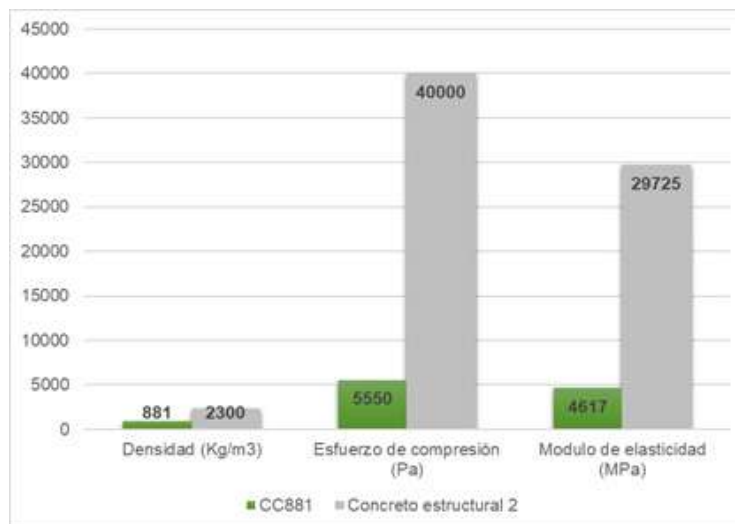


Figura. 14. Gráfico comparativo entre CC881 y concreto estructural 2.

Fuente: Autores.

3.5. Relación entre MIX III-4 y Concreto estructural 2

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa en la Figura 15 la relación entre la mezcla *MIX III-4* y el concreto estructural 2. En primer lugar, la densidad de la muestra *MIX III-4* corresponde al 82.60% de la densidad del concreto estructural 2, es decir es un material 17.4 % más liviano que el de la muestra de concreto estructural 2. Asimismo, es un material que resiste mayor carga a compresión; sin embargo, el módulo de elasticidad es menor con respecto al del concreto estructural 2.

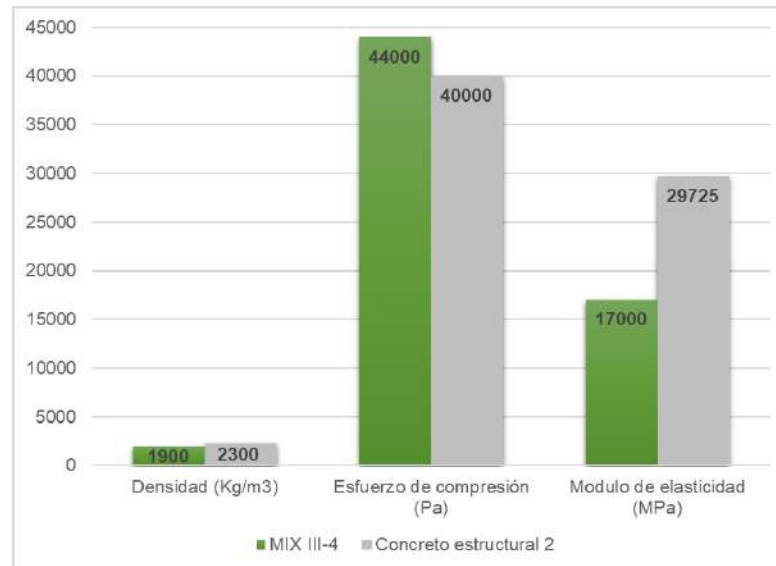


Figura. 15. Gráfico comparativo entre MIX III-4 y concreto estructural 2.

Fuente: Autores.

3.6. Relación entre CC400 y Ceniza volante 1

Un material alternativo para la creación del *concreto celular* es el uso de ceniza volante en la mezcla de preparación; sin embargo, como se observa en la Figura 16, los parámetros mecánicos como lo son la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad, son considerablemente menores a su homólogo con el mismo peso unitario o densidad (400 kg/m³), la muestra CC400.

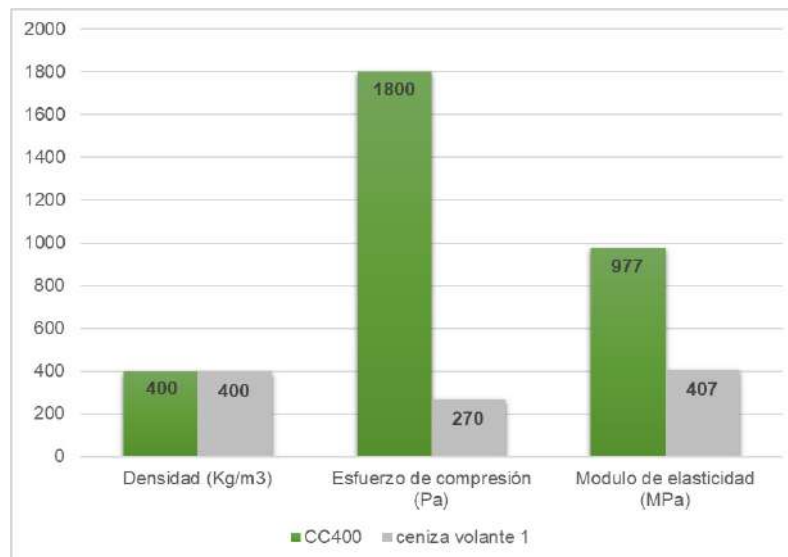


Figura. 16. Gráfico comparativo entre CC400 y Ceniza volante 1.

Fuente: Autores.

3.7. Relación entre CC881 y Ceniza volante 2

Según los resultados obtenidos, en la Fig.17 se observa que la densidad de la muestra CC881 es mayor con relación a la densidad de la ceniza volante 2. Por otro lado, se observa que la resistencia a compresión de la muestra CC881 representa el 36.77 % de la resistencia a compresión de la muestra ceniza volante 2, o sea, el espécimen de ceniza volante 2 soporta bien la compresión. No obstante, el módulo de elasticidad de ceniza volante 2 es menor con relación a la muestra CC881.

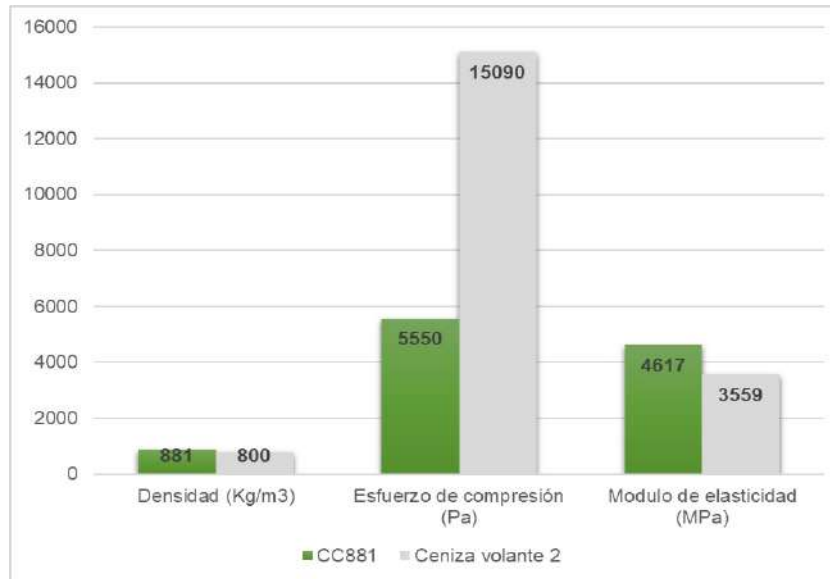


Fig. 17. Gráfico comparativo entre CC881 y Ceniza volante 2.

Fuente: Autores.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este apartado se analizó según los índices comparativos obtenidos en el capítulo anterior, se evaluaron las posibles aplicaciones del *concreto celular* y se realizó una reseña del uso de este concreto en un caso particular de aplicación en Colombia.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se evidenció que los parámetros estructurales del concreto dependen directamente de la densidad, es decir que la resistencia estructural del concreto es directamente proporcional a la densidad del concreto, debido a que una mayor densidad generalmente implica una mayor cantidad de material cementante y una menor cantidad de porosidad en la mezcla; por lo cual, el material se convierte en una matriz más compacta y resistente que puede

soportar cargas más altas; de hecho, los poros en el concreto pueden debilitar su estructura, por lo que una mayor densidad tiende a proporcionar una mayor resistencia a la compresión y a otras fuerzas, lo que es fundamental para su uso en construcción y aplicaciones estructurales. Sin embargo, la relación entre densidad y resistencia no es lineal y puede variar según la composición de la mezcla y otros factores.

Ahora bien, se observó en la primera comparación una reducción notable de los parámetros mecánicos de la probeta CC400 con respecto al concreto estructural 1. Este fenómeno se debió a que en el primer caso el porcentaje de vacíos dentro de la estructura del pavimento fue notablemente superior, parámetro que nos indicó la densidad del material, por lo cual, la primera probeta al tener muchos vacíos o bolas de aire

dentro de su estructura lo convirtió en un material ultraliviano, sin embargo, con muy malos parámetros mecánicos de resistencia. La relación de Poisson de la probeta *CC400* fue de 0.26, indicando que la relación de deformaciones fue buena y este material podría trabajar en donde los apremios del proyecto urjan una buena penetración dentro del material sin que se formen grietas o fisuras al momento de la penetración. También este material, por causa de la cantidad de burbujas de aire contenido en su estructura, se podría utilizar como aislante acústico en una situación determinada.

Más aún, con base en los resultados obtenidos con la muestra *CC641*, se confirma que los parámetros de resistencia estructurales son directamente proporcionales con la densidad del material. Con este material respecto al material *CC400*, se evidencia que a medida que el material se hace más denso el comportamiento estructural del material mejora. Aunque este material no es resistente a esfuerzos de compresión, es decir, no es posible su uso en elementos estructurales, se evidencia que el módulo de elasticidad mejora, es decir que es un material más resistente (con respecto al *CC400*) a la deformación permanente bajo los efectos de las cargas de compresión.

Por otro lado, se evidencia que la ceniza volante en un concreto celular de baja densidad (400 kg/m³) disminuye significativamente los parámetros estructurales, por lo que es recomendable no usar ceniza volante en concreto, pero la ceniza volante en una mezcla de 800 kg/m³ presenta comportamientos estructurales muy superiores con su análogo *CC881*, pero para los autores estos valores dejan incertidumbre, ya que el aumento en la resistencia a compresión es demasiado alto respecto a la ceniza volante 1,

por lo que es recomendable hacer un estudio de verificación de los resultados obtenidos en la investigación.

A su vez, la mezclas de concreto celular con mayor densidad *MIX III-1* y *MIX III-4* presentan grandes valores de resistencia mecánica y estructural, así que abre una brecha a la posibilidad de usar este tipo de mezcla con esta dosificación establecida para elementos estructurales reduciendo el peso unitario, lo que beneficiaría en gran medida el cálculo de cargas muertas de diseño, sin embargo, este tema se sale del alcance del presente documento y se recomienda realizar una investigación evaluando esta posibilidad.

4.1. Posibles usos en estructuras y aplicaciones

Carretera ligera, bases y presas llenas. Una capa de estructura de pavimento, generalmente está compuesta por la subbase granular, la base granular y la capa de rodadura apoyadas sobre una capa de subrasante estable. Cuando las condiciones de la subrasante no son óptimas o no cumplen con los requisitos mínimos para instalar una estructura de pavimento, el concreto celular puede ser una solución fuerte y liviana con el fin de fortalecer y superar muchos de los desafíos que plantean los pobres materiales de subrasante (*Concrete Pavement Technology Center, 2021*).

La primera consideración que se debe revisar para usar el *concreto celular* como material de mejoramiento de la subrasante son las situaciones en donde se deban hacer compensaciones de peso del material. Otra situación es cuando las cargas excesivas deforman el suelo blando de fundación. Para este caso, el concreto celular puede ser utilizado como reemplazo total o parcial de la capa de subbase en estas aplicaciones para producir un material fuerte y

liviano que no produzca sobrecargas en el suelo fundación (*Concrete Pavement Technology Center, 2021*).

Muro de contención, rellenos y detención en sistemas de contención. El material es apropiado para muros de contención que necesitan rellenos de material ligero. Para el diseño de este material, la práctica más común es instalar el relleno del muro de contención, para así no generar empujes laterales, debido a que se utilizara en la parte del *trasdós* del muro, como si el *concreto celular* fuera un material granular.

Este material también es utilizado en muros de contención prefabricados y para muros de tierra mecánicamente estabilizados (*MSE*) como relleno de terraplén en los muros (*Concrete Pavement Technology Center, 2021*).

4.2. Concreto celular en Colombia

El uso del *Concreto Celular* en Colombia ha estado creciendo en los últimos años, y un ejemplo de esto es en el proyecto *Rehabilitación del PR 87 de la Transversal Cusiana* en Pajarito (Boyacá), en el cual se presentó un movimiento en masa de alrededor de 300.000 m³ aproximadamente. En efecto, el concreto celular se empleó como reemplazo y relleno de una zona de falla, la cual presentaba inestabilidad en el carril derecho en un tramo de 20 m de longitud, de 4.80 m de ancho, y un espesor de 3 metros, cuyo objeto de relleno con Concreto Celular es reducir la carga muerta presentada en esta zona de falla, debido a que el material reduce la carga muerta debido a su baja densidad, y priorizando su estabilidad y durabilidad.

En la Figura 18 se evidencia la zona de falla presentada y su alta inestabilidad, en la cual el primer método de contención fue un trincho en madera o muro de contención en tabla

estaca para la estabilización de esta zona, que no funcionó y debido al peso del material existente falló; en la Figura 19 se evidencia el proceso constructivo del concreto celular en la zona de falla para reducir la carga en este punto y proceder a la estabilización de la zona a través del método de reemplazo de material por uno más liviano. El proceso constructivo es muy rápido, y esto agiliza el tiempo de la ejecución de la obra, puesto que no es necesario vibrar la mezcla debido a su fluidez; asimismo, es importante tener en cuenta que debido a su baja densidad en puntos donde se presenten pendientes se debe hacer la instalación por escalones, y esto no afecta la estructura del concreto celular, debido a que no se presentan juntas frías en este material.



Figura 18. Estado del tramo en falla del proyecto Transversal Cusiana antes de la instalación del concreto celular.

Fuente: Autores.



Figura 19. Estado del tramo en falla del proyecto Transversal Cusiana en el proceso de instalación del concreto celular.

Fuente: Autores.

5. CONCLUSIONES

Este artículo ha llevado a cabo una breve reseña del *concreto celular*, debido a que en los últimos años se presenta un crecimiento en el uso de las obras de ingeniería, así como un rápido desarrollo con un enfoque a mejorar los materiales de construcción que no generen sobrecargas. Por ello, este artículo investigó parámetros mecánicos del *concreto celular* y su uso adecuado en proyectos de ingeniería, referenciando sucintamente las soluciones ingenieriles de este material y su actuación en la ingeniería colombiana. De las discusiones se derivaron las siguientes conclusiones:

El *concreto celular* es un material liviano, de baja densidad, que presenta algunos beneficios con respecto al concreto convencional: a) utilizado en llenado de vacíos, b) provee 100% de compactación, c) no produce empujes sobre las estructuras, d) reduce cargas muertas debido a su baja densidad, e) permite rápido fraguado, f) no presenta juntas frías, y g) aumenta los rendimientos de producción e instalación respecto de los sistemas convencionales.

El *concreto celular* es una alternativa que brinda soluciones en obras ingenieriles donde se necesita un material de baja densidad, pero, según los parámetros encontrados, es necesario elegir la mezcla a utilizar considerando la variación de los parámetros mecánicos para cada mezcla evaluada.

Los rangos de densidad del *concreto celular* pueden situarse entre 400 kg/m³ hasta 1900 kg/m³, dependiendo sus agregados y el tipo de agente cementante y, en este orden de ideas, es de vital importancia llevar a término el correcto estudio para la aplicación del concreto celular de acuerdo con los rangos obtenidos según el comportamiento del material y los

parámetros mecánicos (resistencia a compresión entre 0.27 y 44 MPa, módulo de elasticidad entre 407 y 17000 MPa).

La *ceniza volante* es una alternativa del material con el cual se prepara el *concreto celular*; sin embargo, según la revisión de información es necesario seguir investigando y aplicando pruebas experimentales, ya que los resultados del estudio de revisión no dejan un resultado concreto debido a la gran variación de parámetros mecánicos que se presentan entre los rangos de las propiedades mecánicas de las muestras ensayadas.

A decir verdad, en Colombia, el *concreto celular* se ha venido utilizando en los últimos años como alternativa de construcción en obras civiles y el país cuenta como referencia para el uso del material el Artículo 611-22 del *Invías* denominado “Concreto celular para rellenos” de las especificaciones generales de construcción de carreteras año 2022 (EGCC-22).

REFERENCIAS

- Abdel-Hay, A. S. (2017). “Properties of recycled concrete aggregate under different curing conditions”. *HBRC Journal*, 13(3), 271–276. <https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2015.07.001>
- Abdighaliyev, A. y Hu, J. (2019). “Investigation on Improvement of Flexural Behavior of Low-Density Cellular Concrete through Fiber Reinforcement for Non-Structural Applications”. *Transportation Research Record*, 2673(10), 641–651. <https://doi.org/10.1177/0361198119853547>
- Alam, A., y Hu, J. (2023a). “Mechanical properties and energy absorption capacity of plain and fiber-reinforced single- and multi-layer cellular concrete”. *Construction and Building Materials*, 394. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132154>

- Ali, Y. A. Y.; Fahmy, E. H. A.; AbouZeid, M. N.; Shaheen, Y. B. I. y Mooty, M. N. A. (2020). "Use of expanded polystyrene in developing solid brick masonry units". *Construction and Building Materials*, 242, 118109. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.118109>
- Álvarez, J., Martín, A. y García, P. (1995). "Historia de los morteros". *Boletín informativo del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 13, 52–59.
- Alwared, A. I.; Jaeel, A. J. y Ismail, Z. Z. (2020). "New application of eco-friendly biosorbent giant reed for removal of reactive dyes from water followed by sustainable path for recycling the dyes-loaded sludge in concrete mixes". *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22(4), 1036–1046. <https://doi.org/10.1007/s10163-020-00998-4>
- Amran, M.; Lee, Y. H.; Vatin, N.; Fediuk, R.; Poi-Ngian, S.; Lee, Y. Y. y Murali, G. (2020, octubre 1). "Design efficiency, characteristics, and utilization of reinforced foamed concrete: A review". *Crystals*, Vol. 10, pp. 1–35. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/cryst10100948>
- Amran, M.; Onaizi, A. M.; Fediuk, R.; Danish, A.; Vatin, N. I.; Murali, G., ... Azevedo, A. (2022). "An ultra-lightweight cellular concrete for geotechnical applications: A review". *Case Studies in Construction Materials*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01096>
- Amran, Y. H. M. (2020). "Influence of structural parameters on the properties of fibred-foamed concrete". *Innovative Infrastructure Solutions*, 5(1), 16. <https://doi.org/10.1007/s41062-020-0262-8>
- Amran, Y. H. M.; Farzadnia, N. y Ali, A. A. (2015). "Properties and applications of foamed concrete: A review". *Construction and Building Materials*, 101, 990–1005. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.112>
- Bhosale, A.; Zade, N. P.; Sarkar, P. y Davis, R. (2020). "Mechanical and physical properties of cellular lightweight concrete block masonry". *Construction and Building Materials*, 248, 118621. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118621>
- Binod, T.; Beena, A.; Ryan, M.; Ryan, C.; Diego, V. y Peter, P. (2017). "Mechanical Properties of Lightweight Cellular Concrete for Geotechnical Applications". *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(7), 06017007. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0001885](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001885)
- Bremner, T. W. (2008). "Lightweight concrete". *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete*, 307–323. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102616-8.00013-7>
- Chen, X., Wu, S., y Zhou, J. (2013). "Influence of porosity on compressive and tensile strength of cement mortar". *Construction and Building Materials*, 40, 869–874. <https://doi.org/10.1016/J.conbuildmat.2012.11.072>
- Concrete Pavement Technology Center, N. (2021). *Lightweight Cellular Concrete for Geotechnical Applications JANUARY 2021*. Recuperado de <https://www.cement.org/>
- Cong, X. Y.; Lu, S.; Yao, Y. y Wang, Z. (2016). "Fabrication and characterization of self-ignition coal gangue autoclaved aerated concrete". *Materials y Design*, 97, 155–162. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2016.02.068>
- Cuce, E.; Cuce, P. M.; Wood, C. J. y Rif-fat, S. B. (2014). "Toward aerogel based thermal superinsulation in buildings: A comprehensive review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 273–299. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.017>
- Falliano, D.; De Domenico, D.; Ricciardi, G. y Gugliandolo, E. (2018). "Experimental investigation on the

- compressive strength of foamed concrete: Effect of curing conditions, cement type, foaming agent and dry density". *Construction and Building Materials*, 165, 735–749. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.241>
- Falliano, D.; De Domenico, D.; Sciarrone, A.; Ricciardi, G.; Restuccia, L.; Ferro, G., ... Gugliandolo, E. (2019). "Investigation on the fracture behavior of foamed concrete". *Procedia Structural Integrity*, 18, 525–531. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.196>
- Flores-Johnson, E. A. y Li, Q. M. (2010). "Indentation into polymeric foams". *International Journal of Solids and Structures*, 47(16), 1987–1995. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2010.03.025>
- Flores-Johnson, E. A. y Li, Q. M. (2012). "Structural behaviour of composite sandwich panels with plain and fibre-reinforced foamed concrete cores and corrugated steel faces". *Composite Structures*, 94(5), 1555–1563. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2011.12.017>
- Abdel-Hay, A. S. (2017). "Properties of recycled concrete aggregate under different curing conditions". *HBRC Journal*, 13(3), 271–276. <https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2015.07.001>
- Abdigaliyev, A. y Hu, J. (2019). "Investigation on Improvement of Flexural Behavior of Low-Density Cellular Concrete through Fiber Reinforcement for Non-Structural Applications". *Transportation Research Record*, 2673(10), 641–651. <https://doi.org/10.1177/0361198119853547>
- Alam, A., y Hu, J. (2023a). "Mechanical properties and energy absorption capacity of plain and fiber-reinforced single- and multi-layer cellular concrete". *Construction and Building Materials*, 394. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132154>
- Ali, Y. A. Y.; Fahmy, E. H. A.; AbouZeid, M. N.; Shaheen, Y. B. I. y Mooty, M. N. A. (2020). "Use of expanded polystyrene in developing solid brick masonry units". *Construction and Building Materials*, 242, 118109. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118109>
- Álvarez, J.; Martín, A. y García, P. (1995). "Historia de los morteros". *Boletín informativo del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 13, 52–59.
- Alwared, A. I.; Jaeel, A. J. y Ismail, Z. Z. (2020). "New application of eco-friendly biosorbent giant reed for removal of reactive dyes from water followed by sustainable path for recycling the dyes-loaded sludge in concrete mixes". *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22(4), 1036–1046. <https://doi.org/10.1007/s10163-020-00998-4>
- Amran, M.; Lee, Y. H.; Vatin, N.; Fediuk, R.; Poi-Ngian, S.; Lee, Y. Y. y Murali, G. (2020, octubre 1). "Design efficiency, characteristics, and utilization of reinforced foamed concrete: A review". *Crystals*, Vol. 10, pp. 1–35. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/cryst10100948>
- Amran, M.; Onaizi, A. M.; Fediuk, R.; Danish, A.; Vatin, N. I.; Murali, G., ... Azevedo, A. (2022). "An ultra-lightweight cellular concrete for geotechnical applications – A review". *Case Studies in Construction Materials*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01096>
- Amran, Y. H. M. (2020). "Influence of structural parameters on the properties of fibred-foamed concrete". *Innovative Infrastructure Solutions*, 5(1), 16. <https://doi.org/10.1007/s41062-020-0262-8>
- Amran, Y. H. M.; Farzadnia, N. y Ali, A. A. (2015). "Properties and applications of foamed concrete: A review". *Construction and Building Materials*, 101, 990–1005. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.112>

- Bhosale, A.; Zade, N. P.; Sarkar, P. y Davis, R. (2020). "Mechanical and physical properties of cellular lightweight concrete block masonry". *Construction and Building Materials*, 248, 118621. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118621>
- Binod, T.; Beena, A.; Ryan, M.; Ryan, C.; Diego V. y Peter, P. (2017). "Mechanical Properties of Lightweight Cellular Concrete for Geotechnical Applications". *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(7), 06017007. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0001885](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001885)
- Bremner, T. W. (2008). "Lightweight concrete". *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete*, 307–323. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102616-8.00013-7>
- Chen, X.; Wu, S. y Zhou, J. (2013). "Influence of porosity on compressive and tensile strength of cement mortar". *Construction and Building Materials*, 40, 869–874. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.072>
- Concrete Pavement Technology Center, N. (2021). "Lightweight Cellular Concrete for Geotechnical Applications January 2021". Recuperado de: <https://www.cement.org/>
- Cong, X. Y.; Lu, S.; Yao, Y. y Wang, Z. (2016). "Fabrication and characterization of self-ignition coal gangue autoclaved aerated concrete". *Materials y Design*, 97, 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.02.068>
- Cuce, E.; Cuce, P. M.; Wood, C. J. y Riffat, S. B. (2014). "Toward aerogel based thermal superinsulation in buildings: A comprehensive review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 273–299. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.017>
- Falliano, D.; De Domenico, D.; Ricciardi, G. y Gugliandolo, E. (2018). "Experimental investigation on the compressive strength of foamed concrete: Effect of curing conditions, cement type, foaming agent and dry density". *Construction and Building Materials*, 165, 735–749. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.241>
- Falliano, D.; De Domenico, D.; Sciarrone, A.; Ricciardi, G.; Restuccia, L.; Ferro, G., ... Gugliandolo, E. (2019). "Investigation on the fracture behavior of foamed concrete". *Procedia Structural Integrity*, 18, 525–531. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.196>
- Flores-Johnson, E. A. y Li, Q. M. (2010). "Indentation into polymeric foams". *International Journal of Solids and Structures*, 47(16), 1987–1995. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2010.03.025>
- Flores-Johnson, E. A. y Li, Q. M. (2012). "Structural behaviour of composite sandwich panels with plain and fibre-reinforced foamed concrete cores and corrugated steel faces". *Composite Structures*, 94(5), 1555–1563. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2011.12.017>
- Gobierno de la República de Colombia. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Título C., Pub. L. No. Decreto No. 1000 de 2010 (2010). Colombia.
- Hajimohammadi, A.; Ngo, T. y Mendis, P. (2018). "Enhancing the strength of pre-made foams for foam concrete applications". *Cement and Concrete Composites*, 87, 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.12.014>
- Hashim, M. y Tantray, M. (2021). "Comparative study on the performance of protein and synthetic-based foaming agents used in foamed concrete". *Case Studies in Construction Materials*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00524>
- Herki, B. M. A. (2020). "Lightweight concrete using local natural lightweight aggregate". *Journal of Critical Reviews*, Vol. 7, pp. 490–497.

- Innovare Academics Sciences Pvt. Ltd. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.04.93>
- Hossain, Z., y Islam, K. T. (2022). "Prospects of rice husk ash as a construction material. Sustainable Concrete Made with Ashes and Dust from Different Sources". *Materials, Properties and Applications*, 61–92. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824050-2.00009-7>
- Izquierdo Cárdenas, M. I. y Ortega Rivera, O. E. (2017). "Desarrollo y aplicación del concreto celular a base de aditivo espumante para la elaboración de bloques macizos destinados a tabiquerías no portantes en edificaciones". Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- Jason, L.; Huerta, A.; Pijaudier-Cabot, G. y Ghavamian, S. (2006). "An elastic plastic damage formulation for concrete: Application to elementary tests and comparison with an isotropic damage model". *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 195(52), 7077–7092. <https://doi.org/10.1016/J.CMA.2005.04.017>
- Jaya, R. P. (2020). "Porous concrete pavement containing nanosilica from black rice husk ash". *New Materials in Civil Engineering*, 493–527. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818961-0.00014-4>
- Kadela, M.; Kozłowski, M. y Kukielka, A. (2017). "Application of Foamed Concrete in Road Pavement - Weak Soil System". *Procedia Engineering*, 193, 439–446. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.235>
- Kim, H. K.; Jeon, J. H. y Lee, H. K. (2012). "Workability, and mechanical, acoustic and thermal properties of lightweight aggregate concrete with a high volume of entrained air". *Construction and Building Materials*, 29, 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.067>
- Kumar, V. K.; Priya, A. K.; Manikandan, G.; Naveen, A. S.; Nitishkumar, B. y Pradeep, P. (2021). "Review of materials used in light weight concrete". *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), 3538–3539. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.425>
- Laukaitis, A. y Fiks, B. (2006). "Acoustical properties of aerated autoclaved concrete". *Applied Acoustics*, 67(3), 284–296. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2005.07.003>
- Lesovik, V.; Voronov, V.; Glagolev, E.; Feduk, R.; Alaskhanov, A.; Amran, Y. H. M. ... Baranov, A. (2020). "Improving the behaviors of foam concrete through the use of composite binder". *Journal of Building Engineering*, 31, 101414. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101414>
- Li, T.; Huang, F.; Zhu, J.; Tang, J. y Liu, J. (2020). "Effect of foaming gas and cement type on the thermal conductivity of foamed concrete". *Construction and Building Materials*, 231, 117197. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117197>
- Liu, X.; Lu, M.; Sheng, K.; Shao, Z.; Yao, Y. y Hong, B. (2023). "Development of new material for geopolymers lightweight cellular concrete and its cementing mechanism". *Construction and Building Materials*, 367. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130253>
- Metha, K. M. P. (1998). "Concreto Estructura, propiedades y materiales (segunda; Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C., Ed.)". Florida: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C.
- Moore, R. T. (1972). Penetration resistance tests of reinforced concrete barriers. National Institute of Standards and Technology. Retrieved September 28, 2023, from <https://www.nist.gov/publications/penetration-resistance-tests-reinforced-concrete-barriers>.
- Mugahed Amran, Y. H.; Alyousef, R.; Alabduljabbar, H.; Alrshoudi, F. y Rashid,

- R. S. M. (2019). "Influence of slenderness ratio on the structural performance of lightweight foam concrete composite panel". *Case Studies in Construction Materials*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00226>
- Mugahed Amran, Y. H.; Alyousef, R.; Al-abduljabbar, H.; Khudhair, M. H. R.; Hejazi, F.; Alaskar, A. ... Siddika, A. (2020). "Performance properties of structural fibred-foamed concrete". *Results in Engineering*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2019.100092>
- Narayanan, N. y Ramamurthy, K. (2000). "Microstructural investigations on aerated concrete". *Cement and Concrete Research*, 30(3), 457–464. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00199-X](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00199-X)
- National Standards Authority of Ireland. (2005). Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. Retrieved September 28, 2023, from <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1992.1.1.2004.pdf>.
- Osorio Saraz, J. A., Vélez Restrepo, J. M., & Ciro Velásquez, H. J. (2007). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 60(2), 4067–4076. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179914078013>.
- Pacheco Tinoco, R. D. (2018). *Propiedades físico-mecánicas del concreto celular con poliestireno expandido y su aplicación en la industria de la construcción*. Universidad César Vallejo, Lima. Retrieved from <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/27247>.
- Panesar, D. K. (2013). "Cellular concrete properties and the effect of synthetic and protein foaming agents". *Construction and Building Materials*, 44, 575–584. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.024>
- Perry, S. H.; Bischoff, P. H. y Yamura, K. (1991). "Mix details and material behaviour of polystyrene aggregate concrete". *Magazine of Concrete Research*, 43(154), 71–76. <https://doi.org/10.1680/mac.1991.43.154.71>
- Raj, A.; Sathyan, D. y Mini, K. M. (2019). "Physical and functional characteristics of foam concrete: A review". *Construction and Building Materials*, 221, 787–799. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.052>
- Ramamurthy, K.; Kunhanandan Nambiar, E. K. y Indu Siva Ranjani, G. (2009). "A classification of studies on properties of foam concrete". *Cement and Concrete Composites*, 31(6), 388–396. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.04.006>
- Ratna, D. (2012). "Thermal Properties of Thermosets". *Thermosets: Structure, Properties and Applications*, 62–91. <https://doi.org/10.1533/9780857097637.1.62>
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Santafé de Bogotá, D. C.: (5ª ed.; Bhandar Editor Ltda, Ed.).
- Schenk, M., & Guest, S. D. (2011). Folded shell structures. Retrieved from <https://www-structures.eng.cam.ac.uk/system/files/documents/folded-shell-structures.pdf>.
- Shackelford, J. F. (2005). *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros* (6ª ed.). Pearson Educación.
- Song, Y., y Lange, D. A. (2020). "Crushing Behavior and Crushing Strengths of Low-Density Foam Concrete". *ACI Materials Journal*, 117, 43–52. <https://doi.org/10.20944/preprints201902.0208.v1>
- Stolz, J., Boluk, Y. y Bindiganavile, V. (2018). "Mechanical, thermal and acoustic properties of cellular alkali activated fly ash concrete". *Cement and Concrete Composites*, 94, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.08.004>

- Thienel, K. C.; Haller, T. y Beuntner, N. (2020, marzo 1). "Lightweight concrete-from basics to innovations". *Materials*, Vol. 13. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ma13051120>
- Universidad Nacional de Colombia, Universidad del Quindío e Instituto Nacional de Vías. (2022). "Especificaciones generales de construcción de carreteras". Bogotá.
- Vaidya, A. y Pathak, K. (2019). "Mechanical stability of dental materials: Applications of Nanocomposite". *Materials in Dentistry*, 285–305. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813742-0.00017-1>
- Valore, R. C. (1954). "Cellular Concretes Part 1: Composition and Methods of Preparation". *ACI Journal Proceedings*, 50(5). <https://doi.org/10.14359/11794>
- Wang, P. y Zhao, C. (2015). "Study on reducing railway noise by porous concrete sound-absorbing panel". *Materials Research Innovations*, 19(sup5), S5-1156-S5-1160. <https://doi.org/10.1179/1432891714Z.0000000001269>
- Wong, K. H. (2007). Thermal conductivity of foamed concrete. ScholarBank@NUS Repository. Retrieved from <https://scholarbank.nus.edu.sg/handle/10635/17572>.
- Xu, Q.; Liu, L.; Wang, X.; Wen, P. y Yu, G. (2019). "Strength analysis of the cast-in-situ foamed lightweight soil materials". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 304(5), 052130. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/304/5/052130>
- Yahya, M., & Amran, H. (2016). Determination of structural behavior of precast foamed concrete sandwich panel. Universiti Putra Malaysia. Retrieved from <http://psasir.upm.edu.my/id/eprint/70170/1/FK%202016%202%20-%20IR.pdf>.
- Zamora Terrones, L. P. (2015). "Diseño de un bloque de concreto celular y su aplicación como unidad de albañilería no estructural". Universidad Nacional de Cajamarca (Perú).
- Zhang, J. J. (2019). "Rock physical and mechanical properties". *Applied Petroleum Geomechanics*, 29–83. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814814-3.00002-2>
- Zhang, S.; Cao, K.; Wang, C.; Wang, X.; Deng, G. y Wei, P. (2020). "Influence of the porosity and pore size on the compressive and splitting strengths of cellular concrete with millimeter-size pores". *Construction and Building Materials*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117508>
- Zherebtsov, S.; Semenova, I. P.; Garbacz, H. y Motyka, M. (2019). "Advanced mechanical properties". *Nanocrystalline Titanium*, 103–121. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814599-9.00006-7>
- Zhou, L.; Deng, Z.; Li, W.; Ren, J.; Zhu, Y. y Mao, L. (2023). "Mechanical behavior of the cellular concrete and numerical simulation based on meso-element equivalent method". *Construction and Building Materials*, 394. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132118>

Análisis Comparativo del Impacto de las Variables de Población, DBO y Temperatura en Lagunas Facultativas

Comparative Analysis Of The Impact Of Population, BOD And Temperature Variables In Facultative Lagoons

Castro Garzón, Cristian Aurelio

Universidad Santo Tomás
cristian.castro@usantoto.edu.co
Bachiller Técnico

López Niño, Lesly Stefani

Universidad Santo Tomás
lesly.lopez@usantoto.edu.co
Bachiller Académico

Motta Martínez, Juan David

Universidad Santo Tomás
juan.motta@usantoto.edu.co
Bachiller Técnico

Resumen

Este artículo de investigación propone realizar un análisis comparativo variando las tres características evaluadas, que corresponden a la población, la demanda biológica de oxígeno (*DBO*) y la temperatura. Esta investigación consistió en determinar las características de las seis lagunas de estabilización facultativas para conseguir o lograr una disminución de la *DBO* presente. Se determinaron las limitantes de las lagunas mediante la realización de tablas y gráficos que representan la información mencionada, teniendo en cuenta los rangos establecidos por los autores. Los resultados permitieron evidenciar que los valores de la temperatura son importantes al calcular las variables utilizadas, ya que tiene influencia y está relacionada directamente con las mismas, como la presencia de altas y bajas poblaciones con rangos altos y bajos de *DBO*.

Palabras clave: Laguna facultativa, Población, *DBO*, Temperatura.

Abstract

The main objective of this research article is to perform a comparative analysis by varying the three characteristics evaluated, which correspond to population, biological oxygen demand (*BOD*) and temperature. This research consisted of determining the characteristics of the six facultative stabilization ponds to achieve a decrease in the *BOD* present. The limitations of the lagoons were determined by means of tables and graphs that represent the aforementioned information, taking into account the ranges established by the authors. The results showed that the temperature values are of great importance at the time of calculating the variables used since they have influence and are directly related to them, as well as the presence of high and low populations with the presence of high and low *BOD* ranges.

Keywords: Facultative lagoon, Population, *BOD*, Temperature.

Para citar este artículo: Castro Garzón, Cristian Aurelio.; López Niño, Lesly Stefani.; Motta Martínez, Juan David. "Análisis Comparativo del Impacto de las Variables de Población, *DBO* y Temperatura en Lagunas Facultativas." In *L'Esprit Ingenieur*. Vol. 13-1, pp. X-X.

1. INTRODUCCIÓN

Con este trabajo de aula se pretende que los estudiantes busquen las alternativas sostenibles a los problemas ambientales de Colombia, generando un pensamiento crítico basado en aprendizaje basado en problemas (ABP), con un soporte bibliográfico y que fomenten en su quehacer la interdisciplinariedad (Acosta Castellanos *et al.*, 2018). Asimismo, se pretende contribuir desde la asignatura a cerrar los vacíos existentes en la formación y entrenamiento de los ingenieros en cuanto al desarrollo sostenible (Acosta Castellanos *et al.*, 2020; & Queiruga Dios, 2021).

Por otro lado, el agua residual es cualquier tipo de agua cuyas propiedades físicas y químicas se ven alteradas negativamente por los impactos antrópicos ocasionados por los seres humanos. Estos impactos incluye la descarga de materia orgánica o inorgánica, productos químicos, microorganismos, entre otros (Osorio *et al.*, 2021).

Es importante que estas aguas sean tratadas correctamente debido a que provienen de actividades antropogénicas, tales como procesos industriales, comerciales, residenciales, agrícolas, ganaderos, entre otras, las cuales generan desechos tóxicos, químicos, sólidos (como materia orgánica), etc., a las fuentes hídricas, y por causa de un incorrecto tratamiento genera riesgo en las especies de flora y fauna que se encuentren cerca a la efluente hídrica, además de proliferación de olores, mosquitos y roedores (Rubio Clemente *et al.*, 2013).

Adicionalmente, si las personas que se encuentren aguas abajo llegan a consumir de este recurso, corren el riesgo de que se contagien de enfermedades como la cólera, además de disentería, fiebre tifoidea, entre otras, que en muchas ocasiones sin un oportuno y buen diagnóstico y tratamiento ocasionan la muerte de las personas (Torres *et al.*, 1997). A la vez, los animales que consumen y viven que estos causan corren el mismo riesgo de contraer enfermedades, pueden presentar problemas en la calidad de vida y en su entorno natural (Larios *et al.*, 2015).

Por todo lo anterior, en Colombia se han adoptado medidas ambientales y judiciales con el fin de regular el tratamiento de aguas residuales, tales como el Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales; este busca establecer estrategias del 2020 – 2050 para el manejo de aguas residuales (*Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 2021a), Resolución 0631 de 2015; control de las sustancias contaminantes que son descargadas a las fuentes de agua a partir de 73 actividades productivas (Camacho & Sánchez, 2016), Resolución 1256 del 2021; este busca reglamentar la reutilización de las aguas residuales en actividades agrícolas e industriales (*Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 2021b).

En consecuencia, en Colombia se han empleado diversas alternativas de bajos y altos costos para el tratamiento de aguas residuales, en zonas rurales y urbanas, como es el caso de los sistemas de flotación por aire cavitado (CAF), el cual se centra en eliminar las grasas antes de que estas ingresen al proceso de homogenización (Núñez & Fragoso - Castilla, 2020), las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), las cuales son las más comunes debido a que pueden ser de tipo compacto, es decir, se pueden acoplar a cualquier espacio (Morales *et al.*, 2010), los pozos sépticos son usados para almacenar, y posteriormente eliminar los residuos fecales de las viviendas (principalmente las que no cuentan con servicio de alcantarillado).

Por otro lado, hay sistemas de tratamientos no convencionales, los cuales son utilizados por su bajo costo de instalación y su bajo consumo energético, es decir son alternativas sustentables (Cortés-Martínez *et al.*, 2020). Adicionalmente, se componen de tecnologías de depuración que intentan imitar los procesos naturales que llevan a cabo los microorganismos, suelos, vegetación, etc. (Sánchez Ortiz & Matsumoto, 2012).

Una alternativa no convencional usada en Colombia son las lagunas de maduración, basadas en la eliminación de bacterias que puedan ocasionar enfermedades infecciosas (bacterias patógenas), pero el agua debe de contar con un tratamiento de aguas previo a descargarse a este proceso (Mejía Ruíz *et al.*, 2013), denominada como lagunas secundarias, generalmente llamadas lagunas primarias a las lagunas facultativas (Muñoz Arias, 2021).

Las 'lagunas facultativas' hace parte de las tecnologías de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales, además de ser eficientes, fáciles de operar y limpiar, las cuales son como piscinas que se diseñan para la degradación biológica en condiciones aeróbicas y anaeróbicas con y sin presencia de oxígeno (Acosta-Castellanos & Pacheco García, 2024). Sin embargo, para el correcto funcionamiento de estas se deben de tener en cuenta los factores ambientales, concentración de oxígeno, los contaminantes que puedan contener las aguas residuales, la temperatura, entre otros parámetros (Zapata Rivera *et al.*, 2021).

Por lo anterior, en Colombia se han implementado normativas que deben de ser tenidas en cuenta al momento de diseñar, construir y operar las 'lagunas facultativas', como el Artículo 217 de la Resolución 0330 (de 2017), en la cual se menciona que se debe de realizar la caracterización operativa en los sistemas de tratamiento

de aguas residuales para así controlar y verificar la operación de la PTAR. Es por esto que en los sistemas lagunares deben de realizarse muestreos al ingreso para verificar el rendimiento de la planta (con muestras compuestas para DBO; quincenal y SST; quincenal) y el control del proceso (con muestras puntuales para pH; diario y NO₃; quincenal), y a la salida de la planta para verificar el rendimiento de la planta (con muestras compuestas para DBO; quincenal y SST; quincenal, y muestras puntuales de pH; diario, Coliformes fecales; quincenal), y el control del proceso (con muestras puntuales para NO₃; quincenal).

Por otro lado, el Artículo 218 de la Resolución 0330 (de 2017), para el mantenimiento de las lagunas de oxidación o estabilización debe de tenerse en cuenta los siguientes parámetros: después de 5 años de operación se debe de medir la capa de lodos por lo menos una vez al año (para verificar que el nivel no supere el 50% del volumen de la laguna), mantenerse libres de material flotante, controlar el crecimiento de vegetación dentro y fuera de la laguna, realizar mantenimientos constantes de taludes internos para mantener la estabilidad de estos y mantener limpias las estructuras de entrada y salida.

2. TALLER COMPARATIVO: LAGUNAS FACULTATIVAS

2.1 Metodología

Se toman en cuenta tres características a evaluar: Población (variación de los habitantes), DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) y la temperatura (del mes más frío dada en °C). De las cuales, se procede a calcular las diferentes variables mediante el uso de ciertas fórmulas tomadas del libro *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización* (2004) del autor Jairo Alberto Romero Rojas.

Las fórmulas mencionadas en el libro anterior permiten determinar variables de gran importancia para el desarrollo y solución de la problemática evaluada, que es comparar el comportamiento de las características iniciales al realizar variaciones de cada una de las tres (Ej.: Uso de población con rangos bajos, *DBO* con rangos altos y la temperatura baja). Algunas de las fórmulas usadas para el desarrollo de este trabajo se presentan a continuación:

En primer lugar, se procede a calcular la carga superficial máxima (*CSM*) (Romero, 2004):

$$CSM = 60.3(1.0993)^T$$

donde, *T* representa el valor de la temperatura del mes más frío dado en °C.

Luego, se determina el área superficial (*A*) teniendo en cuenta el valor de la carga superficial máxima (Romero, 2004):

$$A = \frac{Q \times DBO}{1000 \times CSM}$$

donde, *Q* representa el caudal, *DBO* representa la demanda biológica de oxígeno y *CSM* representa la carga superficial máxima.

Después, se calcula el tiempo de retención hidráulica (ϑ) (Romero, 2004):

$$\vartheta h = \frac{A \times H}{Q}$$

donde *A* representa el área superficial, *Q* representa el caudal y *H* representa la profundidad útil de la laguna.

Posteriormente, se calcula la carga volumétrica orgánica (*VLR*) (Romero, 2004):

$$VLR = \frac{DBO \times Q}{A \times H}$$

donde *DBO* representa la *demanda biológica de oxígeno*, *Q* representa el caudal, *A* representa el área superficial y *H* representa la profundidad útil de la laguna.

Seguidamente, se calcula la carga orgánica superficial removida (*COR*), teniendo en cuenta el valor de la carga superficial máxima (Romero, 2004):

$$COR = 10.35 + 0.752(CSM)$$

donde, *CSM* representa la carga superficial máxima.

Luego, se calcula la eficiencia de remoción (*E*) (Romero, 2004):

$$E = \frac{COR}{CSM}$$

donde *COR* representa la *carga orgánica superficial removida* y *CSM* la *carga superficial máxima*.

Después, se realiza un proceso de ajuste o de corrección, en donde se obtiene un valor de remanente (*Er*) teniendo en cuenta los valores obtenidos de la eficiencia de remoción (Romero, 2004):

$$E_r = 100 - E$$

contexto donde *E* representa la eficiencia de remoción.

Seguidamente, se calcula la carga orgánica del efluente primario (*CO1*) (Romero, 2004):

$$CO1 = DBO \times Q \times E_r$$

donde *DBO* representa la demanda biológica de oxígeno,

Q representa el caudal y *Er* representa el remanente.

Posteriormente, se calcula la carga orgánica corregida (CO1c) (Romero, 2004):

$$CO1_c = CO1 \times 2.$$

donde CO1 representa la *carga orgánica del efluente primario*.

Nota: A este procedimiento se le conoce como corrección por relación de DBO soluble. Antes de culminar con el desarrollo se debe tener en cuenta una cosa, y es que se debe tomar un valor de CSM inferior al valor obtenido en la primera ecuación y a su vez debe

ser igual al valor de CO1c, y con esa información clave, se procede a realizar nuevamente los respectivos cálculos de las variables hasta llegar a la eficiencia, partiendo desde el área superficial (A) hasta la eficiencia de remoción (E).

Finalmente, se calcula la eficiencia global del sistema (Et) (Romero, 2004):

$$E_t = 1 - (1 - E_1)(1 - E_2)$$

donde E1 representa la eficiencia de remoción 1 y E2 representa la eficiencia de remoción 2.

2.2. Resultados

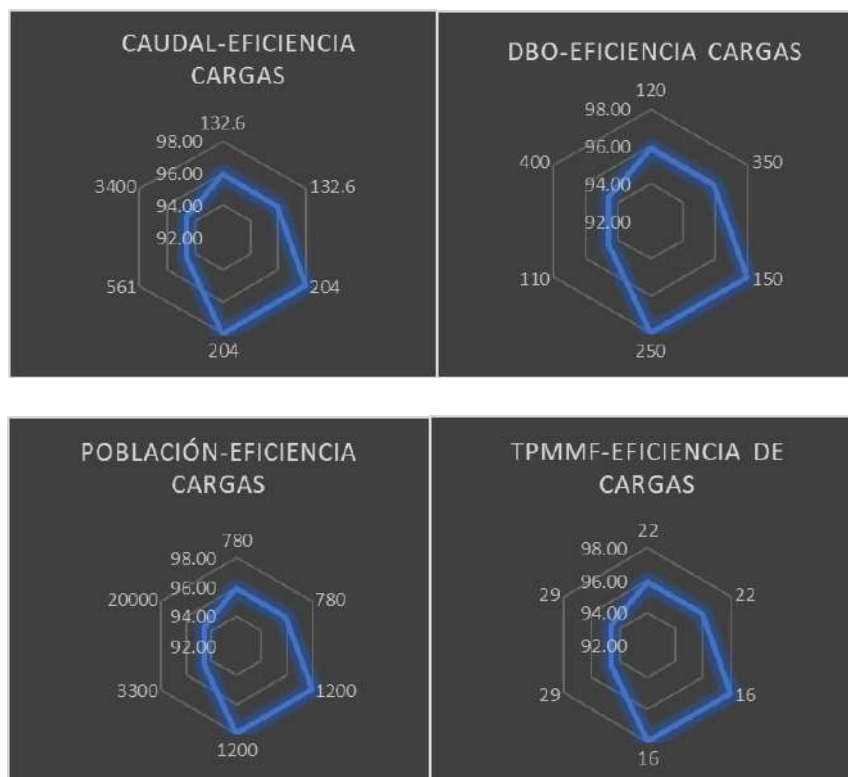
Tabla 1. Datos Inalterados						
	Caudal (m3/día)	DBO (mg/lit)	Habitantes	TPMMF(°C)	EFICIENCIA DBO (%)	EFICIENCIA CARGAS (%)
Población 1	132.6	120	780	22	126.29	95.91
Población 2	132.6	350	780	22	104.92	95.91
Población 3	204	150	1200	16	111.13	97.99
Población 4	204	250	1200	16	104.36	97.99
Población 5	561	110	3300	29	101.87	94.59
Población 6	3400	400	20000	29	93.86	94.59

A partir del diseño de *Lagunas Facultativas*, mediante el método de McGarry y Pescod, se tuvieron en cuenta los datos anteriores y se hizo una comparación entre las diversas variables, y su incidencia en la eficiencia de remoción de contaminantes del método. Para este caso fue empleada la eficiencia por *DBO Soluble* además de una Relación de Cargas.

EFICIENCIA DBO



EFICIENCIA CARGAS



A continuación, fueron utilizados *valores semilla* a los cuales se les hizo una previa modificación, contexto donde se establecieron rangos para Población, Caudal, DBO y TPMMF, siendo estos los siguientes:

Tabla 2. Rangos de Modificación

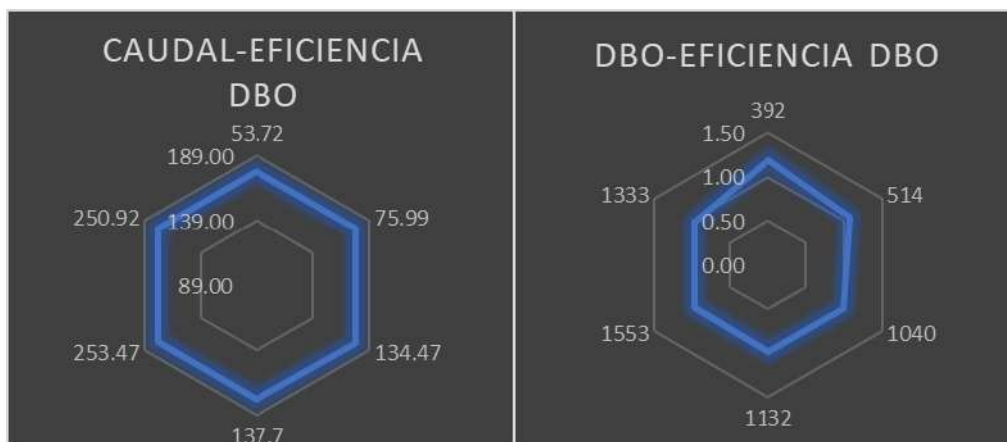
Rango	Temperatura	Población (Hab)	Dotación*Hab(m3/Día)	DBO (mg/lit)
Bajo	5 a 15°	200-750		RANGO 200-750
Inter-medio	16 a 25°	751-1200	0.2	751-1200
Alto	26 a 35°	1 2 0 1 - 1600		1201-1600

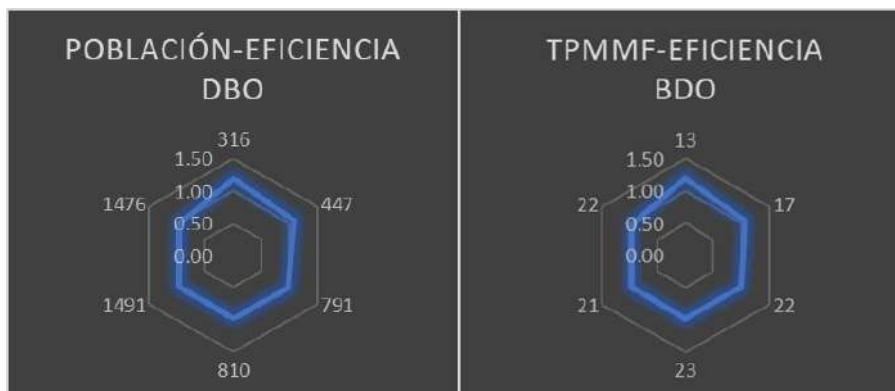
Para el primer caso fue determinado el rango de temperaturas para clima *Frío*, establecido entre 5 a 15°, ámbito donde se analizó la varianza de las eficiencias con respecto a las diversas poblaciones delimitadas en los rangos de *Bajo*, *Intermedio* y *Alto*.

Tabla 3. Datos Alterados Clima Frío

	Caudal (m3/día)	DBO (mg/lit)	Habitantes	TPMMF(°C)	EFICIENCIA DBO (%)	EFICIENCIA CARGAS (%)
Población 1	53.72	392	316	13	1.19	1.00
Población 2	75.99	514	447	17	1.08	1.00
Población 3	134.47	1040	791	22	0.99	1.02
Población 4	137.7	1132	810	23	0.98	1.01
Población 5	253.47	1553	1491	21	0.96	1.02
Población 6	250.92	1333	1476	22	0.96	0.98

EFICIENCIA DBO





EFICIENCIA CARGAS

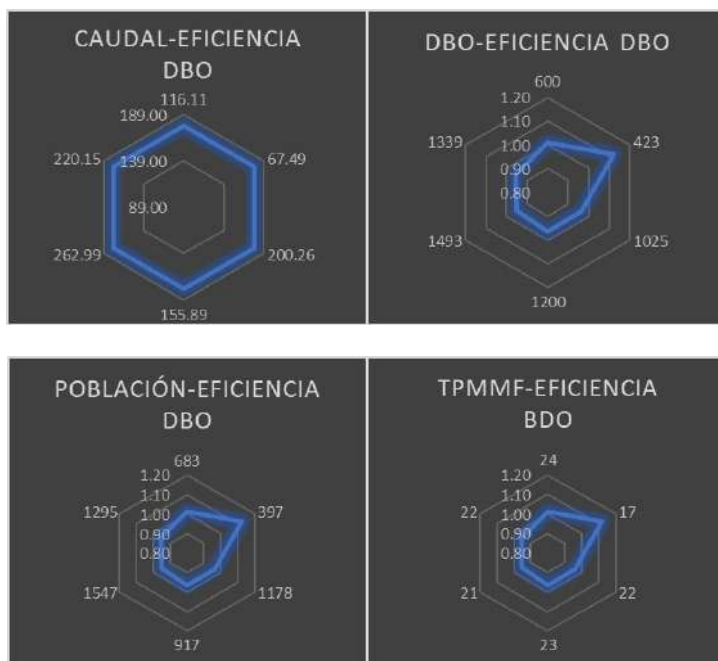


Para el segundo caso fue determinado el rango de temperaturas para clima *Templado* (establecido entre 16 a 25°), ámbito donde se analizó la varianza de las eficiencias respecto de las diversas poblaciones delimitadas en los rangos de *Bajo*, *Intermedio* y *Alto*.

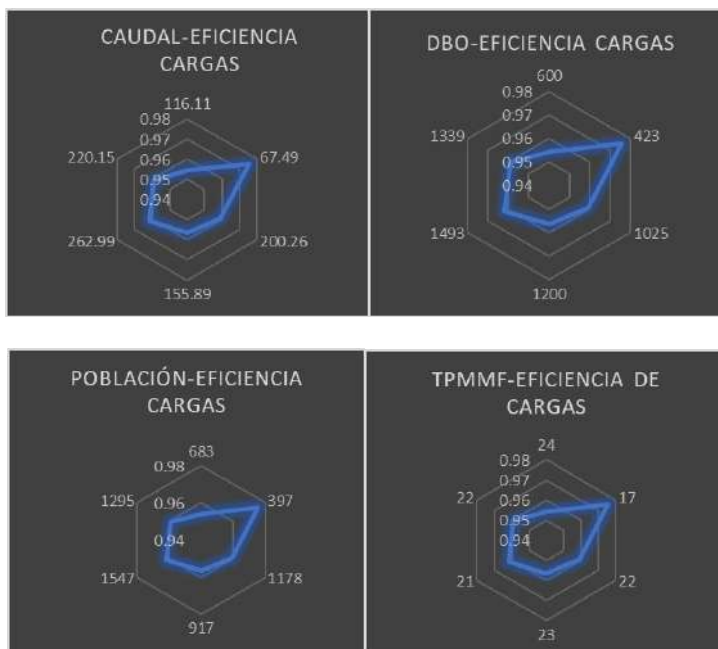
Tabla 4. Datos Alterados Clima Templado						
	Caudal (m ³ / día)	D B O (mg / lt)	Habitantes	TPMMF (°C)	EFICIENCIA D B O (%)	EFICIENCIA CARGAS (%)
Población 1	116.11	600	683	24	1.01	0.95
Población 2	67.49	423	397	17	1.12	0.98
Población 3	200.26	1025	1178	22	0.96	0.96

Población 4	155.89	1200	917	23	0.96	0.96
Población 5	262.99	1493	1547	21	0.95	0.96
Población 6	220.15	1339	1295	22	0.96	0.96

EFICIENCIA DBO



EFICIENCIA CARGAS



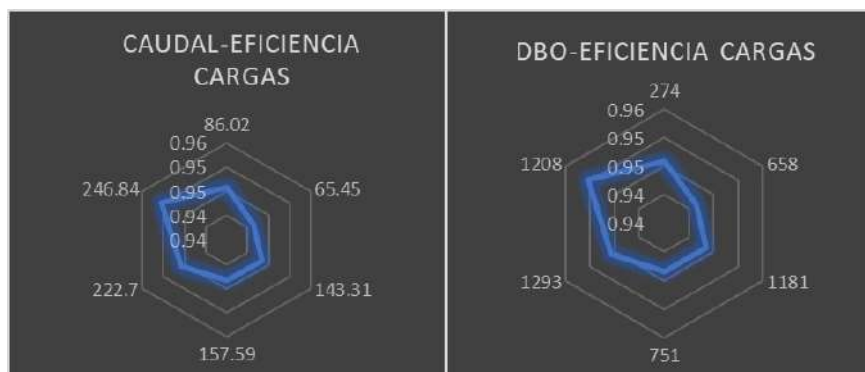
Para el último caso fue determinado el rango de temperaturas para clima *Caliente* (establecido entre 26 a 35°), ámbito donde se analizó la varianza de las eficiencias respecto a las diversas poblaciones delimitadas en los rangos de *Bajo*, *Intermedio* y *Alto*.

Tabla 5. Datos Alterados Clima Caliente						
	Caudal (m3/día)	DBO (mg/lit)	Habitantes	TP- MMF(°C)	EFICIENCIA DBO (%)	EFICIENCIA CARGAS (%)
Población 1	86.02	274	506	29	1.15	0.95
Población 2	65.45	658	385	33	1.05	0.94
Población 3	143.31	1181	843	31	0.96	0.94
Población 4	157.59	751	927	31	0.98	0.94
Población 5	222.7	1293	1310	29	0.95	0.95
Población 6	246.84	1208	1452	26	0.95	0.95

EFICIENCIA DBO



EFICIENCIA CARGAS





3. CONCLUSIONES

Cuando la cantidad de *DBO* es alto y un caudal bajo, el método de *DBO soluble* deja de ser eficiente y se debe de usar el cálculo por relación de cargas. Por otro lado, en la realidad nunca se va a presentar una eficiencia del 100% en las lagunas facultativas.

A partir de los resultados obtenidos, para los datos inalterados, se obtiene que el cálculo de eficiencia por relación de cargas demuestra ser más efectivo que el cálculo por *DBO soluble*, ya que este último presenta eficiencias superiores al 100 %. Adicionalmente, al momento de presentar un clima frío y una población elevada, sólo el método de *DBO soluble* presenta eficiencias aceptables, pues el cálculo por relaciones de cargas presenta valores del 100 % en adelante.

Por último, la temperatura es un valor fundamental a la hora de realizar los cálculos, ya que estos contribuyen con el aumento o disminución de la carga superficial máxima, y a su vez, si el aumento de la población no es acompañado por un aumento en la dotación, los valores de eficiencia, área superficial y carga superficial máxima, seguirán siendo similares.

REFERENCIAS

- Acosta Castellanos, P. M.; Guerrero Sierra, H. & Vega, M. E. (2018). *Estudios sobre medio ambiente y sostenibilidad: una mirada desde Colombia*. Ediciones USTA.
- Acosta Castellanos, P. M. & Queiruga Dios, A. (2021). "From environmental education to education for sustainable development in higher education: A systematic review". *International Journal of Sustainability in Higher Education*, ahead-of-p(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/IJSHE-04-2021-0167>
- Acosta Castellanos, P. M.; Queiruga Dios, A.; Hernández Encinas, A. & Ortégón, A. C. (2020). Analysis of environmental sustainability educational approaches in engineering education. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies*, CISTI. <https://doi.org/10.23919/CISTI49556.2020.9140919>
- Acosta-Castellanos, P. M. & Pacheco-García, B. H. (2024). "Alternativa a la corrección de la eficiencia por *DBO soluble* en lagunas de estabilización". *Revista L'Esprit Ingénieux*, 13(1), 76-87. Recuperado a partir de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/3024>

- Camacho, J. C. E. & Sánchez, J. C. (2016). "Publicación de cartilla sobre Resolución 0631 de 2015 acerca de vertimientos". *Boletín El Palmicultor*, 10–11.
- Cortés-Martínez, F.; Treviño-Cansino, A.; Aracelia Alcorta García, M. & Vélez, J. G. L. (2020). "Graphic design for organic matter and retention time in facultative lagoons | Diseño gráfico para la materia orgánica y el tiempo de retención en lagunas facultativas". *Tecnología y Ciencias del Agua*, 11(2), 158–189. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-02-04>
- Larios, F.; González, C. & Morales, Y. (2015). "Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú". *Saber y Hacer: Revista de La Facultad de Ingeniería de La USIL*, 2(2), 9–25. <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
- Mejía Ruíz, R.; Aguirre, N.; Correa Restrepo, G. & Cuervo Fuentes, H. (2013). "Monitoring of the stabilization ponds system in Santa Fé de Antioquia, Colombia". *Scielo*, 7(2), 36–51. <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/263>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021a). Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales. En Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021b). Resolución 1256 de 2021. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, 1–6. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1256-de-2021.pdf>
- Morales, R. S., Domínguez, E. R., & Mata, M. M. (2010). Stochastic evaluation of stabilization ponds. Application to primary facultative ponds in the province of Villa Clara (Cuba) | Evaluación estocástica de lagunas de estabilización. Aplicación a lagunas facultativas primarias en la provincia de Villa Clara C. *Afinidad*, 67(547), 198–202.
- Muñoz Arias, V. K. (2021). Tratamiento de aguas residuales del procesamiento pesquero artesanal mediante lagunas facultativas para disminuir el impacto ambiental. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 3(1), 1689–1699. Disponible en: <http://journal.unilak.ac.id/index.php/JIEB/article/view/3845%0Ahttp://dspace.uc.ac.id/handle/123456789/1288>
- Núñez, J. C. & Fragoso-Castilla, P. J. (2020). "Uso de macroinvertebrados acuáticos como sistema de evaluación de las lagunas de estabilización El Salguero (Colombia)". *Información Tecnológica*, 31(3), 277–284. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000300277>
- Osorio, R. M. A.; Carrillo, B. W. E.; Costales, N. J. H.; Riera, G. E. J. & Loo, L. X. A. (2021). "La calidad de las aguas residuales domésticas". *Polo del Conocimiento*, 6(3), 228–245. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2360>
- Rubio Clemente, A.; Chica Arrieta, E. L. & Peñuela Mesa, G. A. (2013). "Wastewater treatment processes for the removal of emerging organic pollutants". *Ambiente y Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 8(3), 93–103. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1176>
- Sánchez Ortiz, A. I. & Matsumoto, T. (2012). "Performance evaluation of the ILHA Solteira's city (SP) sewage treatment plant by primary facultative ponds". *Ingeniería y Desarrollo*, 30, 199–222.

Resolución 0330 de 2017, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. República de Colombia. 182 (2017). [http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330 - 2017.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330-2017.pdf)

Torres, J. J.; Soler, A.; Sáez, J. & Ortuno, J. F. (1997). "Hydraulic performance of a deep wastewater stabilization pond". *Water Research*, 31(4), 679–688. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00293-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00293-X)

Zapata Rivera, A. M.; Ducoste, J.; Peña, M. R. & Portapila, M. (2021). "Computational fluid dynamics simulation of suspended solids transport in a secondary facultative lagoon used for wastewater treatment". *Water (Switzerland)*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/w13172356>

Investigación y Educación en Enfermería. (2007). "El resumen de un artículo científico: Qué es y qué no es". 25 (1), 14-17. Recuperado el 10 de Marzo de 2016, de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-53072007000100001&lng=en&tlng=es

Romero, R. J. (Romero Rojas, J. A.) (2000). "Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización" (1ª ed.). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. ISBN: 9701504038. de 2004).

Universidad del Rosario. (10 de marzo de 2016). *Ciencias humanas - guías de calidad académica*. Recuperado de <http://www.urosario.edu.co/cienciashumanas/GuiasdeCalidad-Academica/49c/>

Revisión de la Variación en Profundidad de Lagunas Facultativas

Review Of Variation
In Depth Of
Facultative Lagoons

Cardona O. Owen Santiago

Universidad Santo Tomás
owen.cardona@usantoto.edu.co
Ingeniero civil

Galán V., Luis Carlos

Universidad Santo Tomás
luis.galan@usantoto.edu.co
Ingeniero civil

Resumen

Las lagunas de estabilización y específicamente las facultativas brindan una solución óptima para el tratamiento de aguas residuales, enfocándose en la remoción del *DBO* a partir de diferentes procesos naturales y elementos prediseñados. Al momento de analizar los factores que asumen mayor relevancia en cuestión de proyectar una *laguna facultativa* se encontró la importancia del tiempo de retención con respecto a la profundidad con la cual se diseña la laguna. Teniendo en cuenta estos valores se obtuvo que es directamente proporcional el valor del tiempo de retención con respecto a la profundidad puesto que se genera un crecimiento lineal, y de esta forma se analiza la posibilidad de estudiar la profundidad más detenidamente, previo a la construcción de una laguna con el fin de obtener tiempos de retención adecuados y eficacia en la depuración del agua tratada.

Palabras clave: Lagunas facultativas, Retención, Hidráulica, Profundidad.

Abstract

Stabilization ponds, and facultative ponds specifically, provide an optimal solution for wastewater treatment, focusing on the removal of *BOD* through various natural processes and pre-designed elements. When analyzing the factors that are most relevant in designing a facultative pond, the importance of retention time in relation to the depth at which the pond is designed was found. Taking these values into account, it was determined that the retention time is directly proportional to the depth, resulting in linear growth. This way, the possibility of studying the depth in more detail prior to the construction of a pond is analyzed in order to obtain appropriate retention times and efficiency in the purification of treated water.

Keywords: Facultative lagoons, Retention, Hydraulics, Depth.

Para citar este artículo: Cardona O., Owen Santiago y Galán V., Luis Carlos. "Revisión de la variación en profundidad de Lagunas Facultativas." In L'Esprit Ingenieux. Vol. 13-1, pp. X-X.

1. INTRODUCCIÓN

Con este trabajo de aula se propone que los estudiantes busquen las alternativas sostenibles a los problemas ambientales de Colombia, generando un pensamiento crítico basado en aprendizaje basado en problemas (ABP), con un sólido soporte bibliográfico y que fomenten en su quehacer la interdisciplinariedad (Acosta Castellanos *et al.*, 2018). Asimismo, se pretende contribuir desde la asignatura a cerrar los vacíos existentes en la formación y entrenamiento de los ingenieros en cuanto al desarrollo sostenible (Acosta Castellanos *et al.*, 2020; Acosta Castellanos & Queiruga Dios, 2021).

Las lagunas que conocemos de estabilización son pozos diseñados y construidos en la tierra, donde se busca que se presente un proceso de tratamiento de agua gracias a los procesos naturales y a la intervención de diferentes factores como las algas y las bacterias. Este tratamiento se genera gracias a diferentes procesos, los cuales van relacionados con respecto al tiempo y a la eliminación del porcentaje de DBO de manera muy eficiente, teniendo también en cuenta que pueden ser de bajo costo; este proceso es logrado gracias a una oxidación bacteriológica y también intervención de las algas en la parte inferior de la laguna. Además, no requieren el uso de energía externa, ya que sólo requiere la luz solar como fuente única de energía para la realización de sus procesos (Kellner E. y Pires E. C., 1998).

Las *lagunas facultativas*, por otra parte, son las que tienen diferentes zonas en su composición y esta es una zona aerobia y anaerobia, las cuales se ubican en la parte superior e inferior, respectivamente. Adicional a esto en la parte intermedia de la laguna podemos encontrar una zona denominable facultativa. En este tipo de lagunas la producción de oxígeno se debe gracias a la actividad fotosintética que realizan las algas y una aireación que se presenta en la superficie; adicional a esto la degradación de la materia orgánica se da gracias a la acción metabólica de las bacterias en condiciones en las que existe presencia de oxígeno y en las que no también (Kellner E y Pires E. C., 1998).

El propósito principal de estas lagunas facultativas es realizar una remoción del DBO (*Demanda Bioquímica de Oxígeno*), usando el aprovechamiento de los organismos que mencionamos anteriormente. Este tipo de lagunas también contribuye a la remoción de diferentes patógenos gracias a los grandes periodos de retención hidráulicos planeados en el diseño, resultante de dividir el volumen de la laguna por el caudal de agua que recibe (Acosta Castellanos & Pacheco García, 2024). Es importante tener en cuenta que el tiempo de retención es realmente significativo cuando todo el material que entra permanece en la laguna por el tiempo establecido puesto que muchas veces hay una diferencia importante en la que una parte del fluido permanece más tiempo; la parte que atraviesa la laguna en un periodo de tiempo más corto alcanza un grado menor de estabilidad, generando una notoria disminución en la eficacia de la depuración (Peña V. M. y Mara D., 2004).

Ahora bien, la profundidad para el diseño de las *lagunas facultativas* es de gran utilidad porque define los límites para el desarrollo adecuado de los procesos al interior de la laguna: con respecto al límite inferior es preciso tener en cuenta una profundidad adecuada, puesto que se debe analizar la proyección de crecimiento

de la vegetación y, en cuanto al límite superior, las profundidades que tienen un rango menor a dos metros asumen el objetivo de limitar una posible zona de estratificación (Peña V. M. y Mara D., 2004).

El propósito de este trabajo apunta al fin de analizar las condiciones de una laguna de estabilización facultativa para suplir las necesidades de una población específica y que tiene ciertas características establecidas tales como los habitantes, la temperatura promedio del lugar y un *DBO* preestablecido. El objetivo primordial es un análisis de estos datos para estudiar el comportamiento de estas lagunas con diferentes valores como los mencionados anteriormente.

Nuestro enfoque será entonces analizar el diseño y la construcción de una laguna de estabilización facultativa, realizando una variación de la profundidad para el diseño de la laguna con el fin de analizar el tiempo de retención del agua, mediante el cual se puede obtener una remoción de patógenos debido a largos periodos de retención hidráulica, la cual permite entre otras cosas la sedimentación de seres como helmintos y la mortalidad de estas mismas. Adicionalmente, se tienen en cuenta los rayos ultravioletas de la energía solar y también el aumento del *PH* por el trabajo de las algas.

2. METODOLOGÍA

Para la elaboración de este artículo de revisión teórica, se siguen tres etapas o momentos distintos: la definición del problema a abordar, la búsqueda de información adicional relacionada con el proyecto y, por último, la organización y análisis de la información recopilada.

En la primera etapa, se establece la problemática objeto de análisis: el uso de *lagunas facultativas* como solución a los problemas de tratamiento de

aguas residuales. En una segunda fase, se lleva a cabo una exhaustiva consulta bibliográfica en busca de documentos y artículos actuales relacionados con el tema. Siguiendo un enfoque deductivo, se comienza con conceptos generales como el tratamiento de aguas residuales, para luego profundizar en el concepto de *lagunas facultativas*. Asimismo, se recopila información sobre parámetros de diseño, eficiencia de remoción de contaminantes, ventajas, desventajas, funcionamiento y aplicaciones. Todo esto se realiza con el objetivo de enriquecer la teoría asociada a la problemática que se está analizando. Y, del mismo modo, se revisan antecedentes y se exploran conceptos relevantes para comprender mejor su funcionamiento. A medida que se recopila esta información, se avanza hacia la siguiente etapa: la organización de la información. En esta fase, se seleccionan los artículos más pertinentes y se extraen los fundamentos teóricos que aportan significativamente a la obra de análisis. Todo esto conduce a la última etapa de análisis, en la que se identifica la aplicabilidad y pertinencia de las *lagunas facultativas* en diversas situaciones de tratamiento de aguas residuales.

3. USO DE LAS LAGUNAS FACULTATIVAS COMO SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A decir verdad, las *lagunas facultativas*, son estructuras que se emplean para el tratamiento de aguas residuales usando procesos naturales de descomposición de las bacterias. Con respecto a los sistemas convencionales para el tratamiento de aguas residuales, tales lagunas operan en condiciones anaeróbicas, lo que significa que no requieren suministro de oxígeno (Tchobanoglous y Schroeder, 1985).

Más aún, el funcionamiento de las lagunas facultativas se basa en la actividad de microorganismos

anaeróbicos presentes en el agua residual. Estos microorganismos descomponen la materia orgánica, convirtiéndola en productos estables, como el gas metano y la biomasa. Este proceso de tratamiento puede lograr una considerable reducción de la carga orgánica y de patógenos, lo que contribuye a la mejora de la calidad del agua (Tchobanoglous y Schroeder, 1985).

4. VENTAJAS DEL USO DE LAS LAGUNAS FACULTATIVAS

El bajo costo de construcción y operación en las *lagunas facultativas* es una de sus ventajas, puesto que requieren inversiones iniciales más bajas en comparación con sistemas convencionales, y sus costos de operación y mantenimiento son menores debido a la falta de requerimientos de energía para la aireación (Metcalf y Eddy, 2003).

Los requerimientos de energéticos son reducidos, puesto que, al operar en condiciones anaeróbicas, las lagunas facultativas consumen significativamente menos energía que los sistemas aeróbicos (Metcalf y Eddy, 2003). Por otra parte, la eficiencia en la remoción de materia orgánica es otra característica que poseen las *lagunas facultativas*, ya que pueden lograr una eficiente remoción de materia orgánica, reduciendo la carga contaminante del agua tratada (Metcalf y Eddy, 2003).

En consecuencia, las *lagunas facultativas* cuentan con una resistencia a fluctuaciones de carga, ya que estas son robustas y pueden manejar variaciones en la carga de aguas residuales, lo que las hace adecuadas para áreas con variaciones en la fluctuación o en otros casos y eventos de lluvia intensa (Metcalf y Eddy, 2003).

5. VARIABLES A ANALIZAR

5.1. Profundidad de la Laguna

La profundidad de la laguna es un factor muy importante en el diseño. Efectivamente, una profundidad adecuada permite la separación de los sólidos sedimentables y garantiza que el efluente final sea de calidad aceptable. La profundidad suele oscilar entre 0.5 y 3 metros, dependiendo de las condiciones locales y la carga orgánica (Mara y Pearson, 1998).

5.2. Relación Anchura - Longitud

La relación entre la anchura y la longitud de la laguna es importante para proporcionar un flujo adecuado y una distribución uniforme del agua residual. Se busca evitar zonas muertas y asegurar que el agua se mueva a través de la laguna de manera eficiente. Las relaciones típicas varían, pero una relación de 1:2 a 1:3 suele ser efectiva (Matos, 2006).

5.3 Relación entre el tiempo de retención hidráulico y la profundidad de la laguna

El tiempo de retención hidráulico es un parámetro crítico en el diseño de *lagunas facultativas* para el tratamiento de aguas residuales, y su relación con la profundidad de la laguna es fundamental para garantizar un rendimiento adecuado del sistema (Mara y Pearson, 1998).

Así las cosas, la relación entre el tiempo de retención hidráulico y la profundidad de la laguna se establece de manera inversamente proporcional. Esto significa que a mayor profundidad de la laguna, se logrará un tiempo de retención hidráulico más largo. En otras palabras, si se desea aumentar el tiempo que el agua residual permanece en la laguna, esto se puede lograr aumentando la profundidad de la laguna, y si se desea un tiempo de retención hidráulico más corto, se puede reducir la profundidad (Reed y Crites, 1984).

La relación entre tiempo de retención hidráulico y profundidad es crucial porque afecta directamente la eficiencia del proceso de tratamiento. Asimismo, un tiempo de retención hidráulico más largo permite una mayor exposición de las aguas residuales a los microorganismos anaeróbicos presentes en la laguna, lo que puede resultar en una mejor descomposición de la materia orgánica y una mayor remoción de contaminantes. Sin embargo, un tiempo de retención hidráulico excesivamente largo puede causar problemas, como la acumulación de sólidos sedimentables y la falta de oxígeno disuelto, lo que puede afectar negativamente el proceso anaeróbico (Reed y Crites, 1984).

Por otro lado, un tiempo de retención hidráulico más corto, logrado mediante una menor profundidad de la laguna, puede ser apropiado en situaciones donde se requiere una remoción más rápida de los contaminantes o cuando el flujo de aguas residuales es elevado. Sin embargo, en este caso, es importante asegurarse de que el tiempo de retención hidráulico aún sea suficiente para permitir la degradación adecuada de la materia orgánica (Sperling, 2007).

5.3.1 Resultados en el ejercicio de la variación de la profundidad con respecto al tiempo de retención hidráulico

Teniendo datos supuestos iniciales de cantidad de habitantes, DBO y la temperatura del municipio, se procede a realizar el cálculo de los parámetros de una laguna facultativa empleando el método de McGarry y Pescot.

Población 1			Población 2			Población 3		
Habitantes	780	Hab	Habitantes	780	Hab	Habitantes	1200	Hab
DBO	120	mg/Lt	DBO	350	mg/Lt	DBO	150	mg/Lt
DBO	0,12	Kg/m ³	DBO	0,35	Kg/m ³	DBO	0,15	Kg/m ³
Temperatura	22	°C	Temperatura	22	°C	Temperatura	16	°C
Población 4			Población 5			Población 6		
Habitantes	1200	Hab	Habitantes	6300	Hab	Habitantes	8700	Hab
DBO	250	mg/Lt	DBO	110	mg/Lt	DBO	400	mg/Lt
DBO	0,25	Kg/m ³	DBO	0,11	Kg/m ³	DBO	0,4	Kg/m ³
Temperatura	16	°C	Temperatura	29	°C	Temperatura	29	°C

Fig. 1. Datos iniciales de cada población.

Al realizar la variación la profundidad con los parámetros dados en cada una de las poblaciones, encontramos un comportamiento lineal en el incremento del tiempo de retención hidráulico a medida que se aumenta la profundidad de la laguna.

Se toman variaciones de profundidad de 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 metros. A continuación, se observa el comportamiento de dicha variación para la población 1 y 4.

Y se calcula el método:

- Cálculo de caudales:

$$Q = 0,85 * 200 \frac{l}{Hab * dia} * Hab$$

(Mc Garry Pescod, 1988).

(Mc Garry Pescod, 1988).

- Carga orgánica del remanente:

$$CO_1 = DBO * Q * Er$$

(Mc Garry Pescod, 1988).

(Mc Garry Pescod, 1988).

- Carga orgánica del remanente:

$$(1)CO_1C = (CSM - COR) \text{ ó } (2)CO_1C = CO1 * 2$$

(Mc Garry Pescod, 1988).

(Mc Garry Pescod, 1988).

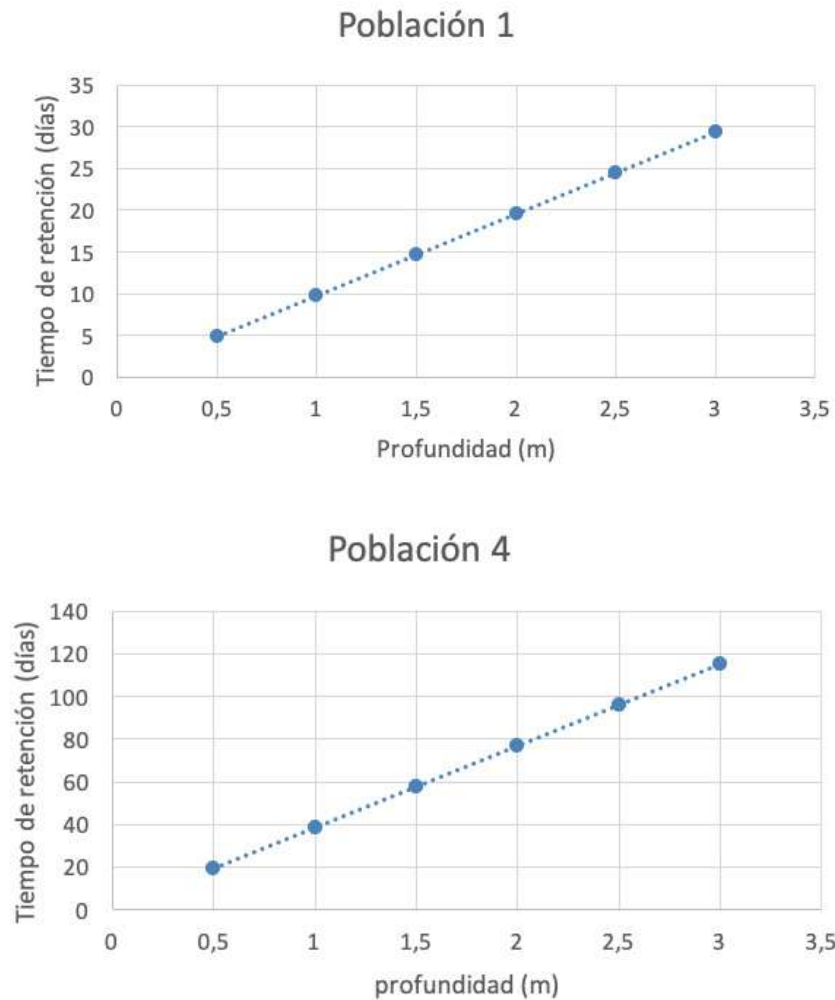


Fig. 2. Gráfica variación, Tiempo de retención versus Profundidad.

Se observa un incremento en el tiempo de retención a medida que aumenta la profundidad de la *laguna facultativa*, que claramente va ligado a la cantidad de habitantes que tiene la población, y consecuentemente al caudal que produce dicha

población. Por esa razón se observa en la *población 1* un mínimo de 5 días de retención con una profundidad de 0.5 metros y un máximo de retención de 30 días con una profundidad de 3 metros, y en el caso de la *población 4* un mínimo de 20 días con una profundidad de 0.5 metros y un máximo de retención de 120 días con una profundidad de 3 metros.

Es claro que al observar un aumento del tiempo de retención es favorable, ya que permite que los microorganismos anaeróbicos estén mucho más tiempo en contacto con el agua a tratar, lo cual genera un aumento en la productividad de la laguna, pero es de igual importancia tener en cuenta que la laguna -al ser muy profunda- también generará acumulación de lodos, que podría causar la falta de oxígeno disuelto y afectar el proceso; lo cual va directamente ligado a la aparición de costos, pues es de suma importancia para la población que desea implementar una *laguna facultativa* como tratamiento a sus aguas residuales.

6. RELACIÓN DE COSTOS CON RESPECTO A LA PROFUNDIDAD DE LA LAGUNA

Existe un aspecto relevante que debe ser tenido en cuenta en el diseño y planeación de un proyecto que involucre tratamiento de aguas residuales, que consiste en la relación entre la profundidad de la laguna y sus costos de realización. De esta manera, deben tenerse en cuenta los factores importantes en dicha relación (Sperling, 2007).

A mayor profundidad, mayor excavación. Esto quiere decir que, conforme se aumenta la profundidad de la laguna, en la mayoría de veces esto requiere una excavación de una mayor área proporcional a la profundidad deseada. Asimismo, los costos aumentan

en cuanto al factor de excavación y, por supuesto, los materiales excavados (García, 2007).

Adicionalmente, existe una relación proporcional en cuando a la profundidad y el volumen de construcción. De hecho, las lagunas menos profundas necesitan menos material de construcción que evita la infiltración de agua subterránea, tales como el concreto, geomembranas, para abastecer las paredes de la laguna. Por lo tanto, la carencia de profundidad reducirá igualmente los costos del proyecto (García, 2007).

Finalmente, en términos de costos, el mantenimiento de las lagunas puede llegar a definirse por su profundidad. De esta manera, se afirma que las lagunas más profundas requieren un mantenimiento más exhaustivo, más tiempo y más esfuerzo en su limpieza, además de requerimientos como su inspección periódica. Asimismo, es válido afirmar que las lagunas de menor profundidad requieren de menos costo en su mantenimiento (Mara y Pearson, 1988).

7. CONCLUSIONES

Por lo demás, las *lagunas facultativas* representan una alternativa valiosa y sostenible en el tratamiento de aguas residuales. Su simplicidad, eficiencia y costos reducidos las convierten en una opción atractiva para abordar los problemas de tratamiento de aguas residuales en diversas aplicaciones. A medida que la conciencia ambiental y la búsqueda de soluciones sostenibles continúan creciendo, este prototipo se posiciona como una herramienta esencial en la gestión de los recursos hídricos y la protección del medio ambiente.

A todas luces, el diseño de *lagunas facultativas* para el tratamiento de aguas residuales requiere una cuidadosa consideración de varios parámetros clave. La selección adecuada

de estos parámetros garantiza que la laguna funcione de manera eficiente y cumpla con los estándares ambientales.

En resumen, la relación entre el tiempo de retención y la profundidad de la laguna es una consideración esencial en el diseño, y debe equilibrarse cuidadosamente para lograr un rendimiento óptimo del sistema de tratamiento de aguas residuales. La elección de esta relación depende de las condiciones específicas del sitio y de los objetivos de tratamiento.

Finalmente, la relación entre la profundidad de la laguna y los costos de su realización es compleja y depende de varios factores, incluida la geología del sitio, las condiciones ambientales, los requisitos de diseño y las regulaciones locales. En la fase de diseño de un proyecto de tratamiento de aguas residuales, es esencial realizar un análisis de costos detallado que tenga en cuenta estos factores para tomar decisiones informadas sobre la profundidad óptima de la laguna.

REFERENCIAS

Acosta Castellanos, P. M.; Guerrero Sierra, H. & Vega, M. E. (2018). *Estudios sobre medio ambiente y sostenibilidad: Una mirada desde Colombia*. Ediciones USTA. <http://hdl.handle.net/11634/22658>

Acosta Castellanos, P. M. & Pacheco García, B. H. (2024). "Alternativa a la corrección de la eficiencia por DBO soluble en lagunas de estabilización". *Revista L'Esprit Ingénieurs*, 13(1), 76-87. Recuperado de: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingenieurs/article/view/3024>

Acosta Castellanos, P. M. & Queiruga Dios, A. (2021). "From environmental education to education for sustainable development in higher education: A systematic

review". *International Journal of Sustainability in Higher Education* (ahead-of-print). Recuperado de: <https://doi.org/10.1108/ijshe-04-2021-0167>

Acosta Castellanos, P. M.; Queiruga Dios, A.; Hernández Encinas, A. & Ortegón, A. C. (2020). *Analysis of environmental sustainability educational approaches in engineering education*. Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI. Recuperado de: <https://doi.org/10.23919/CISTI49556.2020.9140919>

García, J., & Magri, A. (2007). *Lagunas de estabilización: Manual de diseño y operación*. Comisión Nacional del Agua. Retrieved from <https://www.cna.gob.mx>.

Kellner E.; Pires E. C. (1998). "Lagoas de estabilização, projeto e operação". Rio de Janeiro: Abes, pp. 13-17, 28-36, 48-59.

Matos, T. R. & Von Matos, M. (2006). "Variations in Pond Depth and Design: Impact on the Performance of Waste Stabilization Ponds." *Faltan datos bibliográficos ¿????*

Mara, D., & Pearson, H. W. (1998). *Design manual for waste stabilization ponds in Mediterranean countries*. Leeds, UK: Lagoon Technology International.

Metcalf & Eddy, Inc., & Tchobanoglous, G. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. Boston, MA: McGraw-Hill.

Peña, V. M., & Mara, D. (2004). *Waste stabilisation ponds*. The Netherlands: IRC International Water and Sanitation Centre.

Reed, S. C., & Crites, R. W. (1984). *Natural systems for waste management and treatment*. New York, NY: McGraw-Hill.

Romero Rojas, J. A. (2000). Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización (1ª ed.). Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. ISBN: 9701504038.

Silva S. A., Mara D. D. (1976). *Tratamentos biológicos de águas residuárias: Lagoas de estabilização*. Rio de Janeiro: Ed. Abes. 140 p.

Tchobanoglous, G., & Schroeder, E. D. (1985). Water quality: Characteristics, modeling and modification. Reading, MA: Addison-Wesley.

Von Sperling, M. (2007). Introduction to wastewater treatment processes. London, UK: IWA Publishing.

Desarrollo y Análisis de Diseño para una Laguna Facultativa

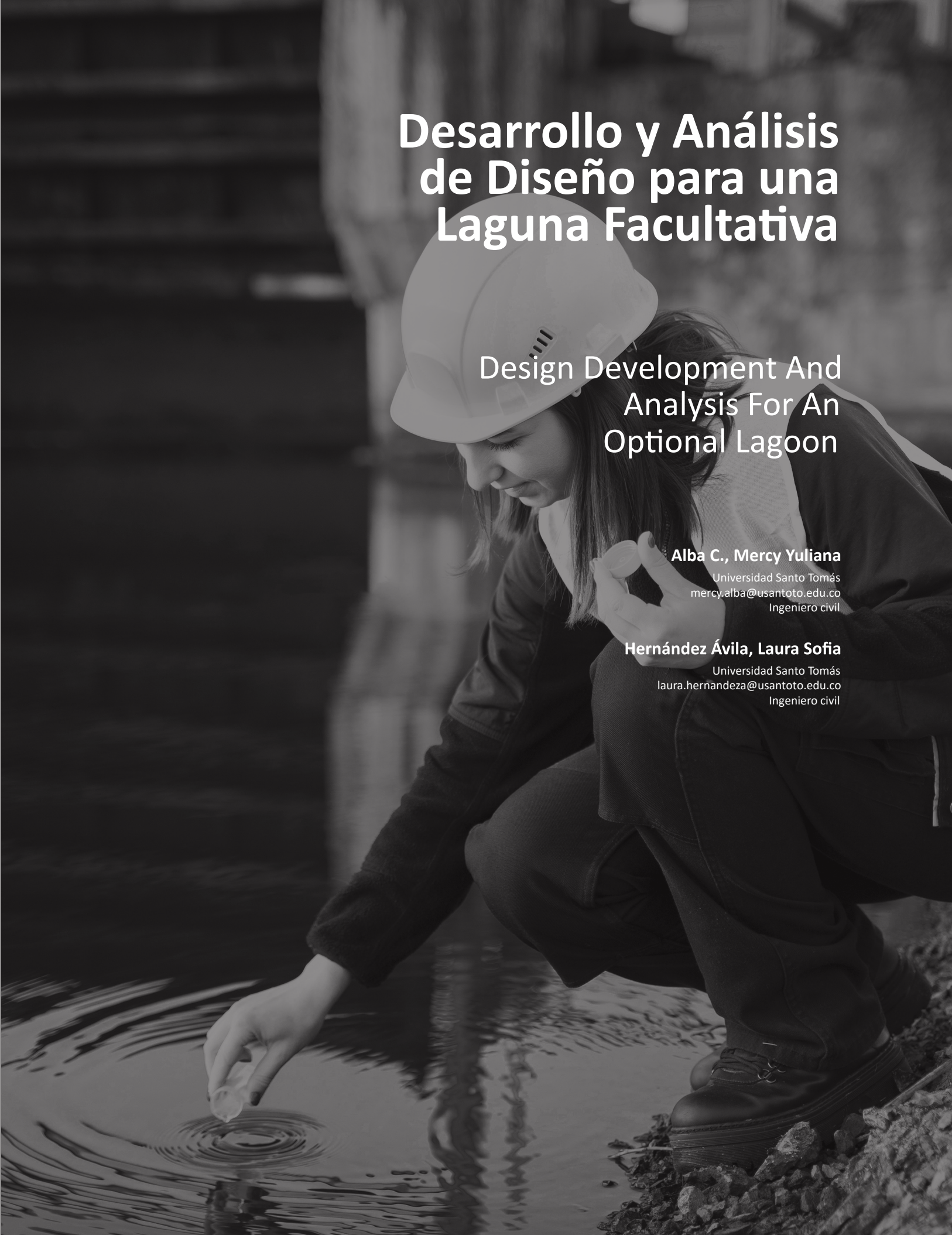
Design Development And
Analysis For An
Optional Lagoon

Alba C., Mercy Yuliana

Universidad Santo Tomás
mercy.alba@usantoto.edu.co
Ingeniero civil

Hernández Ávila, Laura Sofia

Universidad Santo Tomás
laura.hernandez@usantoto.edu.co
Ingeniero civil



Resumen:

Resumen

En este trabajo se mostrará cómo diseñar lagunas facultativas siguiendo el método de McGarry & Pescot (1998), para determinar sus características en función de seis poblaciones con su respectiva información. También se expondrá la importancia de estas lagunas como una solución efectiva y económica para el tratamiento del agua en diversas poblaciones. Se describirán sus características, limitaciones, opciones de aplicación, y se llevará a cabo el cálculo y análisis de parámetros como el caudal, la DBO (demanda bioquímica de oxígeno), el área requerida para el diseño de la laguna, el tiempo de depuración de bacterias, la altura necesaria y la eficiencia del proyecto en relación con estos parámetros, entre otros. Posteriormente, se realizarán variaciones en algunos de estos parámetros para analizar cómo cambian en función del número de habitantes en cada población.

Palabras clave: Laguna facultativa, Tratamiento, Parámetros, Método.

Abstract

In this work, we will demonstrate how to design facultative ponds following the method of McGarry & Pescot (1998) to determine their characteristics based on six populations with their respective information. We will also highlight the importance of these ponds as an effective and economical solution for water treatment in various populations. We will describe their features, limitations, application options, and perform calculations and analysis of parameters such as flow rate, *BOD* (biochemical oxygen demand), the required area for pond design, bacteria purification time, necessary depth, and project efficiency in relation to these parameters, among others. Subsequently, variations will be made in some of these parameters to analyze how they change depending on the population size in each respective population.

Keywords: Facultative pond, Treatment, Parameters, Method.

Para citar este artículo: Alba C., Mercy Yuliana; Hernández Ávila, Laura Sofía. "Desarrollo y análisis de diseño para una laguna facultativa." In *L'Esprit Ingénieux*. Vol. 13-1, pp. X-X.

1. INTRODUCCIÓN

Con esta tarea de clase, se busca que los estudiantes investiguen soluciones sostenibles para los problemas ambientales en Colombia, promoviendo un pensamiento crítico a través del enfoque del aprendizaje basado en problemas y respaldado por fuentes bibliográficas, al mismo tiempo que fomenten la colaboración interdisciplinaria (Acosta Castellanos *et al.*, 2018). Además, se pretende que esta actividad contribuya a cerrar las brechas de conocimiento en la formación y capacitación de ingenieros en el campo del desarrollo sostenible, desde la perspectiva de la asignatura (Acosta Castellanos *et al.*, 2020; Acosta Castellanos & Queiruga Dios, 2021).

Las aguas residuales, son las cuales resultan de viviendas, núcleos urbanos e industriales, estas aguas contienen altos contaminantes orgánicos, sólidos sedimentables y bacterias, por lo que se buscan soluciones para tratarlas y con ello poder utilizarla en otras actividades como reemplazar el agua dulce para riego o fines recreativos (Sharma & Ahammed, 2023). Por ello se buscan soluciones para el tratamiento de estas aguas, dentro de estos tipos de tratamientos se encuentran las lagunas de estabilización.

Las lagunas de estabilización son tanques donde las aguas residuales son tratadas por procesos naturales, en las que uno de estos puede contener algas, cabe resaltar que estos tipos de tratamientos son muy utilizados ya que benefician su bajo costo (Tsunao Matsumoto, 2010).

El propósito de los sistemas de lagunas de estabilización es eliminar la materia orgánica, es decir, el *DBO* en unidades (mg L⁻¹); eliminación de nitrógeno, fósforo y coliformes fecales con unidades muy probablemente por 100 ml (*NMP* 100 ml⁻¹). Estos últimos transmiten enfermedades como: cólera, hepatitis infecciosa, tifus, gastroenteritis entre otras enfermedades graves (Martínez, Cansino, Rojas, Ramón, & Sifuentes, 2014).

Se tienen en general tres tipos de lagunas, una de ellas son las lagunas facultativas las cuales son una de las más simples de los sistemas de lagunas de estabilización, sus procesos consisten en la detención de las aguas residuales (Acosta-Castellanos & Pacheco García, 2024; Von Sperling, 2009).

Las lagunas facultativas son un sistema de tratamiento de aguas residuales utilizado principalmente para tratar las aguas domésticas e industriales, de igual forma, estas permiten procesos aeróbicos y anaeróbicos para la eliminación de contaminantes; cabe resaltar que una de las características de estas es que son poco profundas y grandes, por lo que como se mencionó anteriormente son muy viables económicamente (Eddy, 2013).

2. METODOLOGÍA

El propósito de este estudio fue establecer las propiedades geométricas y de tratamiento correspondientes a la laguna. En una fase inicial, se procedió a calcular la carga orgánica superficial máxima, la cual representa la cantidad máxima que puede aplicarse en relación con la superficie de contacto. El cálculo de esta carga se determina de la siguiente manera (Romero, 2004):

$$CSM = 60,3(1,0993)^T \quad [1]$$

Donde:

CSM: Carga superficial (KgDBO/Ha*d)

T: Temperatura del mes más frío (°C)

Luego de esto se determina el área superficial, la cual es el área expuesta al ambiente una vez la laguna este en uso y determinara la superficie necesaria para poder albergarla. Se determina con la siguiente expresión (Romero, 2004):

$$A = \frac{Q * DBO}{1000 * CSM} \quad [2]$$

Donde:

A: Área (Ha)

DBO: Demanda biológica de oxígeno (mg/l)

CSM: Carga orgánica superficial máxima (kgDBO/ha-d)

Una vez que se ha determinado el área, se avanza al cálculo del tiempo de residencia hidráulica, el cual se define como el período durante el cual el agua residual permanecerá en la laguna. Es importante señalar que en este tipo de tratamientos, los tiempos de residencia suelen ser prolongados, medidos en días, ya que la degradación biológica se lleva a cabo sin depender de la adición de sustratos, procesos mecánicos o químicos. La expresión matemática que representa este tiempo es la siguiente (Romero, 2004):

$$\theta = \frac{A * H}{Q} \quad [3]$$

Donde:

θ : Tiempo de residencia hidráulica (días)

A: área (m²)

H: profundidad útil de la laguna (m)

Q= Caudal (m³ /día)

Se prosigue a hallar la carga volumétrica orgánica que expresa la carga orgánica por unidad de volumen que recibe la totalidad el sistema en este caso la laguna. Esta dada por (Romero, 2004):

$$COV = \frac{DBO * Q}{A * H} \quad [4]$$

Donde:

COV: Carga volumétrica orgánica (gDBO/m³ -día)

DBO: Demanda biológica de oxígeno (g/l)

Q= Caudal (m³ /día)

A: área (m²)

H: profundidad útil de la laguna (m)

Dado esto, se calcula la carga orgánica superficial removida mediante la siguiente expresión (Romero, 2004):

$$COR = 10,35 + 0,725(CSM) \quad [5]$$

Donde:

COR: Carga orgánica superficial removida (kg DBO / ha-d)

CSM: Carga orgánica superficial máxima (kg DBO / ha-d)

Con estos datos, se procede a determinar la eficiencia de remoción, que indica la cantidad de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) que el sistema puede eliminar por unidad de superficie en un día de operación. Normalmente, esta eficiencia se expresa en porcentaje y se calcula mediante la siguiente fórmula (Romero, 2004):

$$E = \frac{COR}{CSM} \quad [6]$$

Donde:

E: Eficiencia (%)

COR: Carga orgánica superficial removida (kg DBO / ha-d)

CSM: Carga orgánica superficial máxima (kg DBO / ha-d)

En esta fase del proceso de diseño, resulta crucial comparar los requisitos del sistema con los estándares establecidos por las autoridades pertinentes o, en este caso específico, por el proveedor. Se busca determinar si, hasta este punto, se han cumplido con estos requisitos o si es necesario realizar ajustes o correcciones en el sistema. (Romero, 2004)

Posterior a esta etapa, se llevó a cabo el proceso de ajuste, centrándose en calcular la carga orgánica del efluente primario, utilizando la siguiente expresión (Romero, 2004):

$$Er = 100 - E \quad [7]$$

Donde:

Er: remanente

E: eficiencia

Luego de ello se calcula la carga orgánica

$$CO1 = DBO * Q * Er \quad [8]$$

Donde:

CO1= carga orgánica del efluente primario (kgDBO/d)

DBO: Demanda biológica de oxígeno (g/lt)

Q= Caudal (m3 /día)

Er: remanente

Enseguida, realizamos la corrección por relación *DBO total / DBO soluble*

$$CO1c = CO1 * 2 \quad [9]$$

Donde:

CO1c: Carga orgánica corregida (kg DBO/d)

CO1= carga orgánica del efluente primario (kg DBO/d)

Después de este paso, se elige un valor de carga superficial que sea inferior al máximo calculado inicialmente (CSM) y que sea idéntico al CO1c, asegurándose de que las unidades correspondan a una carga superficial (kg DBO / ha-d). Luego, se procede a realizar los mismos cálculos previos, que incluyen el tiempo de residencia hidráulico, la carga volumétrica, la carga orgánica superficial removida y la eficiencia. Finalmente, se calcula la eficiencia global del sistema mediante la siguiente expresión (Romero, 2004):

$$Et = 1 - (1 - E1)(1 - E2) \quad [10]$$

3. RESULTADOS

Tabla 1. Datos de entrada

Consumo diario	200	Lt/hab*d	DATOS DE ENTRADA					
POBLACIÓN	HABITANTES (Habs)	DBO (mg/Lt)	DBO (g/m ³)	DBO (Kg/m ³)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES MAS FRIO (°C)	ALTURA	CAUDAL (Lt/d)	CAUDAL (m ³ /d)
1	780	120	120	0,12	22	1	132600	132,60
2	780	350	350	0,35	22	1	132600	132,60
3	1200	150	150	0,15	16	1	204000	204,00
4	1200	250	250	0,25	16	1	204000	204,00
5	6300	110	110	0,11	29	1	1071000	1071,00
6	8700	400	400	0,4	29	1	1479000	1479,00

Tabla 2. Cálculos

CALCULOS									
CSM (kgDBO/ha*d)	ÁREA (ha)	ÁREA (m ²)	TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRAULICA (dia)	COV (gDBO/m ³ *d)	COR (KgDBO/Ha*d)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/d)	CO1C (KgD-BO/d)
484,03	0,0329	328,738	2,48	48,40	361,27	0,75	0,25	122,76	245,52
484,03	0,0959	958,820	7,23	48,40	361,27	0,75	0,25	122,76	245,52
274,27	0,1116	1115,692	5,47	27,43	209,20	0,76	0,24	65,07	130,15
274,27	0,1859	1859,487	9,12	27,43	209,20	0,76	0,24	65,07	130,15
939,05	0,1255	1254,568	1,17	93,90	691,16	0,74	0,26	31,10	62,20
939,05	0,6300	6299,996	4,26	93,90	691,16	0,74	0,26	156,17	312,34

Tabla 3. Corrección de cálculos

CORRECCIÓN DE CALCULOS							
AREA (ha)	AREA (m ²)	TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRAULICA (dia)	COV (gDBO/m ³ *d)	CSR(kgDBO/ha*d)	EFICIENCIA 1	EFICIENCIA TOTAL	DBO SECUNDARIO
0,06	648,10	4,89	99,03	188,35	0,77	0,94	14,50
0,19	1890,29	14,26	33,95	188,35	0,77	0,94	14,50
0,24	2351,17	11,53	23,80	104,71	0,80	0,95	6,04
0,39	3918,61	19,21	14,28	104,71	0,80	0,95	6,04
1,89	18940,96	17,69	53,10	55,44	0,89	0,97	1,78
1,89	18940,96	12,81	73,33	236,80	0,76	0,94	19,94

Tabla 4. Cálculo de CO1 para la población 5 y 6 utilizando el cálculo de DBO soluble.

	CO1(Kg DBO/d)	CO1C (KgDBO/d)	AREA (ha)	AREA (m²)	TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRAULICA (dia)	COV (gDBO/ m³*d)	CSR (kgDBO/ ha*d)	EFICIENCIA 1	EFICIENCIA TOTAL
Población 5	247,89	495,78	1,89	18940,96	17,69	53,10	369,79	0,75	0,93
Población 6	247,89	495,78	1,89	18940,96	12,81	73,33	369,79	0,75	0,93

Primeramente, para el diseño, cálculo y análisis del procedimiento de las lagunas se tuvo en cuenta una de las características principales de las *lagunas facultativas* que es su profundidad, la cual se sitúa un rango que suele estar entre 1m y 2 m (Mendonça, 2001), en nuestro caso principalmente escogimos un valor de 1m de altura para el diseño de la laguna facultativa.

Según los cálculos y sus respectivos resultados, se cuantifican seis poblaciones cada una con sus respectivos habitantes: caudales, DBO y temperatura, entre otros, con cuyos resultados se puede visualizar la variación que se tiene de cada cálculo realizado según los datos que tiene cada población; con base en esto resultados podemos determinar que la población entre más habitantes tenga su área será mayor, si se necesita un área de mayor magnitud para realizar la *laguna facultativa* y la población no cuenta con el espacio suficiente para que en ella se puede desarrollar el proyecto.

La temperatura y los habitantes que tenga la población son factores que influyen bastante a la hora del cálculo y el análisis de una *laguna facultativa*; en los cálculos presentados se realizó una variación de datos para la *población 1*, utilizando como base para el análisis el cálculo de *DBO soluble*, cambiando la temperatura y los habitantes de estas dos poblaciones. Teniendo en cuenta esto, para la *población 1* con una población inicial de 780 hab, y una temperatura de 33°C, la eficiencia supera los límites, razón por la que no funciona (cf. Tabla 5)

Tabla 5. Cambio de datos población 1.

Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/Kg)	CO1C (KgDBO/KgDBO)
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51
Consumo diario		200	L/hab'd															
DATOS DE ENTRADA					CALCULOS													
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/L)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDB/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA						

Luego de obtener esta información, se empezaron a jugar con los datos de la *población 1*, teniendo como resultado que para que su eficiencia sea lógica y funcional se necesita un número mayor de habitantes comparado con el que se tenía inicialmente (cf. Tabla 6).

Tabla 6. Cambio de datos población 1

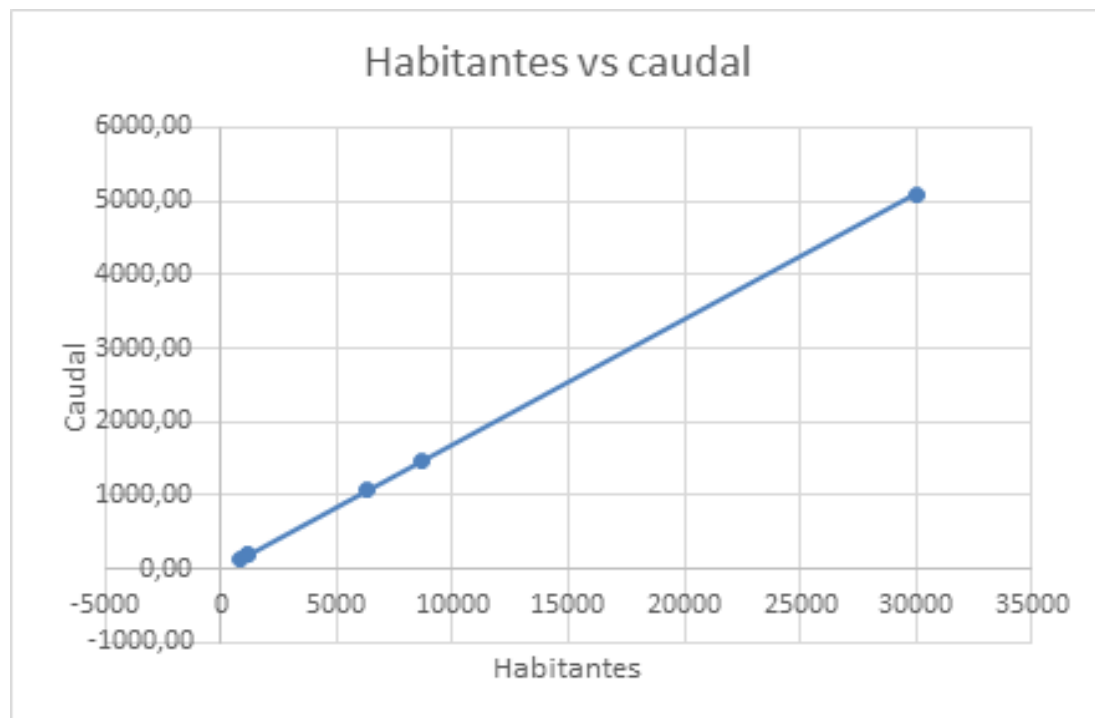
Consumo diario	200	Lt/hab*d						
DATOS DE ENTRADA								
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/Lt)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (Lt/d)	CAUDAL (m3/d)
1	3500	120	120	0,12	33	1	595000	595,00

CALCULOS													
CSM (kgDBO/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3)	COR (KgDBO/h)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/d)	CO1C (KgDBO/d)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3)
1371,36	0,0521	520,649	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	19,10	35,19	1,87	18694,89	31,42	374,11
													38,04
													1,00
													1,00
													0,84

Teniendo en cuenta la variación realizada anteriormente, el número mínimo de habitantes que debe poseer una población que cuente con una temperatura de 33°C, y demás características expuestas en la Tabla 6, es 3.500 habitantes para así obtener una eficiencia del 100%. Para el análisis de estas variaciones se utilizó una temperatura de 33°C, ya que entre más alto sea este valor, más rápido será la eliminación de las bacterias (Salamanca, 2017). Asimismo, este cambio de datos nos permite analizar el tiempo de residencia, que normalmente lo ideal es que se ubique dentro de un rango de 6 a 10 días. Con el cambio de datos que se tienen, el tiempo no alcanza a esos días por lo que se debe modificar el dato, que nos daría un tiempo de residencia dentro del rango del DBO, algo lógico ya que entre más habitantes haya mayor deberá ser la demanda bioquímica de oxígeno.

Por otro lado, como es algo de esperarse, los resultados obtenidos nos comprueban que entre más habitantes tenga una población, mayor tendrá que ser su caudal para que así este pueda abastecer a toda la población.

Gráfica 1. Habitantes versus caudal.



4. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos al manipular diversos parámetros de las poblaciones y modificar los valores mencionados previamente, es imperativo considerar que la implementación de *lagunas facultativas* resulta más eficaz cuando se lleva a cabo en una población que cumple con ciertos requisitos fundamentales. Entre estos requerimientos, destaca la necesidad de que la población posea un periodo de tiempo de residencia considerable, preferiblemente entre 10 y 13 días, ya que durante este lapso, el proceso de depuración bacteriana alcanza su máxima eficiencia.

Adicionalmente, se observa que la efectividad de este método potencia cuando la población experimenta un rango de temperatura óptimo, situado entre los 20°C y los 30°C. Dentro de este intervalo, se favorece significativamente la eliminación de impurezas. Por lo tanto, la conjunción de un período adecuado de tiempo de residencia y condiciones térmicas específicas, contribuye de manera sinérgica a optimizar el rendimiento de las *lagunas facultativas* en el proceso de depuración.

En relación con la cantidad de habitantes presentes en la población sujeta a análisis, resulta crucial considerar que a medida que el número de personas aumenta, también debe incrementarse significativamente el área de diseño destinada a la laguna. Este aumento proporcional en el tamaño del área se justifica debido a la correlación directa con la mayor producción de aguas residuales que surge en una población más numerosa. En consecuencia, el dimensionamiento adecuado de la *laguna facultativa* se convierte en una medida esencial para gestionar eficazmente el tratamiento de las aguas residuales generadas por una población en crecimiento, asegurando

así un rendimiento óptimo del sistema de depuración.

Más aún, las *lagunas facultativas* proporcionan una solución eficaz y económicamente viable para el tratamiento de aguas residuales. Efectivamente, ellas crean un entorno natural para los procesos biológicos, facilitando la descomposición de la materia orgánica y la reducción de contaminantes. A su vez, este enfoque se caracteriza por su operación sencilla y su bajo costo de implementación en comparación con tecnologías más avanzadas.

No obstante, es crucial reconocer que las *lagunas facultativas* pueden tener limitaciones en cuanto a la eficiencia y la capacidad para tratar contaminantes más resistentes. Además, su rendimiento puede verse afectado por condiciones climáticas y estacionales. Por lo tanto, para lograr una implementación exitosa, es necesario llevar a cabo un monitoreo constante y adaptarse a las condiciones específicas del sitio.

Aunque las *lagunas facultativas* ofrecen una solución valiosa para el tratamiento de aguas residuales, su implementación exitosa requiere una comprensión detallada de sus ventajas y limitaciones, así como un compromiso continuo con una gestión efectiva para garantizar resultados ambientales positivos.

REFERENCIAS

- Acosta Castellanos, P. M. & Pacheco García, B. H. (2024). Alternativa a la corrección de la eficiencia por DBO soluble en lagunas de estabilización. *Revista L'Esprit Ingénieur*, 13(1), 76-87. Recuperado de: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieur/article/view/3024>
- Eddy, M. Y. (2013). *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. McGraw-Hill Education.

- Ewing, T.; Babauta, J. T.; Atci, E.; Tang, N.; Orellana, J.; Heo, D. & Beyenal, H. (10 de December de 2014). "Self-powered wastewater treatment for the enhanced operation of a facultative lagoon". *ScienceDirect*, pp. 284-292.
- Gerardi, M. H. (2015). The biology and troubleshooting of facultative lagoons. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/9781118981771.biblio>.
- Houweling, D.; Kharoune, L.; Escalas, A. & Comeau, Y. (January de 2008). "Dynamic modelling of nitrification in an aerated facultative lagoon". *ScienceDirect*, pp. 424-432.
- Investigación y Educación en Enfermería (2007). "El resumen de un artículo científico: Qué es y qué no es". 25 (1), 14-17. Recuperado el 10 de Marzo de 2016, de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&id=S0120-53072007000100001&lng=en&tlng=es.
- Martínez, F. C.; Cansino, A. T.; Rojas, A. L., R. L. & Sifuentes, A. C. (01 de Abril de 2014). "Función objetivo en el diseño de la laguna facultativa". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, pp. 443 - 447.
- Mendonça, S. R. (2001). *Sistemas de Lagunas de Estabilización*. Mc Graw Hill.
- Salamanca, U. D. (2017). Cidta. Obtenido de Cidta: <https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/facultativas.PDF>
- Sharma, S. & Ahammed, M. M. (2023). "Application of modified water treatment residuals in water and wastewater treatment: A review". *ScienceDirect*, 2405 - 8440.
- Smyth, K.; Vendramelli, R.; Dankewich, D. & Yuan, Q. (15 de May de 2018). "Seasonal variations in cold climate nutrient removal: A comparison of facultative and aerated lagoons". *ScienceDirect*, pp. 224-231.
- Tsunao Matsumoto, I. A. (2010). "Eficiencia del tratamiento de aguas residuales por lagunas facultativas e implicaciones en la salud pública". *Revista Centro de Estudios en Salud*, pp. 65 - 78.
- Universidad del Rosario (10 de marzo de 2016). Ciencias humanas - Guías de calidad académica. Recuperado de: <http://www.urosario.edu.co/cienciashumanas/GuiasdeCalidadAcademica/49c/>
- Vijay, S. & Yuan, Q. (1 de October de 2017). "Simplified empirical model for phosphorous removal in a facultative wastewater lagoon". *Science Direct*, pp. 1-5.
- Von Sperling, M. (2009). Principios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais.
- Wolverton, B. C. & McDonald, R. C. (1979). "Upgrading Facultative Wastewater Lagoons with Vascular Aquatic Plants". *Water Pollution Control Federation*, 305-313.
- Yargeau, V.; Schlageter, B.; Alungulesa, S.; Gillis, P. L.; Doran, M.; Hayward, E. E. & Metcalfe, C. D. (2023). "Integrated ozonation as a strategy for enhancing treatment of municipal wastewater in facultative sewage lagoons". *Science Direct*, pp. 2213-3437.

Políticas para autores

SELECCIÓN DE ARTÍCULOS

Entre los criterios que se tendrán en cuenta para la selección de los artículos se encuentran los definidos a continuación:

1) Artículo de investigación científica: Documento que presentan resultados originales de proyectos de investigación científica terminados.

2) Artículo de reflexiones originales: Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.

3) Artículo de revisión: Estudios hechos por el o los autores con el fin de dar una perspectiva general del estado de un dominio específico de la ciencia y la tecnología, de sus evoluciones durante un período de tiempo, y donde se señalan las perspectivas de su desarrollo y de evolución futura. Estos artículos son realizados por quienes han logrado tener una mirada de conjunto de dominio y están caracterizados por revisar una amplia bibliografía, que se refleja en el gran número de referencias bibliográficas, por lo menos de 50 referencias.

Tipos de artículos

Estructura del artículo

A continuación, se presentan las características y requisitos que deben contener los artículos presentados por los autores a consideración del Comité Editorial para su publicación.

Título	Debe incluir el título de trabajo que resuma en forma clara y concisa la idea principal de la Investigación. Máx. 15 palabras.
Autor(es)	Nombre(s) del (los) autor(es), nombre de la Institución a la cual pertenece(n), país de la institución, correo electrónico institucional y último título académico obtenido.
Resumen	Debe contar con una extensión entre 100 y 200 palabras. El resumen según el campo de las ciencias administrativas, de negocios y contables tendrá que ser analítico, en el cual se evidencie de manera concisa la problemática del autor, sus hipótesis y sus propuestas. Corregir la redacción, reduciendo el texto a lo mínimo indispensable, quitando las palabras inútiles, las repeticiones, imprecisiones y las ambigüedades, eliminar los adjetivos calificativos.
Resumen	Debe contar con una extensión entre 100 y 200 palabras. El resumen según el campo de las ciencias administrativas, de negocios y contables tendrá que ser analítico, en el cual se evidencie de manera concisa la problemática del autor, sus hipótesis y sus propuestas. Corregir la redacción, reduciendo el texto a lo mínimo indispensable, quitando las palabras inútiles, las repeticiones, imprecisiones y las ambigüedades, eliminar los adjetivos calificativos.

Palabras clave	Mín. 3 - Máx. 10 palabras con base a Tesauro de la UNESCO.
Abstract	Será la traducción al inglés del resumen, en la que el autor vele por conservar el sentido del mismo.
Keywords	Debe corresponder a la traducción al inglés de las palabras clave consignadas en español.
Introducción	Se deben incluir tres ítems: a) un planteamiento del problema objeto de estudio y la estrategia de investigación a utilizar; b) una revisión de la literatura recolectada para abarcar el estudio del problema y; c) el planteamiento del propósito del trabajo, una hipótesis y la definición de las posibles variables.
Metodología	Se expone en qué etapa de la investigación se ubica el trabajo, los diseños y métodos utilizados para el estudio del problema.
Resultados	Brevemente se discuten los resultados o hallazgos.
Conclusiones	Reflexiones personales. Deben ir relacionadas con los objetivos del estudio, evite declaraciones no derivadas de los resultados del estudio.
Referencias	Se requiere la utilización del sistema APA (<i>American Psychological Association</i>), 6ª edición para las citas de referencia.

El artículo deberá ser presentado en procesador de palabra, compatible con *Word*, con una extensión entre 15 y 25 páginas tamaño carta, en letra Arial 12, con espacio interlineado de 1,5 y márgenes de 3 cm.

Nota: El Comité Editorial tiene autonomía para decidir acerca de la extensión de los artículos. Así mismo, en casos especiales podrá determinar la extensión de algunos artículos.

Nota: Las imágenes deben ser presentadas en formatos jpg o tif. Se recomienda una buena resolución al momento de capturarlas.

Derechos de Autor

Los autores que postulen sus artículos para publicación deben firmar una carta, acorde al formato de la Revista presentado a continuación, donde se garantiza la originalidad del escrito y la cesión de derechos de autor.

Nota: El Comité Editorial tiene autonomía para decidir acerca de la extensión de los artículos. Así mismo, en casos especiales podrá determinar la extensión de algunos artículos.

- En una nota o pie de página superpuesta al nombre del autor, en el inicio del artículo, debe mencionarse cargo e institución en que labora, máximo título académico obtenido, correo electrónico, nombre del proyecto y estado de la investigación, grupo de investigación al cual pertenece y la clase de artículo que es.

Nota: El Comité Editorial se reserva el derecho a publicar aquellos artículos que hayan cambiado con motivo de una eventual corrección de estilo, inclusive siendo aceptados.

Referencias bibliográficas:

Se sugiere la utilización del sistema *APA* (*American Psychological Association*) y para las citas se referencia, así:

CITAS DE REFERENCIA EN EL TEXTO (CITA TEXTUAL)

El estilo *APA* requiere que el autor del trabajo documente su estudio a través del texto, identificando autor y fecha de los recursos investigados. Este método de citar por autor fecha (apellido y fecha de publicación), permite al lector localizar la fuente de información en orden alfabético, en la lista de referencias al final del trabajo.

Cita en el texto de una obra por un autor:

1. De acuerdo a Meléndez Brau (2000), el trabajo afecta los estilos de ocio...
2. En un estudio sobre la influencia del trabajo sobre los estilos de ocio... (Meléndez Brau, 2000).
3. En el año 2000, Meléndez Brau estudió la relación entre los estilos de ocio y el trabajo...

Cuando el apellido del autor forma parte de la narrativa, como ocurre en el ejemplo 1, se incluye solamente el año de publicación del artículo entre paréntesis. En el ejemplo 2., el apellido y fecha de publicación no forman parte de la narrativa del texto, por consiguiente, se incluyen entre paréntesis ambos elementos, separados por una coma. Rara vez, tanto la fecha como el apellido forman parte de la oración (ejemplo 3.), en cuyo caso no llevan paréntesis.

B. Obras con múltiples autores:

1. Cuando un trabajo tiene dos autores (as), siempre se cita los dos apellidos cada vez que la referencia ocurre en el texto.
2. Cuando un trabajo tiene tres, cuatro o cinco autores, se citan todos los autores la primera vez que ocurre la referencia en el texto. En las citas subsiguientes del mismo trabajo, se escribe solamente el apellido del primer autor seguido de la frase “et al.” y el año de publicación.

Ejemplos:

Ramírez, Santos, Aguilera y Santiago (1999) encontraron que los pacientes... (primera vez que se cita en el texto).

Ramírez *et al.* (1999) concluyeron que... (próxima vez que se menciona en el texto).

- Cuando una obra se compone de seis o más autores (as), se cita solamente el apellido del primer autor seguido por la frase “et al.” y el año de publicación, desde la primera vez que aparece en el texto. (En la lista de referencias, sin embargo, se proveen los apellidos de todos los autores.)

- En el caso que se citen dos o más obras por diferentes autores en una misma referencia, se escriben los apellidos y respectivos años de publicación, separados por un punto y coma dentro de un mismo paréntesis.

Ejemplo:

En varias investigaciones (Ayala, 1994; Conde, 1996; López & Muñoz, 1999) concluyeron que...

Citas literales:

- Todo el texto que es citado directamente (palabra por palabra) de otro autor requiere de un trato diferente para incluirse en el texto. Al citar directamente, se representa la cita palabra por palabra y se incluye el apellido del autor, año de publicación y la página en donde aparece la cita.

- Cuando las citas directas son cortas (menos de 40 palabras), estas se incorporan a la narrativa del texto entre comillas. Las normas de la *APA* no aclaran si ese texto debe ir en cursiva o no, desde mi punto de vista si el texto va corrido dentro de un párrafo más amplio se deja en letra normal, pero si se destaca con dos puntos y aparte entonces debe poner en cursiva.

Ejemplo:

“En estudios psicométricos realizados por la Universidad de Connecticut, se ha encontrado que los niños tienen menos habilidades que las niñas” (Ferrer, 1986, p. 454).

- Cuando las citas directas constan de 40 o más palabras, estas se destacan en el texto en forma de bloque sin el uso de comillas. Comienza este bloque en una línea nueva, sangrando las mismas y subsiguientes líneas a cinco espacios (se puede utilizar el Tabulador). El bloque citado se escribe a doble espacio.

Ejemplo:

Miele (1993) encontró lo siguiente:

El “efecto de placebo” que había sido verificado en estudio previo, desapareció cuando las conductas fueron estudiadas de esta forma. Las conductas nunca fueron exhibidas de nuevo aún cuando se administran drogas verdaderas. Estudios anteriores fueron claramente prematuros en atribuir los resultados al efecto placebo (p. 276).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS AL FINAL DEL DOCUMENTO

La lista bibliográfica según el estilo *APA* guarda una relación exacta con las citas que aparecen en el texto del trabajo. Solamente se incluyen aquellos recursos que se utilizaron para llevar a cabo la investigación y preparación del trabajo y que, por tanto, están citados en el cuerpo del mismo tal y como se veía en el apartado anterior.

- La lista bibliográfica se titulará: Referencias bibliográficas o Referencias.
- La lista tiene un orden alfabético por apellido del autor y se incluye con las iniciales de sus nombres de pila.
- Debemos sangrar la segunda línea de cada entrada en la lista a cinco espacios (utilice la función sangría francesa del procesador de palabras).
- Los títulos de revistas o de libros se ponen en letra itálica; en el caso de revistas, la letra itálica comprende desde el título de la revista hasta el número del volumen (incluye las comas antes y después del número del volumen).

- Se deja un solo espacio después de cada signo de puntuación.

Formatos básicos generales

Publicaciones periódicas (revistas)

- Autor, A.A. (año). Título del artículo. Título de la revista, volumen, páginas. Publicaciones no periódicas (libros)
- Autor, A.A. (año). Título de la obra. Lugar de publicación: Editor o casa publicadora.

EJEMPLOS DE REFERENCIAS

Revistas profesionales o “journals”.

Artículo con dos autores:

- Campoy, T.J. y Pantoja, A. (2005). Hacia una expresión de diferentes culturas en el aula: percepciones sobre la educación multicultural. *Revista de Educación*, 336, 415 – 136.

Artículo con un solo autor:

- Pantoja, A. (2005). La acción tutorial en la universidad: propuestas para el cambio. *Cultura y Educación*, 17 (1), 67-82.

Revista popular (magacín)

- Sánchez, A. (2000, mayo). Bogotá: La capital más cercana a las estrellas. *Geomundo*, 24, 20-29.

Se incluye la fecha de la publicación –el mes en el caso de publicaciones mensuales y el mes y el día en el caso de publicaciones semanales. Se incluye número de volumen.

Artículos de periódicos

- Ferrer, M. (2000, 14 de julio). El centro de Bellas Artes escenario para 12 estrellas de ópera. *El San Juan Star*, p. 24.

Ejemplos de referencia a libros

- Pantoja, A. (2004). La intervención psicopedagógica en la Sociedad de la Información. *Educación y orientar con nuevas tecnologías*. Madrid: EOS.

Libro con nueva edición:

- Match, J. E., & Birch, J. W. (1987). *Guide to successful thesis and dissertation* (4th ed). New York: Marcel Dekker.

Libro con autor colectivo (agencia de gobierno, asociaciones, institutos científicos, etc.):

- American Psychological Association. (2001). *Publication manual of the American Psychological Association* (5th ed.). Washington, DC: Author.

Cuando el autor y editor son los mismos, se utilice la palabra Authot (Autor) para identificar la casa editora.

Enciclopedia:

- Llorca, C. (1991). Revolución Francesa. En: Gran enciclopedia RIALP (Vol. 20, pp. 237-241). Madrid: Ediciones RIALP.

Tesis de maestría no publicada

- Rocafort, C. M., Sterenberg, C., & Vargas, M. (1990). La importancia de la comunicación efectiva en el proceso de una fusión bancaria. Tesis de maestría no publicada, Universidad del Sagrado Corazón, Santurce, Puerto Rico.
- La World Wide Web nos provee una variedad de recursos que incluyen artículos de libros, revistas, periódicos, documentos de agencias privadas y gubernamentales, etc. Estas referencias deben proveer al menos, el título del recurso, fecha de publicación o fecha de acceso, y la dirección (URL) del recurso en la Web. En la medida que sea posible, se debe proveer el autor del recurso.

Documentos con acceso en el World Wide Web (WWW):

- Brave, R. (2001, December 10). Governing the genome. Retrieved June 12, 2001, from <http://online.sfsu.edu/%7Erone/GEessays/GoverningGenome.html>
- Suñol. J. (2001). Rejuvenecimiento facial. Recuperado el 12 de junio de 2001, de <http://drsunol.com>

Artículo de revista localizado en un banco de datos (ProQuest):

- Lewis, J. (2001). Career and personal counseling: Comparing process and outcome. Journal of Employment Counseling, 38, 82-90. Retrieved June 12, 2002, from <http://proquest.umi.com/pqdweb>

Artículo de un periódico en formato electrónico:

- Melvilla, N. (2002, 6 de junio). Descubra los poderes del ácido fólico. El Nuevo Día Interactivo. Recuperado el 12 de junio de 2002, de <http://endi.com/salud>

Documentos jurídicos y gubernamentales de Colombia:

- Colombia, Congreso Nacional de la República (2005, 29 de Junio), “Ley 960 del 28 de Junio de 2005, por medio de la cual se aprueba la Enmienda del Protocolo de Montreal relativo a sustancias que agoten la capa de ozono’, adoptada en Beijing, China, el 3 de Diciembre de 1999”, en Diario Oficial, núm. 45.955, 30 de Junio de 2005, Bogotá.
- Protocolo de Montreal relativo a sustancias que agoten la capa de ozono’, adoptada en Beijing, China, el 3 de Diciembre de 1999”, en Diario Oficial, núm. 45.955, 30 de Junio de 2005, Bogotá.
- Colombia, Ministerio del Interior (2005, 29 de Febrero), “Decreto No. 321 del 25 de Febrero de 2005, por el cual se crea la Comisión Intersectorial Permanente

para los Derechos Humanos y el Derecho Internacional Humanitario”, en Diario Oficial, núm. 25.659, 5 de Julio de 2005, Bogotá.

- Colombia (1997), Constitución Política, Bogotá, Legis.
- Colombia, Corte Constitucional (1995, octubre), “Sentencia C – 543”, M. p. Hernández Galindo, J. G., Bogotá.
- Colombia, Ministerio de Educación Nacional (2005), “Estándares para el Currículo de lengua castellana” [documento de trabajo].
- Colombia (2005), Código Penal, Bogotá, Temis. (Fin cita textual)

Las fotografías, ilustraciones y gráficos deberán enviarse en archivos independientes del texto principal. También deberán ser identificadas como “figura” y enumeradas según el orden de utilización en el texto. La buena calidad de las ilustraciones, en la publicación se debe a la calidad de archivo enviado por el autor. Cada ilustración debe tener un pie de imagen que de cuenta de su providencia.

Nota: Las imágenes deben ser presentadas en formatos *jpg* o *tif*. Se recomienda una buena resolución al momento de capturarlas.

Proceso editorial

Cuando un artículo ha sido presentado para su publicación será leído primeramente por el Editor y Comité Editorial, para validar el cumplimiento de las normas editoriales, quienes en el transcurso de cinco hábiles después de la recepción del documento, decidirán si el artículo pasa a la etapa de evaluación por pares.

Si el artículo supera la primera revisión, será sometido a un proceso de evaluación por pares. Este proceso consiste en examinar el trabajo presentado por dos evaluadores especializados en el tema del artículo. Dicha evaluación cumple un criterio de doblemente ciego, es decir, el nombre de los autores no será revelado a los evaluadores, ni los autores sabrán los nombres de los evaluadores. El proceso de evaluación toma aproximadamente dos meses.

Los pares académicos externos, determinarán en forma anónima: a) Artículo aprobado, b) Artículo aprobado con cambios, c) Artículo rechazado. En caso de diferencia entre ambos resultados, el texto será enviado a un tercer árbitro, cuya decisión definirá su publicación. Los resultados del proceso de dictamen académico serán inapelables en todos los casos.

Si el artículo es aprobado, el autor tiene una semana para hacer los cambios y correcciones pertinentes sugeridos por los pares y enviar la versión final a la Revista.

Posterior a la recepción final, los artículos son sometidos al proceso de correcciones de estilo por parte de la Revista.

Permiso de reimpresión

Para solicitar permiso para utilizar un artículo publicado en Revista *In Vestigium Ire* en otra publicación, favor de enviar un correo a la siguiente dirección electrónica,

revista.investigiumire@ustatunja.edu.co, No olvide incluir título del artículo y del autor en su solicitud.

Propiedad intelectual, reproducción de textos, buenas prácticas editoriales y responsabilidad de la revista

La revista *In Vestigium Ire* velará siempre por el ejercicio de buenas prácticas en la producción escrita, adopta la filosofía creative commons para la reproducción de textos, asumiendo la siguiente licencia: “El material puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros si se muestra en los créditos. No se puede obtener ningún beneficio comercial. No se pueden realizar obras derivadas” (En la publicación virtual se verá reflejada la imagen de la licencia). Para prevenir que sean publicados documentos con usos inadecuados de citación o utilización de textos de otros autores, en la etapa de recepción del artículo se verificará su contenido con ayuda de un software libre y se incluirá en la evaluación la utilización adecuada de citas y referencias. La revista velará siempre por una conducta ética y de responsabilidad por parte de los autores en su producción escrita, para lo cual implementará de manera progresiva el “Código de conducta y guías de buenas prácticas para editores de revistas” del Committee on publication Ethics COPE.

Para salvaguardar los principios de derechos de propiedad intelectual, los autores deberán certificar la sesión de los derechos a la revista con el formato de declaración de originalidad para distribuir y reproducir los trabajos de los autores, que además incluya la certificación del autor de ser un trabajo original e inédito y que no se encuentra en proceso de publicación en otra revista. Esto se realizará al momento de diligenciar el formato virtual de envío de artículos a la revista, los autores deben adjuntar el formato e incluir la información de cada uno de los artículos, esta situación será verificada por el editor(a) de la revista en la primera etapa descrita del proceso editorial de los artículos. En todo caso las ideas expresadas por los autores son de su responsabilidad y en nada comprometen a la institución editora o a la revista *L’Esprit Ingénieux*.

El proceso de edición de *L’Esprit Ingénieux* posee facultad para organizar la información correspondiente a los datos del autor y del texto, mencionando en primera nota pie de página la información del autor con respecto a sus estudios de pregrado y posgrado, además de la filiación institucional del autor y medios para establecer contacto, bien sea por vía electrónica (e-mail) o por medio de números telefónicos fijos o móviles. Aunado a lo anterior se establecerá con las siglas **AI** y **AE** si el autor es interno o externo.

SI CUENTA CON CÓDIGO DE ÉTICA TAMBIEN INCLUIRLO

Código de Ética

Revista *L’Esprit Ingénieux*

Desde el punto de Vista a editores y/o Comité editorial

El Comité Editorial velará por mantener el anonimato de los autores y sus evaluadores, colaborando a que el proceso completo de recepción y revisión del artículo esté amparado en la transparencia, una práctica objetiva y confidencialidad de las partes involucradas en el proceso editorial para garantizar durante todas las etapas la calidad. Orientado por este mismo principio, se busca contar en el menor tiempo posible con la asignación de los/as evaluadores/as más idóneos/as para el artículo que postula a ser publicado en la Revista *L’Esprit Ingénieux*.

Los editores serán responsables de garantizar el cumplimiento de los tiempos límite de espera para la emisión del resultado del proceso, siendo un plazo máximo de 60 días para que el/la autor sepa la situación de su artículo: “aceptado”, “aceptado con correcciones” o rechazado.

La aceptación no obliga necesariamente a la revista a incluir el artículo en el número en la cual se ha postulado. Siendo así, que la revista se reserva el derecho a publicar en un número siguiente si se excede en el número de artículos para el presente número.

El Comité Editorial deberá revelar cualquier conflicto de intereses; y si alguno de los miembros considera que debe declararse impedido este lo hará por escrito.

Al respecto los/as autores/as serán notificados/as por el Editor en qué número saldrá publicado el artículo que ha sido previamente aceptado.

Permitir a los autores el derecho a apelar una decisión del comité editorial.

Mantener informados a los autores desde el momento de recepción de sus trabajos hasta el momento en que se haya tomado una decisión.

Llevar a cabo un proceso de edición y publicación transparente y con entero respeto a los autores.

Estar disponibles tanto para los autores como para los evaluadores con el fin de aclarar las dudas que surjan durante los procesos de evaluación, revisión, diagramación y de edición.

Aceptar o rechazar los trabajos recibidos por la dirección de la revista con base únicamente en los resultados anónimos previstos de los pares evaluadores (si éstos no coincidieran en su veredicto, el director y el comité editorial de la revista deberán tomar una decisión final).

Desde el punto de vista autores / as

Al enviar un artículo a la revista *L'Esprit Ingénieux*, los/as autores/as se comprometen a no enviar de modo paralelo su *paper* a otra publicación científica.

Los textos deben ser de autoría propia y no tratarse de uno ya publicado al cual se han realizado sólo modificaciones menores respecto a una investigación ya difundida.

Por lo mismo, en revista *L'Esprit Ingénieux* únicamente pueden presentarse trabajos inéditos.

Al actuar como Autor, se compromete a comunicar al comité editorial de la revista si se enfrentara ante un conflicto de interés o inhabilidad al momento de presentar un artículo ante algún evaluador que considere no sea idóneo para su respectiva revisión y evaluación.

Respecto a los datos contenidos en la investigación, deben ser verídicos, lo que significa, que no han sido modificados para mantener una coherencia con la perspectiva teórica y metodológica utilizada.

Del mismo modo, cuando dichos datos involucran la participación de personas como sujetos/as de estudio, tal vinculación se ha efectuado bajo la doctrina del

consentimiento informado, lo cual implica una participación informada, libre y voluntaria en la investigación, manteniendo el anonimato de personas e instituciones.

Los/as autores/as al revisar los antecedentes teóricos y conceptuales de otras investigaciones conducidas en el ámbito temático del trabajo, se comprometen a abordar con exhaustividad esos trabajos, haciendo que el estado del arte sobre el tema sea una revisión exhaustiva que sistematiza lo más actual, relevante y con diversidad de enfoques epistemológicos y metodológicos que han abordado el tema.

En ese mismo sentido, se garantiza la inclusión de autores/as que han realizado contribuciones científicamente significativas en el ámbito (multi/trans/inter) disciplinar respecto al tema de investigación.

En relación a la autoría del trabajo de investigación se compromete la inclusión de todos/as los/as personas que han aportado de modo significativo a la discusión teórica, a la sistematización del estado del arte y análisis de los datos así también a la Escritura del texto, absteniéndose de incluir a otras personas sólo por nexos de amistad, o vínculos intelectuales.

Un/a autor/a que ha presentado un artículo a la revista y que aún no ha sido publicado, puede solicitar el retiro de su artículo expresando los motivos que originan tal solicitud, quedando en libertad de acción luego que reciba de parte de el/la directora/a de la revista la respuesta positiva a la solicitud.

Los/as autores/as son responsables por las perspectivas teórico-conceptuales que adopten y por las conclusiones, opiniones o afirmaciones que formulen las cuales no son necesariamente compartidas por la revista *L'Esprit Ingénieux* ni por la Universidad Santo Tomás.

Desde el punto de vista a pares evaluadores/as

Quienes actúan como pares evaluadores son personas que participan de modo voluntario en este rol, siendo idóneos desde el punto de vista intelectual y/o teórico-metodológico para emitir un juicio evaluativo respecto a los trabajos mediante los cuales los autores postulan a su publicación a la revista *L'Esprit Ingénieux*.

Al actuar como par, se compromete a comunicar al comité editorial de la revista si se enfrentarán ante un conflicto de interés o inhabilidad al momento de evaluar un artículo, junto con respetar la confidencialidad de la información relacionada con el proceso editorial. De este modo, un/a evaluador/a se adhiere estrictamente a las políticas del proceso de evaluación de la revista, buscando siempre efectuar una crítica honesta y constructiva, manteniendo siempre la discreción con el contenido de los documentos evaluados.

Se aplicará la pauta de doble ciego de la cual dispone la revista *L'Esprit Ingénieux*, de ese modo se promueve el respeto hacia el autor y la revista, consolidando así una cultura de gestión en la calidad.

Una vez aceptado el artículo para el respectivo proceso de revisión y evaluación se asume que estará acogiendo al código de ética de la Revista *L'Esprit Ingénieux*.

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE ARTÍCULO PRESENTADO

Título del artículo: _____

Área: _____

Autor(es): _____

Fecha de presentación: _____

Por medio de esta comunicación certifico que el artículo que estoy presentando para posible publicación en la revista *L'Esprit Ingénieux*, adscrita a la División de Arquitectura e Ingenierías de la Universidad Santo Tomas, seccional Tunja, es de mi entera autoría, siendo sus contenidos producto de mi directa contribución intelectual.

Todos los datos y referencias a publicaciones hechas están debidamente identificados con su respectiva nota bibliográfica y en las citas que se destacan como tal. Por todo lo anterior, declaro que el material presentado se encuentra conforme a la legislación aplicable en materia de propiedad intelectual y, por lo tanto, me (nos) responsabilizo (amos) de cualquier reclamación relacionada a esta.

Manifiesto que este artículo es un trabajo inédito y que no ha sido publicado anteriormente en formato impreso, electrónico o página web, ni aceptado ni enviado simultáneamente a otra revista. Por tanto, asumo el código de ética de la Revista *L'Esprit Ingénieux*.

En caso de que el artículo presentado sea publicado, manifiesto que cedo plenamente a la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, los derechos de reproducción del mismo.

Como contraprestación de la presente cesión, declaro mi conformidad de recibir 2 ejemplares del número de la revista en que aparezca mi artículo.

El Autor,

El Editor,

C.C.

C.C.

L'Esprit Ingénieux ISSN 2011-9836 (Impreso)

L'Esprit Ingénieux ISSN 2422-2151 (En línea)

L'esprit Ingénieux

15



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
T U N J A



Facultad de Ingeniería Civil