





VOLUMEN 8 NÚMERO 22
SEPTIEMBRE - DICIEMBRE 2024

ISSN: 2664 - 8245

ISSN L : 2664 - 8245



CET-BOLIVIA®

CONTACTO

Dirección postal

Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia
Avenida Huayna Potosí N° 48
Nuevos Horizontes III, Ciudad de El Alto
La Paz - Bolivia
Código Postal: 15000

Contacto principal

Dr. Feibert A. Guzmán P. /Editor
Correo electrónico: editor@revistaingenieria.org

Contacto de asistencia

Ing. Freddy Sánchez
Correo electrónico: soportesistemas@cetbolivia.org

Información legal

ISSN: 2664-8245
ISSN-L: 2664-8245

Periodicidad: Cuatrimestral

AUTORIDADES

- Lic. David Max Olivares Alvares Msc., Director de Proyecto América
- Dr. José Lázaro Quintero Santos, Director Adjunto - Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador
- Dr. Iván Javier Villamar Alvarado, Director Adjunto - Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia
- Lic. Edgar Olivares Alvares, Director de Posgrados
- Msc. Pedro Misacc Naranjo Bajaña, Director Administrativo
- Lic. Doris Lisbeth Villalba Fermín Msc., Directora de la Unidad de Publicaciones

Equipo Editorial

EDITOR/EDITOR

Dr. Feibert A. Guzmán P.
Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia, Bolivia

CONSEJO EDITORIAL / EDITORIAL BOARD

- ING. Guido Rosales Uriona, Yanapti SRL, Bolivia
- PhD. Grether Real Pérez, Ing., Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
- MSC. Carlos Carrion Rodríguez, CIP GmbH EEUU / Universidad Central del Ecuador, Ecuador
- Ing. Jorge Luis Martínez Valencia, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- PhD David Ernesto Marón Domínguez, Centro de Estudios Matemáticos, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cuba

COMITÉ CIENTÍFICO / SCIENTIFIC COMMITTEE

- Dra. Elisa Inés Benítez, Universidad Tecnológica Nacional y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina
- Ing. Guillermo A. Corres, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina
- PhD Fernando Del Vecchio, Universidad de las Américas, Ecuador
- Dr.-Ing. Gonzalo Salinas-Salas, Universidad de Talca, Chile
- PHD. (C) Gustavo Alonso Acosta Amaya, MSC., Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia
- PhD Andrés Barrios Rubio, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia
- PhD María Ocampo Villegas, Universidad de la Sabana, Colombia
- PhD Andrés Escobar Mejía, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

EVALUADORES PARES / PEER REVIEWERS

- Msc. Ing. Jovanny Rafael Duque, Institución Universitaria –ITSA, Colombia
- MSC. Mauricio Holguín Londoño, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- M.SC. Alejandro Duque Gómez, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- Msc. Rubén Iván Bolaños, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- PhD. César Augusto Quinayás Burgos, Universidad Antonio Nariño, Colombia
- MSC. Jovanny Rafael Duque, Institución Universitaria – ITSA, Colombia
- ING. Camilo Andrés Zapata Castillo, Potencia y Tecnologías Incorporadas, S.A.
- MSC. Paola Andrea De Antonio Boada, Universidad de Boyacá, Colombia
- MSc. PhD. (C) Mauricio Holguín Londoño, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- MSC. Rocio Del Rosario Ramos Rodríguez, Universidad del Norte- Colombia
- MSC. Luis Leonardo Camargo Ariza, Universidad de Magdalena- Colombia
- Dr. Jorge Gómez Rojas, Universidad de Magdalena- Colombia
- Ing. Byron Medina Delgado, Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia
- MSC. (C) Juan José Largo Fernández, Experto en Tecnología e Innovación Social y Educativa, Colombia
- MSc. Ricardo de Jesús Botero Tabares, Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria, Colombia
- PhD. Jeimy J. Cano Martínez, Universidad del Rosario en Colombia.
- MSc. Jesús Estrada De La Hoz, Universidad del Norte Barranquilla, Colombia
- Dr. Davel Eduardo Borges Vasconcellos, Universidad de Camagüey, Cuba
- PhD Arlys Michel Lastre Aleaga, Universidad Tecnológica Equinoccial, Cuba
- Msc. Ing. Eduardo Javier Díaz Chicaiza, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Lic. Luis Manuel Alonso Águila, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador
- Lic. José Martín Muñoz Salcedo, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador
- Magister Henry Nelson Aguilera Vidal, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador

- Ing. Geovanni Padilla Mora, Dirección General de Aviación Civil, Ecuador
- PhD. Enrique Gea Izquierdo, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Medicina, Ecuador
- MSC. Alan Arias Hernández, Universidad Tecnológica De Pereira, Colombia
- Dr. Guillermo Jarquín López, Instituto Politécnico Nacional, Argentina
- Dr. Jorge Sosa Pedroza, Instituto Politécnico Nacional, Argentina
- Dr. J. Félix Vázquez Flores, Instituto Politécnico Nacional, Argentina
- PhD. Verónica Delgado Cantú, Universidad Autónoma de Nuevo León, México
- Dr. Rubén Salas Cabrera, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, México
- Dr. José Genaro González Hernández, Universidad Tecnológica de Altamira / Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, México
- MSc Julio César Martínez Gámez, Universidad Tecnológica de Altamira, México
- Dr. Julio César Montiel Flores, Universidad De Guanajuato, Campus Celaya-Guanajuato- México
- Ing. Juan Reynaldo Oliva Córdova, SILCOM VolP & Security Services, Perú
- Dra. Carmen Luisa Vásquez Stanescu, Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Venezuela

EQUIPO TÉCNICO TÉCNICO / TECHNICAL TEAM

Diseñadora

Lcda. Betsabe Pari Quiñones

Diagramadora

Lcda. Alba Gil

Traductores

Dr. Emilio Arévalo

POLÍTICA

Enfoque y Alcance

Misión

La Revista de Investigación de **Ingeniería y sus Alcances**, tiene como propósito lograr la difusión y divulgación de los avances y resultados de las investigaciones científicas en el área de Ingeniería de las universidades de Bolivia y todo el continente iberoamericano, bajo un enfoque multidisciplinario debido a la amplitud de su campo, manteniéndose en el contexto nacional e internacional.

Alcance

La Revista de Investigación de **Ingeniería y sus Alcances**, es un nuevo medio de divulgaciones científicas representadas por las diferentes ramas como lo es la Industrial, Sistema, Electrónica, Civil, Petroquímica, Marítima, entre otras. Creada por el Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia, bajo la modalidad de acceso abierto. Esta revista busca posicionarse en los principales portales de indización, a través de las investigaciones científicas de calidad que se publicarán en ella. Posee además, un alcance internacional, y se mantiene abierta a todos los docentes e investigadores, y demás miembros de la comunidad de científica especializada en el área de ingeniería.

La Revista **Ingeniería y sus Alcances**, es una publicación periódica de aparición cuatrimestral, en español, arbitrada bajo el sistema de doble ciego; es una revista de acceso abierto. Tiene como propósito lograr la difusión y divulgación de los avances y resultados de las investigaciones científicas y humanísticas en todo el campo de la ingeniería.

La revista está dirigida a investigadores, docentes, estudiantes y demás personas involucradas en el quehacer científico. Los artículos recibidos por la Revista **Ingeniería y sus Alcances** serán revisados, arbitrados y aceptados, según los resultados arrojados de la evaluación por pares para su posterior edición y publicación.

El proceso de edición de la Revista **Ingeniería y sus Alcances**, se encuentra sometido bajo las normas y los estándares de control de calidad, garantizando la originalidad, pertinencia y actualidad de los artículos aceptados y publicados a través del establecimiento de principios de ética y políticas de detención de plagio.

Políticas de sección

Artículos de revisión. El artículo de revisión se trata de un estudio detallado, selectivo y crítico que integra la información esencial en una perspectiva unitaria y de conjunto. Es un tipo de artículo científico que sin ser original recopila la información más relevante de un tema específico. Su finalidad es examinar la bibliografía publicada y situarla en cierta perspectiva. Debe describir la metodología que se empleará para el análisis o sistematización de la información, criterios de inclusión y exclusión, entre otras. Este artículo no debe de exceder de 6000 palabras, incluidas gráficas, notas y referencias. Las páginas deberán ir numeradas y estar escritas a espacio y medio.

Investigación o colaboraciones. Bajo este rubro, los trabajos deberán contemplar criterios como el diseño pertinente de la investigación, la congruencia teórica y metodológica, el rigor en el manejo de la información y los métodos, la veracidad de los hallazgos o de los resultados, la discusión de resultados, conclusiones, limitaciones del estudio y, en su caso, prospectiva. La extensión de los textos deberá ser de 15 cuartillas mínimo y 25 máximo, incluidas gráficas, notas y referencias. Las páginas deberán ir numeradas y estar escritas a espacio y medio.

Intervenciones educativas. Deberán contar con un sustento teórico-metodológico encaminado a mostrar innovaciones educativas. La extensión de estos trabajos es de 15 cuartillas mínimo y 25 máximo, incluidas gráficas, notas y referencias. Las páginas irán numeradas y se escribirán a espacio y medio.

Reseñas de libros. Deberán aproximarse de manera crítica a las ideas, argumentos y temáticas de libros especializados. Su extensión no deberá exceder las tres mil palabras, calculadas con el contador de Word, incluidas gráficas, notas y referencias. Las páginas irán numeradas, con interlínea de espacio y medio.

Reseña de revistas. Se referirán revistas nacionales o internacionales cuya temática sea de interés para la comunidad científica. Deben estructurarse con: Título, resumen en inglés y español, descripción del área temática, tipo de artículo y periodicidad, editorial, Institución, país, localización. Máximo 2 páginas.

Reseña de tesis y trabajos de grado. Se referirán trabajos de investigadores de las universidades. Deben estructurarse con: título, autor (es), resumen del trabajo de investigación en español inglés (abstract) con las palabras claves, tipo de tesis (Doctoral, Maestría), tutor, departamento, universidad, fecha de aprobación. Máximo 2 páginas.

Reseña de páginas web, blogs y otros documentos electrónicos. se referirán a trabajos o referencias de trabajos publicados en Internet que sean de interés para el campo académico e investigativo. Deben estructurarse en: título, autor (es) de la revisión, breve información sobre el contenido, especificación de dirección(es) electrónicas y los aportes que justifican dicha referencia. Máximo 4 páginas.

Eventos. Los docentes e investigadores que asistan a eventos académicos nacionales o internacionales divulgarán las ponencias, conferencias, foros, simposios entre otras actividades que se hayan sido presentadas o por presentar en un evento. El archivo debe ir estructurado de la siguiente manera: objetivos, resultados, conclusiones y propuestas generados en los mismos. Deben señalar datos de identificación: nombre del evento, lugar fecha y objetivos. También forman parte de esta sección, la promoción y difusión de jornadas, congresos, reuniones y conferencias nacionales e internacionales de interés para los lectores. Máximo tres cuartillas.

Proceso de evaluación por pares

El tiempo estimado desde la aceptación del trabajo por los evaluadores hasta la publicación se estima de tres (3) meses. La Revista **Ingeniería y sus Alcances** del CET, se reserva el derecho de sugerir modificaciones formales a los artículos que sean aceptados para su publicación. Todos los textos enviados deben regirse por las Normas APA *para la presentación de artículos*.

Este sistema de control de calidad se desarrolla durante todo el proceso editorial de la revista en formato digital, de la siguiente manera:

Inicia con el proceso de recepción de las propuestas de artículos que realiza el (los) autor (es). Seguidamente, el artículo es evaluado de forma rigurosa por el Comité Editorial previendo que posea los parámetros de estructura claridad de los objetivos, coherencia de las ideas, pertinencia de la metodología, solidez de los resultados y discusión, conclusiones y referencias, en función de garantizar la pertinencia, originalidad del aportes, rigurosidad científica y la ética en el proceso editorial, reservándose el comité el derecho de remitir a expertos en la temática planteada.

Posteriormente, se asignarán dos pares externos a la institución editora, nacionales o internacionales, como evaluadores del artículo bajo la modalidad doble ciego, y en caso de presentarse desacuerdo en los conceptos, se asignará un tercer par evaluador para dirimir los desacuerdos; son ellos quienes realizarán observaciones y emitirán una dictamen en términos de: (a) Aceptado para publicación, (b) Pendiente de publicación, o (c) No se acepta para publicación.

Finalmente, el artículo es publicado en el número correspondiente al que se encuentre estructurado en función de temas actuales y pertinentes. Es por ello, que la propuesta de artículos es ingresada a nuestro sistema respondiendo a los parámetros establecidos por el Comité Editorial.

En el proceso de arbitraje se tienen en cuenta los siguientes criterios:

1. Cumplimiento de las normas del manual de publicaciones de la American Psychological Association (APA).
2. Pertinencia de la temática con el área de cobertura de lo publicado en por la Revista **Ingeniería y sus Alcances**.
3. Aporte de nuevos conocimientos teóricos y prácticos sobre la temática trabajada.
4. Rigurosidad y objetividad con la temática abordada.
6. Uso adecuado, claro y coherente del idioma escrito.
7. Actualización y vigencia del respaldo referencial informado (cinco últimos años).

Normas de entrega

El autor deberá descargar del sitio web de la revista, llenar y adjuntar a su contribución el formato único que integra la siguiente información:

- Solicitud de evaluación del artículo. La declaración de autoría individual o colectiva (en caso de trabajos realizados por más de un autor); cada autor o coautor debe certificar que ha contribuido directamente a la elaboración intelectual del trabajo y que lo aprueba para ser evaluado por revisores pares a doble ciego y, en su caso, publicado. Declaración de que el original que se entrega es inédito y no está en proceso de evaluación en ninguna otra publicación. Datos: nombre, grado académico, institución donde labora, domicilio, teléfono, correo electrónico editor@revistadeingenieria.org
- Currículo resumido del autor que no exceda de 5 líneas, en hoja aparte.
- El trabajo y los documentos solicitados arriba se enviarán a la dirección electrónica Los trabajos deberán presentarse en tamaño carta, con la fuente Times New Roman de 12 puntos, a una columna, y en mayúsculas y minúsculas. El título deberá ser en trilingüe (español, inglés y portugués) y no podrá exceder las 15 palabras.
- Toda contribución deberá ir acompañada de un resumen en español que no exceda de 150 palabras, con cinco a seis palabras clave que estén incluidas en el vocabulario controlado del IRESIE, más la traducción de dicho resumen al inglés (abstract) con sus correspondientes palabras clave o key words y Portugués Resumo (obsérvese la manera correcta de escribir este término).

- Las palabras clave se presentarán en orden alfabético. Todos los trabajos deberán tener conclusiones.
- Los elementos gráficos (cuadros, gráficas, esquemas, dibujos, fotografías) irán numerados en orden de aparición y en el lugar idóneo del cuerpo del texto con sus respectivas fuentes al pie y sus programas originales. Es decir, no deberán insertarse en el texto con el formato de imagen. Las fotografías deberán tener mínimo 300 dpi de resolución y 140 mm de ancho.
- Se evitarán las notas al pie, a menos de que sean absolutamente indispensables para aclarar algo que no pueda insertarse en el cuerpo del texto. La referencia de toda cita textual, idea o paráfrasis se añadirá al final de la misma, entre paréntesis, de acuerdo con los lineamientos de la American Psychological Association (APA).
- La lista de referencias bibliográficas también deberá estructurarse según las normas de la APA y cuidando que todos los términos (& In, New York, etcétera) estén en español (y, En, Nueva York, etcétera).
- Todo artículo de revista digital deberá llevar el DOI correspondiente, y a los textos tomados de páginas web modificables se les añadirá la fecha de recuperación. A continuación se ofrecen algunos ejemplos.

Libro

Skinner, B. F. (1971). *Beyond freedom and dignity*. Nueva York, N. Y.: Knopf.

Ayala de Garay, M. T., y Schwartzman, M. (1987). *El joven dividido: La educación y los límites de la conciencia cívica*. Asunción, pa: Centro Interdisciplinario de Derecho Social y Economía Política (CIDSEP)

Capítulo de libro

Helwig, C. C. (1995). Social context in social cognition: Psychological harm and civil liberties. En M. Killen y D. Hart (Eds.), *Morality in everyday life: Developmental perspectives* (pp. 166-200). Cambridge, ru: Cambridge University Press.

Artículo de revista

Gozálvez, V. (2011). Educación para la ciudadanía democrática en la cultura digital. *Revista Científica de Educomunicación* 36(18), 131-138.

Artículo de revista digital

Williams, J., Mark G., y Kabat-Zinn, J. (2011) *Mindfulness: Diverse perspectives on its meaning, origins, and multiple applications at the intersection of science and dharma*. *Contemporary Buddhism* 12(1), 1-18. Doi: 10.1080/14639947.2011.564811

Fuentes electrónicas

Sistema Regional de Evaluación y Desarrollo de Competencias Ciudadanas (2010). Sistema Regional de Evaluación y Desarrollo de Competencias Ciudadanas. Recuperado de: http://www.sredecc.org/imagenes/que_es/documentos/SREDECC_febrero_2010.pdf

Ceragem. (n. d.). Support FAQ. Recuperado el 27 de julio de 2014, de: <http://basic.ceragem.com/customer/customer04.asp>

Política de acceso abierto

La Revista de **Investigación de Ingeniería y sus Alcances**, en su misión de divulgar la investigación y apoyar el conocimiento y discusión en los campos de interés proporciona acceso libre, inmediato e irrestricto a su contenido de manera libre mediante la distribución de ejemplares digitales. Los investigadores pueden leer, descargar, guardar, copiar y distribuir, imprimir, usar, buscar o referenciar el texto completo o parcial de los artículos o de la totalidad de la Revista, promoviendo el intercambio del conocimiento global.

La Revista de **Investigación de Ingeniería y sus Alcances**, se acoge a una licencia Creative Commons (CC) de Atribución – No comercial – Compartir igual, 4.0 Internacional: “El material creado puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros si se muestra en los créditos. No se puede obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original”.

Para más información: <http://co.creativecommons.org/tipos-de-licencias/> Las licencias CC se basan en el principio de la libertad creativa con fines académicos, científicos, culturales. Las licencias CC complementan el derecho de autor sin oponerse a este.

Derechos de autor

Al enviar los artículos para su evaluación, los autores aceptan que transfieren los derechos de publicación a la Revista de Investigación de Ingeniería y sus Alcances, para su publicación en cualquier medio. Con el fin de aumentar su visibilidad, los documentos se envían a bases de datos y sistemas de indexación, así mismo pueden ser consultados en la página web de la Revista: <http://revistaingenieria.org> Por último, la Revista se acoge en todo lo que concierne a los derechos de autor, al reglamento de propiedad intelectual del Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia, el cual se encuentra en la siguiente dirección: <https://www.cetbolivia.org>

Principios éticos y buenas prácticas

Los artículos publicados en la Revista de **Investigación de Ingeniería y sus Alcances**, son sometidos al cumplimiento de los principios éticos contenidos en las diferentes declaraciones y legislaciones sobre propiedad intelectual y derechos de autor específicos del país donde se realizaron el estudio. Por tal motivo, los investigadores o autores de los artículos aceptados para publicar y que presentan resultados de investigaciones, deben descargar y firmar la declaración de originalidad, de cesión de derechos y de cumplimiento total de los principios éticos y las legislaciones específicas.

Antiplagio

Todos los artículos sometidos a revisión en Revista de **Investigación de Ingeniería y sus Alcances** son inspeccionados por una disciplinada política antiplagio que vela por la originalidad de los artículos. Para ello se utilizan distintos servicios especiales que analizan los textos en busca de coincidencias gramaticales y ortotipográficas, lo que garantiza que los trabajos sean inéditos y que cumplan con los estándares de calidad editorial que avalen producción científica propia.

Revista de **Investigación de Ingeniería y sus Alcances** como publicación que busca excelencia a nivel internacional, se inspira en el código ético del Comité de Ética de Publicaciones (COPE), dirigido a editores, revisores y autores.

RESPONSABILIDADES DE LOS AUTORES

Los autores de los artículos enviados a la Revista de **Investigación de Ingeniería y sus Alcances** certifican que el trabajo es original e inédito, que no contiene partes de otros autores ni de trabajos ya publicados por los autores. Además, confirman la autenticidad de los datos y que no han sido alterados.

- El autor no debe publicar artículos en los que se repitan los mismos resultados en más de una revista científica u otra publicación académica o de otro carácter. La propuesta simultánea a múltiples revistas científicas de un mismo trabajo es considerada éticamente incorrecta y reprobable.
- El autor debe suministrar siempre la correcta indicación de las fuentes y aportes a los que se hace mención en el artículo.
- Los autores garantizan la inclusión de las personas que han contribuido de manera científica e intelectual en la conceptualización y la planificación del trabajo como en la interpretación de los resultados y en la redacción del mismo. Al mismo tiempo se jerarquiza el orden de aparición de los autores de acuerdo a su nivel de responsabilidad e implicación.
- En caso de que el Consejo Editorial lo considere apropiado, los autores de los artículos deben poner a disposición también las fuentes o datos en los que se basa la investigación, que puede conservarse durante un período razonable de tiempo después de la publicación y posiblemente hacerse accesible.
- Todos los autores están obligados a declarar explícitamente que no hay conflictos de intereses que puedan haber influido en los resultados obtenidos o las interpretaciones propuestas. Los autores también deben indicar cualquier financiación de agencias y/o de proyectos de los que surge el artículo de la investigación. Cuando un autor identifica un error en su artículo, deberá inmediatamente informar a los editores de la revista y proporcionar toda la información necesaria para realizar las correcciones pertinentes. La responsabilidad del contenido de los artículos publicados en la Revista de **Investigación de Ingeniería y sus Alcances** es exclusiva de los autores.

COMPROMISOS DE LOS REVISORES

La revista de Ingeniería y sus Alcances se ampara para la revisión de artículos bajo el sistema de evaluación por pares de doble ciego, el cual consiste en que dos expertos en la materia sobre la que trata un trabajo evalúan el mismo. El sistema de doble ciego, además, significa que los expertos no conocen la identidad del autor o autores del trabajo, ni viceversa. Los revisores asumen el compromiso de realizar una revisión crítica, honesta, constructiva y sin sesgo, tanto de la calidad científica como de la calidad literaria del escrito en el campo de sus conocimientos y habilidades.

- El revisor que no se sienta competente en la temática a revisar o que no pueda terminar la evaluación en el tiempo programado, deberá notificar de inmediato a los editores. Los revisores se comprometen a evaluar los trabajos en el menor tiempo posible para respetar los plazos de entrega, dado que en la Revista **Ingeniería y sus Alcances** los límites de custodia de los manuscritos en espera son limitados e inflexibles por respeto a los autores y sus trabajos.
- Cada manuscrito asignado debe ser considerado como confidencial. Por lo tanto, estos textos no se deben discutir con otras personas sin el consentimiento expreso de los editores. Impugnables.
- La revisión por pares debe realizarse de manera objetiva. Los revisores están obligados a dar razones suficientes para cada una de sus valoraciones, utilizando siempre la plantilla de revisión. Los revisores entregarán un informe crítico completo con referencias adecuadas según protocolo de revisiones de la Revista **Ingeniería y sus Alcances** y las normativas públicas para los revisores; especialmente si se propone que el trabajo sea rechazado. Están obligados a advertir a los editores si partes sustanciales del trabajo ya han sido publicadas o están bajo revisión para otra publicación.
- Para garantizar que el proceso de revisión sea lo más objetivo, imparcial y transparente posible, la identidad de los autores se suprime antes de ser enviados los trabajos a revisión por pares. Si se da el caso de que por alguna razón se ha visto comprometida la identidad de los autores, sus filiaciones institucionales o algún otro dato que ponga en riesgo la anonimidad del documento, el revisor debe notificar de inmediato a los editores.

Visibilidad

Financiada por el Centro de Estudios Transdisciplinario de Bolivia (CET-Bolivia)
Publicada bajo la licencia Creative Commons

Autoarchivo

Una vez se disponga del documento en PDF editado, el autoarchivo se deposita en los sistemas de información:

- Open Journal System (OJS).
- Repositorio del Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia.

EDITORIAL **142**

INVESTIGACIONES

Sistema Biométrico con reconocimiento facial. Un procedimiento de registro de casos de Transporte y Seguridad Vial.

Biometric System with facial recognition. A procedure for registering Transportation and Road Safety cases.

Sistema biométrico com reconhecimento facial. Um procedimento de registo de processos no domínio dos transportes e da segurança rodoviária.

Erick Marty Terrazas Zeballos **144**

Diseño de un sistema distribuido para gestión de OLT.

Design of a distributed system for OLT management.

Projeto de um sistema distribuído para gestão de OLT.

Carlos Peliza y Leandro Alfaro **163**

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Influencia del cuarzo y materiales silíceos en las propiedades físico-mecánicas del hormigón.

Influence of quartz and siliceous materials in the physical-mechanical properties of concrete.

Influência do quartzo e dos materiais siliciosos nas propriedades físico-mecânicas do concreto.

Cristhian Jesús Calle López y Alexander Joseph Salazar Rojas **176**

Revisión de métodos de reciclaje enfocado a las aspas de aerogeneradores en México.

Review of recycling methods focused on wind turbine blades in Mexico.

Revisão dos métodos de reciclagem focados em pás de turbinas eólicas no México.

José Luis Colín Martínez; Victor López Garza, y Guillermo Muñoz Hernández **194**

CURRÍCULO DE AUTORES **211**

Editorial

En la actualidad, la ingeniería se enfrenta a retos complejos que requieren soluciones innovadoras y sostenibles. En este número 22, volumen 8 correspondiente al periodo septiembre-diciembre de 2024 de la Revista Ingeniería y sus Alcances, exploramos cuatro temas de vital importancia que no solo muestran el ingenio de nuestros profesionales, sino que también tienen un impacto directo en la calidad de vida de nuestra sociedad.

Iniciamos con la investigación sobre el avance en tecnologías biométricas, especialmente en el reconocimiento facial, ha abierto nuevas posibilidades para mejorar la seguridad en el transporte y las vías públicas. Este sistema no solo promete una identificación más rápida y precisa de los usuarios, sino que también puede contribuir significativamente a la reducción del delito y al control del tráfico. A medida que implementamos estas tecnologías, es esencial considerar la ética y la privacidad, garantizando que se utilicen de manera responsable y efectiva.

Continuamos con el estudio relacionado con la gestión de las tecnologías de acceso óptico, particularmente las OLT (Optical Line Termination), es crucial para garantizar la eficiencia en la distribución de servicios de telecomunicaciones. El diseño de un sistema distribuido que optimice la gestión de estas tecnologías permitirá una mejor respuesta a las demandas crecientes de conectividad y calidad de servicio. Este enfoque no solo mejora la experiencia del usuario final, sino que también promueve la sostenibilidad en la infraestructura de telecomunicaciones.

Es importante destacar la investigación sobre los materiales de construcción que fundamentan la evolución de la ingeniería civil. En este sentido, la influencia del cuarzo y otros materiales silíceos en las propiedades físico-mecánicas del hormigón es un

Editorial

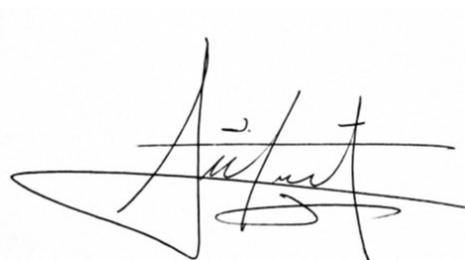
tema que merece atención. Comprender cómo estos componentes afectan la resistencia y durabilidad del hormigón no solo optimiza la calidad de nuestras construcciones, sino que también permite un uso más responsable de los recursos.

Para cerrar esta edición presentamos el estudio relacionado con la transición hacia energías renovables es un imperativo global, y el reciclaje de componentes como las aspas de aerogeneradores se vuelve crucial en este proceso. En México, donde la inversión en energías limpias está en aumento, es vital desarrollar métodos de reciclaje eficientes que minimicen el impacto ambiental y maximicen la reutilización de materiales. Este artículo destaca las estrategias actuales y propone enfoques innovadores que podrían transformar la gestión de residuos en la industria eólica.

A medida que nos adentramos en estos temas, es evidente que la ingeniería no solo debe adaptarse a los cambios tecnológicos, sino que también debe liderar el camino hacia un futuro más seguro y sostenible. Invitamos a nuestros lectores a reflexionar sobre estas innovaciones y a considerar su aplicación en sus respectivos campos de trabajo.



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v8i22.123>



 Dr. Feibert A. Guzmán P
Editor Revista de Investigación Ingeniería y sus
ALCANCES





Sistema biométrico con reconocimiento facial. Un procedimiento de registro de casos de transporte y seguridad vial

Biometric system with facial recognition. A procedure for registering transportation and road safety cases

Sistema biométrico com reconhecimento facial. Um procedimento de registo de processos no domínio dos transportes e da segurança rodoviária

ARTÍCULO ORIGINAL



Erick Marty Terrazas Zeballos 
ermateze@gmail.com

Universidad Adventista de Bolivia. Cochabamba, Bolivia

Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v8i22.124>

Artículo recibido 17 de julio 2024 / Aceptado 21 de agosto 2024 / Publicado 23 de octubre 2024

RESUMEN

El reconocimiento facial es una tecnología de identificación Biométrica que, por medio del análisis de ciertos rasgos característicos del rostro, busca establecer la identidad de una persona. A pesar de ser menos precisa que otras formas de identificación Biométrica, como la lectura de huellas dactilares o del iris, no requiere contacto físico. El presente trabajo presta atención a desarrollar un sistema biométrico con reconocimiento facial para optimizar el procedimiento de registro de casos en la Dirección Regional de Tránsito, Transporte y Seguridad Vial de Quillacollo, Bolivia. Para este proyecto, se empleó la metodología Kanban para gestionar ágilmente el flujo de trabajo, se incorporó SVM (Support Vector Machines) para lograr un reconocimiento facial efectivo. En el resultado propuesto se destaca la combinación de estas tecnologías garantiza un sistema integral y eficiente, mejorando la identificación de infractores y la eficiencia operativa, contribuyendo a una gestión más efectiva del control de tránsito.

Palabras clave: Identificación de infractores; identificación Biométrica; Reconocimiento facial; Seguridad Vial; Sistema biométrico

ABSTRACT

Facial recognition is a biometric identification technology that, through the analysis of certain characteristic features of the face, seeks to establish a person's identity. Despite being less accurate than other forms of biometric identification, such as fingerprint or iris reading, it does not require physical contact. This work focuses on developing a biometric system with facial recognition to optimize the case registration procedure at the Regional Directorate of Transit, Transport, and Road Safety in Quillacollo, Bolivia. For this project, the Kanban methodology was employed to efficiently manage the workflow, and SVM (Support Vector Machines) was incorporated to achieve effective facial recognition. The proposed outcome highlights that the combination of these technologies guarantees a comprehensive and efficient system, improving the identification of offenders and operational efficiency, thereby contributing to more effective traffic control management.

Key words: Identification of offenders; Biometric identification; Facial recognition; Road safety; Biometric system

RESUMO

O reconhecimento facial é uma tecnologia de identificação biométrica que, através da análise de determinados traços caraterísticos do rosto, procura estabelecer a identidade de uma pessoa. Embora seja menos preciso do que outras formas de identificação biométrica, como a leitura das impressões digitais ou da íris, não requer contacto físico. Este trabalho centra-se no desenvolvimento de um sistema biométrico com reconhecimento facial para otimizar o procedimento de registo de casos na Direção Regional de Tránsito, Transporte e Segurança Rodoviária de Quillacollo, Bolívia. Para este projeto, foi utilizada a metodologia Kanban para gerir o fluxo de trabalho de forma ágil e foi incorporada a SVM (Support Vetor Machines) para conseguir um reconhecimento facial eficaz. O resultado proposto destaca que a combinação destas tecnologias garante um sistema abrangente e eficiente, melhorando a identificação dos infractores e a eficiência operacional, contribuindo para uma gestão mais eficaz do controlo do tráfego.

Palabras clave: Identificação de infractores; Identificação biométrica; Reconhecimento facial; Segurança rodoviária; Sistema biométrico

INTRODUCCION

El reconocimiento facial es una tecnología de identificación Biométrica, también conocida como verificación, es el proceso por el que se comparan los datos de las características de una persona con la "plantilla" biométrica de esa persona, con el fin de determinar su semejanza. En primer lugar, el modelo de referencia se almacena en una base de datos o en un elemento seguro portátil, como una tarjeta inteligente. Luego se comparan los datos almacenados con los datos biométricos de la persona para autenticarse. Aquí, lo que se está verificando es la identidad de la persona.

El reconocimiento de personas, consiste en determinar la identidad de las personas mediante sus características físicas y/o de comportamiento. La identificación Biométrica abarca el procesamiento automático de la escritura, las huellas digitales, la geometría de la mano, el rostro y sus partes, la forma de caminar, la voz, o la combinación de estas en los llamados sistemas multibiométricos (Pérez, 2014).

En particular el reconocimiento del rostro presenta ventajas sobre otros sistemas biométricos, en cuanto a que es una técnica no invasiva y puede ser utilizada tanto en aplicaciones públicas como encubiertas. Sin embargo, algunos elementos complejizan el proceso de reconocimiento de rostro; como las variaciones de las poses y las expresiones, las distintas fuentes de iluminación, las sombras, el comportamiento especular de la piel, la oclusión de sus partes

por espejuelos o prendas de vestir, el pelo, los maquillajes y el envejecimiento.

Las nuevas tecnologías de captura en 3D abarcan escáneres (Boyde, 2014), sistemas estereoscópicos (Zappa et al., 2010), sistemas con luz estructurada (Paysan et al., 2009) o sistemas de imágenes de rango (Yan y Bowyer, 2007) que se obtienen mediante dispositivos que censan la profundidad como las cámaras Kinect (Li et al., 2013). Comúnmente estas tecnologías para la identidad de las personas mediante sus características físicas y/o de comportamiento se complementan con aplicaciones que permiten el perfeccionamiento de estos modelos, mediante el rellenado de huecos (Xu et al., 2009), la regularización de la información (Zhang, Z., 2012) y el suavizado (Wang et al., 2010).

Si bien los sistemas de reconocimiento facial pueden ser diversos, todos requieren de al menos tres elementos para funcionar: una forma de capturar imágenes, un software encargado del análisis de las imágenes y una base de datos con rostros para hacer la comparación.

La precisión del sistema dependerá del acceso a una base de datos que permita la identificación de las imágenes con sujetos previamente catalogados, de que las imágenes cumplan con ciertos estándares mínimos de calidad requeridos por el software para su análisis (tamaño, luminosidad, que la imagen capture los puntos de análisis utilizados por el sistema, etc.), del modo en que los algoritmos hayan sido

“entrenados” para hacer las asociaciones entre los datos capturados y aquellos en la base de datos que permite la comparación, así como del diseño mismo del software, que indicará los parámetros precisos de acuerdo a los que se efectuarán las comparaciones para producir la identificación. Problemas en cualquiera de estos niveles pueden impedir que el sistema realice correctamente la función para la cual ha sido implementado, lo que puede traducirse en reconocimientos fallidos, discriminaciones arbitrarias y falsos positivos, todas situaciones lamentablemente comunes asociadas al uso de sistemas de reconocimiento facial, especialmente cuando se utiliza para vigilar el espacio público y para resguardar el acceso a derechos sociales.

Con el objetivo de enfrentar algunos de estos problemas y teniendo en cuenta que, en la última década el tráfico vehicular en las ciudades de Bolivia, representa un desafío constante para las autoridades, generando congestiones, accidentes y una pérdida significativa de tiempo y recursos. La Dirección Regional de Tránsito Quillacollo no es ajena a esta problemática, ya que enfrenta un flujo diario considerable de personas que realizan diversos trámites.

Cuando se utiliza para la vigilancia del espacio público y el combate del delito común, el reconocimiento facial erosiona la autonomía de las personas en favor de un sistema que pretende el control absoluto, mediante la gestión técnica de las identidades, reproduciendo las desigualdades

y exclusiones que históricamente han puesto en desventaja a las comunidades no hegemónicas.

En relación al registro de los casos de tránsito, es relevante destacar que durante el año 2022 se contabilizaron un total de 279 percances viales. Este proceso se desencadena cuando los agentes de tránsito identifican infracciones a las normas vehiculares y proceden a trasladar a los involucrados a la Dirección Regional de Tránsito de Quillacollo. En este contexto, se genera un expediente que detalla el número de infracciones, el tipo de vehículo, el lugar y hora del incidente, así como los datos completos de los implicados.

Hay que aclarar que el registro de expedientes se realiza primeramente en un cuaderno, para posteriormente ser trasladado a un documento de hoja de cálculos Excel, lo cual es muy ineficiente ya que el personal de la oficina no está capacitado para el uso de este tipo de programas y pierden un tiempo transcribiendo los datos, además de que a veces se generan errores en el ingreso de los mismos. Todo este registro en la hoja Excel está en el formato de la Dirección Departamental de Tránsito Cochabamba, donde se centraliza todos los casos de todas las unidades. Las hojas de cálculo tienen varias desventajas y estas son: la falta de seguridad, ya que se pueden eliminar, modificar o corromper fácilmente los datos además de que no se puede compartir la información de manera eficiente con la Dirección Departamental de Tránsito Cochabamba.

Además de los desafíos mencionados, la identificación de infractores de tránsito se ve obstaculizada en situaciones en las que los individuos llegan en estado de ebriedad o no pueden proporcionar información precisa sobre su identidad. En estos casos, los agentes de la policía de tránsito se ven obligados a depender de la información proporcionada por testigos o de investigaciones posteriores del caso. Esta falta de información precisa dificulta la aplicación de sanciones adecuadas a los infractores, aumenta el riesgo de errores en la identificación de los culpables y, lo que es más preocupante, genera un peligro tanto para los infractores mismos como para otros usuarios de la vía pública. La combinación de estos factores pone de relieve la necesidad de implementar estrategias más efectivas para la identificación precisa de infractores de tránsito.

Si bien la tarea de identificar infractores de tránsito presenta desafíos complejos, la tecnología de reconocimiento facial ha surgido como una herramienta prometedora para abordar algunos de estos obstáculos. Esta tecnología, ya implementada y funcionando con éxito en países como China, Estados Unidos y Europa, ofrece la posibilidad de mejorar la precisión y la eficiencia en la identificación de individuos, incluso en situaciones difíciles como aquellas que involucran a personas en estado de ebriedad o con dificultades para proporcionar información personal.

En China, se ha utilizado una variedad de tecnologías de reconocimiento facial en la aplicación de la ley, incluyendo gafas de reconocimiento facial. Estas gafas están equipadas con cámaras y software de reconocimiento facial para identificar a personas en tiempo real. La tecnología se ha utilizado en eventos deportivos y en la estación de tren de Zhengzhou, donde se ha utilizado para identificar a sospechosos y personas fugitivas (Fontdeglória, 2018).

La implementación exitosa del reconocimiento facial en la aplicación de la ley en distintos países pone de relieve el potencial de los sistemas biométricos para mejorar la eficiencia y la precisión en la identificación de individuos. Los sistemas biométricos se han convertido en una herramienta fundamental para la identificación y verificación de individuos en diversos ámbitos, desde la seguridad pública y el control de acceso hasta la asistencia financiera y la gestión de identidad. Estos sistemas se basan en la utilización de características físicas o de comportamiento único e intransferible de cada persona, como las huellas dactilares, el reconocimiento facial, el escaneo de iris, el reconocimiento de voz y el análisis de la marcha, entre otras.

En consonancia con este avance tecnológico en materia de identificación y seguridad, el proyecto que nos ocupa tiene como objetivo principal el desarrollo de un sistema biométrico con reconocimiento facial para automatizar

el registro de casos de tránsito. Este sistema innovador busca optimizar y transformar el proceso tradicional de registro de casos, introduciendo un nuevo paradigma de eficiencia, precisión y seguridad mediante la implementación de tecnologías de vanguardia como Django, Tkinter y el algoritmo de SVM.

El sistema propuesto se basa en la captura de imágenes faciales de los individuos involucrados en un caso de tránsito. Estas imágenes se procesan mediante el algoritmo de SVM (Support Vector Machines), una técnica de aprendizaje automático de gran precisión en la clasificación y reconocimiento de patrones. El algoritmo SVM permite comparar las imágenes capturadas con una base de datos, identificando de manera confiable a los individuos involucrados en el caso.

La información obtenida a través del reconocimiento facial se integra con un sistema de gestión de casos de tránsito desarrollado en Django, un framework web robusto y escalable. Esta integración permite automatizar el registro de datos esenciales del caso, como la identidad de los involucrados, la fecha, hora y ubicación del incidente, así como una descripción detallada del mismo. La interfaz gráfica del sistema se desarrolla utilizando Tkinter, una biblioteca de Python para la creación de interfaces de usuario gráficas. Esta interfaz ofrece una experiencia de usuario intuitiva y fácil de usar, permitiendo a los oficiales de tránsito registrar los casos de manera rápida y eficiente.

En consecuencia, esta investigación se diseñó considerando como problema científico: ¿Qué sistema Biométrico se debe utilizar para el reconocimiento facial para optimizar el procedimiento de registro de casos en la Dirección Regional de Tránsito, Transporte y Seguridad Vial de Quillacollo, Bolivia?

Su objetivo consistió en: proponer un desarrollar un Sistema Biométrico con reconocimiento facial para optimizar el procedimiento de registro de casos en la Dirección Regional de Tránsito, Transporte y Seguridad Vial de Quillacollo, Bolivia.

METODO

El enfoque de este estudio atendiendo a su nivel de profundidad la investigación fue un diseño no experimental con un análisis cualitativo en base a los hallazgos del levantamiento de información sobre el despliegue de sistemas de reconocimiento facial en la Dirección Regional de Tránsito, Transporte y Seguridad Vial de Quillacollo, Bolivia.

Los métodos del orden teórico: analítico-sintético, inductivo-deductivo y el análisis documental se emplea en la revisión bibliográfica sobre los sistemas Sistema Biométrico con reconocimiento facial para el procedimiento de registro de casos en la dirección regional de tránsito transporte y seguridad vial, y de orden empírico: observación participante, entrevistas grupales en su modalidad grupos de discusión.

(Porto y Ruiz, 2014).

Como instrumento se aplicó una entrevista al director de la oficina regional de tránsito. El propósito de esta entrevista fue obtener información sobre las estrategias y acciones que se están llevando a cabo para prevenir accidentes, los desafíos que se enfrentan en esta tarea y las expectativas para el futuro. De acuerdo a (Ávila et al 2020, como se citó en Aduvire, 2022), la recogida de la información y el procesamiento de los datos emerge de las respuestas a las preguntas delimitadas en formularios digitales o impresos dirigidos a los sujetos seleccionados como muestra. En ese sentido, la entrevista se aplicó a través de un formulario elaborado por los autores, aplicado a la muestra seleccionada, los resultados se tabularon en tablas estadísticas de Excel, desde donde fueron analizados e interpretados, obteniendo información cualitativa a partir de datos cuantitativos obtenidos.

En el procedimiento realizado se consideraron los sistemas de reconocimiento facial desarrollados en el marco de políticas públicas, especialmente aquellos sistemas implementados para asistir la vigilancia del espacio público y la autenticación de identidad, particularmente como medida de acceso a derechos y beneficios sociales. No se consideraron aquellos sistemas desplegados en espacios privados como tiendas, centros comerciales o bancos privados; tampoco están incluidos sistemas implementados en ámbitos como el

comercio electrónico o el acceso a dispositivos digitales o aplicaciones cuando no constituyen un condicionante para el acceso a un servicio público.

La información fue compilada a partir de las siguientes fuentes:

- a) Solicitudes de acceso a la información.
- b) Entrevistas semiestructuradas con agentes clave: empresas, agentes públicos, etc.
- c) Búsqueda por palabras-clave en mecanismos de búsqueda: buscadores diversos en internet, medios de comunicación, portales de transparencia, webs de gobiernos, etc.
- d) Consulta a organizaciones de derechos humanos, movimientos sociales, periodistas y activistas del país.

Como metodología de desarrollo este proyecto utilizó Kanban para acompañar el ciclo de desarrollo de software debido a su flexibilidad, permitiendo adaptar el proceso de desarrollo a las necesidades cambiantes del proyecto. A diferencia de metodologías más rígidas como Scrum, Kanban no impone ciclos de desarrollo predefinidos, sino que permite un flujo continuo de trabajo y una rápida respuesta a nuevas prioridades o imprevistos.

La arquitectura de software que se eligió para el proyecto es la arquitectura headless, también conocida como "Sin cabeza", este es un enfoque de diseño de software donde se separa

la interfaz de usuario (front-end) de la lógica del servidor y la gestión de datos (Novoseltseva 2020). En este estilo arquitectónico, el front-end no está directamente acoplado a un sistema específico de gestión de contenidos o plataforma, lo que permite una mayor flexibilidad y modularidad en el desarrollo.

La elección de la arquitectura headless para este proyecto se justifica de manera significativa por la facilidad que proporciona a la escalabilidad del sistema. La separación clara entre el front-end y el back-end en una arquitectura headless permite gestionar eficientemente el crecimiento del sistema sin comprometer la flexibilidad ni la coherencia en la experiencia del usuario. Además, el modularidad inherente a la arquitectura headless facilita la adición de nuevos servicios o la expansión de capacidades sin afectar directamente la interfaz de usuario.

A continuación, se describen detalladamente las diversas tecnologías web e inteligencia artificial empleadas en este proyecto. Se explica la justificación de la elección de cada una de estas tecnologías y se analizan sus distintas aplicaciones prácticas dentro del sistema, destacando cómo contribuyen a resolver la problemática planteada.

La biometría se define como el campo multidisciplinario que se enfoca en el estudio y desarrollo de técnicas para medir, analizar y reconocer características únicas y medibles de los seres vivos, con el fin de identificar, autenticar y verificar su identidad. Para capturar y analizar las

características biométricas, se utilizan diversas tecnologías y dispositivos especializados. Estos incluyen sensores de huellas dactilares, cámaras para reconocimiento facial, escáneres de iris, dispositivos de reconocimiento de voz, entre otros. Estas tecnologías permiten adquirir de manera precisa y eficiente los datos biométricos necesarios para su posterior procesamiento y comparación.

En el proceso de identificación y verificación biométrica, se emplean algoritmos y métodos para analizar y comparar las características biométricas capturadas. Estos algoritmos realizan operaciones de extracción, comparación y verificación de la información biométrica para determinar la identidad de un individuo (Boehnen, y Flynn, 2005). Algunos ejemplos comunes de algoritmos biométricos incluyen los algoritmos de coincidencia de huellas dactilares, los algoritmos de reconocimiento facial y los algoritmos de reconocimiento de iris.

Para la persistencia de datos en este proyecto usaremos PostgreSQL que es un sistema de gestión de bases de datos relacionales (SGBDR) de código abierto que se destaca por su robustez, confiabilidad y escalabilidad (OVHcloud 2024). Es una opción popular para aplicaciones que requieren un alto nivel de disponibilidad, seguridad de datos y manejo de grandes volúmenes de información.

Uno de los componentes más importantes de nuestro proyecto fue el lenguaje de programación Python debido a las múltiples ventajas que este

lenguaje aporta, las cuales se complementan perfectamente con las necesidades y características del mismo. Python cuenta con Django, un framework de desarrollo web de alto nivel que facilita la creación de aplicaciones web escalables y seguras. Django ofrece una amplia gama de funcionalidades integradas, como gestión de bases de datos, autenticación de usuarios, administración de contenido y un sistema de plantillas flexible (Gupta 2023).

En este proyecto, Django ha sido fundamental para desarrollar la base sólida de la aplicación web, permitió una gestión eficiente de la información, la creación de interfaces dinámicas y la implementación de funcionalidades robustas.

También es importante recalcar que Python es un lenguaje ampliamente utilizado en el campo del reconocimiento facial, lo que significa que existe una gran cantidad de bibliotecas y herramientas especializadas disponibles para esta tarea (Amazon Web Service 2018) Esto facilita la integración de algoritmos de reconocimiento facial en el proyecto, sin necesidad de recurrir a lenguajes o herramientas externas.

Se utilizó la biblioteca OpenCV, una biblioteca de código abierto ampliamente utilizada para el procesamiento de imágenes y el reconocimiento facial (Boesch 2024). OpenCV ha permitido implementar de manera eficiente la funcionalidad de reconocimiento facial en la aplicación, brindando una experiencia fluida y precisa para los usuarios.

En sintonía con el lenguaje de programación Python, las interfaces gráficas de este proyecto se desarrollaron utilizando la librería Tkinter. Esta librería es una herramienta de código abierto ampliamente utilizada para la creación de interfaces gráficas de usuario (Yan, y Bowyer, 2007).). Esta herramienta no solo facilitó la creación de interfaces funcionales, sino que se erigió como una herramienta fundamental para adaptarlas a los requerimientos específicos del proyecto, garantizando una experiencia de usuario excepcional.

RESULTADOS

En esta sección se presenta el producto construido como parte del proyecto, destacando las características principales y el proceso de desarrollo utilizando la metodología Kanban para acompañar el ciclo de desarrollo de software (Boyde 2014). El producto desarrollado es un Sistema Biométrico con Reconocimiento Facial para el Procedimiento de Registro de Casos de Tránsito, el cual tiene como objetivo agilizar y optimizar el proceso de registro de casos de tránsito mediante la utilización de la tecnología de reconocimiento facial. El sistema está diseñado para ser utilizado por las autoridades de tránsito para mejorar la eficiencia y la precisión en la identificación de las personas involucradas en los incidentes de tránsito.

Sobre sus características principales este sistema permite el registro de casos de tránsito mediante el reconocimiento facial de los

involucrados. El sistema captura una imagen del rostro de la persona y la compara con una base de datos de rostros previamente registrados. Si se encuentra una coincidencia, el sistema recupera la información personal de la persona y la precarga en el formulario de registro del caso. Este sistema permite obtener información de forma independiente sobre los potenciales riesgos que su diseño o implementación puedan representar para el ejercicio de los derechos de los usuarios o personas impactadas por una tecnología específica. Posibilita acceder a los procesos iterativos de mejora en que la visión de los operadores del sistema sea complementada por visiones externas que contribuyan a su mejora y evitar impactos negativos de la implementación de un sistema.

El desarrollo del sistema se llevó a cabo utilizando la metodología Kanban, un enfoque ágil de gestión de proyectos que se basa en la visualización del flujo de trabajo y la mejora continua (DoneTonic 2019). Se dividió el proyecto en ocho bloques de trabajo, cada uno con un

objetivo específico y un tiempo de entrega definido. Se implementó un tablero Kanban para visualizar el progreso de cada bloque de trabajo y gestionar el flujo de tareas. El proyecto tuvo una duración total de dos meses, durante los cuales se completaron los ocho bloques de trabajo de forma satisfactoria. La metodología Kanban permitió una gestión eficiente del tiempo y los recursos, adaptándose a los cambios y necesidades del proyecto de manera flexible.

Bloques de trabajo

A continuación, se presenta una breve descripción de cada bloque de trabajo

Bloque de trabajo I: Recopilación de Requerimientos y diseño arquitectónico: Se recopilaban los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema, incluyendo las necesidades de los usuarios y las características del producto. También se optó por el uso de la arquitectura Headless para el desarrollo de este sistema.

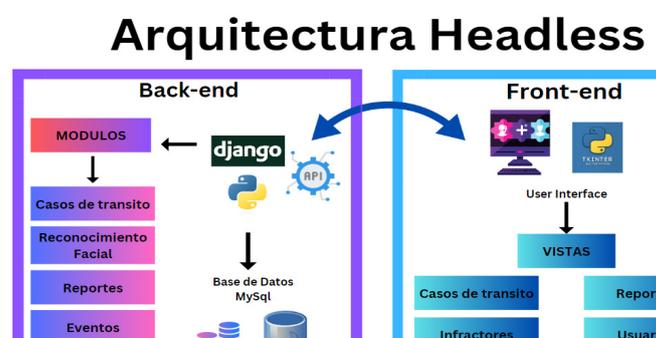


Figura 1. Diagrama de arquitectura Headless.

Bloque de trabajo II: Diseño de la Base de Datos. Se diseñó la estructura de la base de datos para almacenar la información del sistema, incluyendo tablas, relaciones y atributos

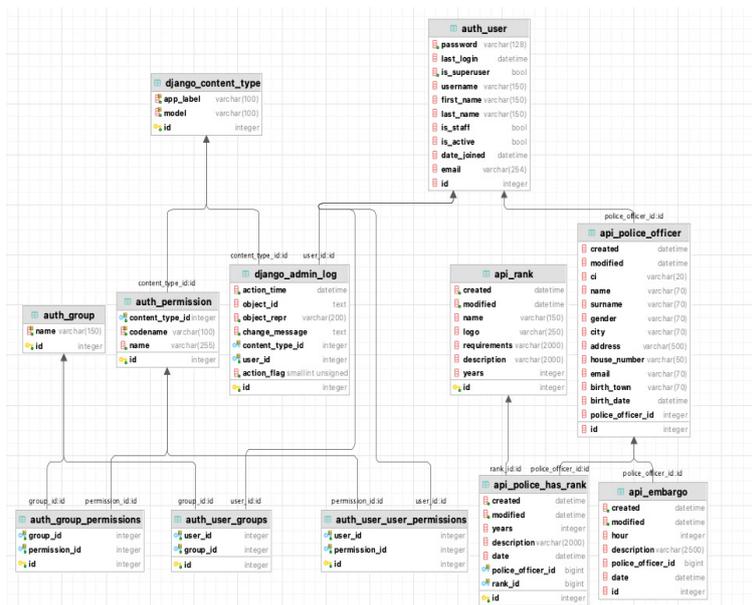


Figura 2. Diseño de base de datos.

Bloque de trabajo III: Desarrollo de rutas API. El siguiente bloque de trabajo se enfocó en el desarrollo de las rutas de la API utilizando Django para los distintos módulos del sistema. Durante

este bloque, se utilizó el framework Django para diseñar y definir las rutas que permitan la interacción con cada uno de los módulos del sistema.

```

api/token/ [name='token_obtain_pair']
api/token/refresh/ [name='token_refresh']
admin/
offender/
offender/<int:pk>/
offense/
offense/<int:pk>/
offender-image/
offender-image-list/
offender-image/<int:pk>/
police-officer/
police-officer/<int:pk>/
rank/
rank/<int:pk>/
user/
user/<int:pk>/
vehicle/
vehicle/<int:pk>/
embargo/
embargo/<int:pk>/
traffic-case/
traffic-case/<int:pk>/
traffic-case-offender/
traffic-case-offender/<int:pk>/
traffic-case-victim/
traffic-case-victim/<int:pk>/
stats/year/
stats/month/
face-detector/
camera-control/
home-camera/
video-feed/
^media/(?P<path>.*)*$
    
```

Figura 3. Rutas backend.

Bloque de trabajo IV: Módulo de Policías. El siguiente bloque de trabajo se enfocó en la implementación del módulo de policías en el sistema. Durante este bloque, se creó la ruta correspondiente en la API (Application Programming Interface) y se desarrollaron las vistas utilizando la biblioteca Tkinter para la interfaz de usuario.

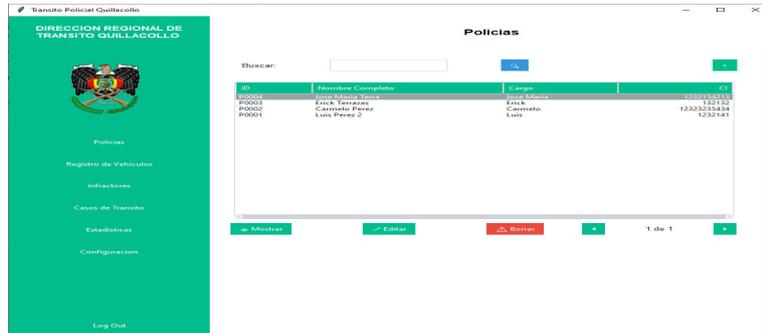


Figura 4. Interfaz de usuario: lista de policías.

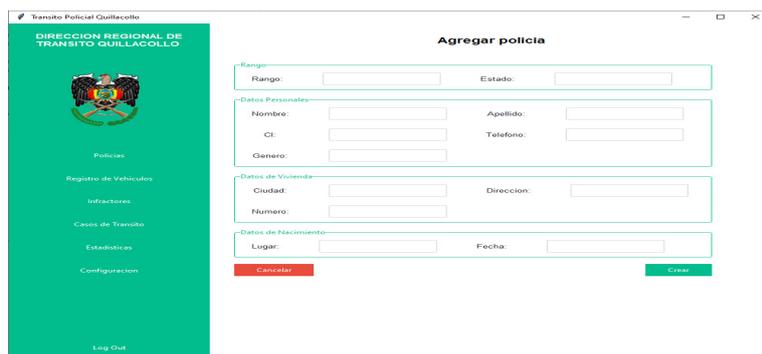


Figura 5. Interfaz de usuario: crear policía.

Bloque de trabajo V: Módulo de infractores. Este bloque de trabajo se concretó en el desarrollo del módulo de infractores abordando las distintas vistas y también probando sus funcionalidades.

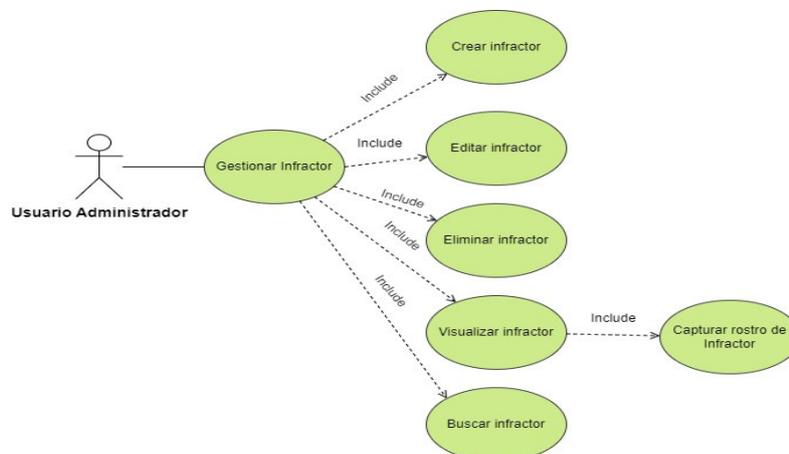


Figura 6. Diagrama de casos de uso módulo de infractores.

Figura 7. Interfaz de usuario: crear infractor.

Bloque de trabajo VI: Módulo de casos de tránsito. Durante este bloque de trabajo se realizó el módulo de casos de tránsito siendo este el módulo principal del sistema debido a que combina

la mayoría de entidades del mismo sistema y además contiene algunas funcionalidades más complejas.

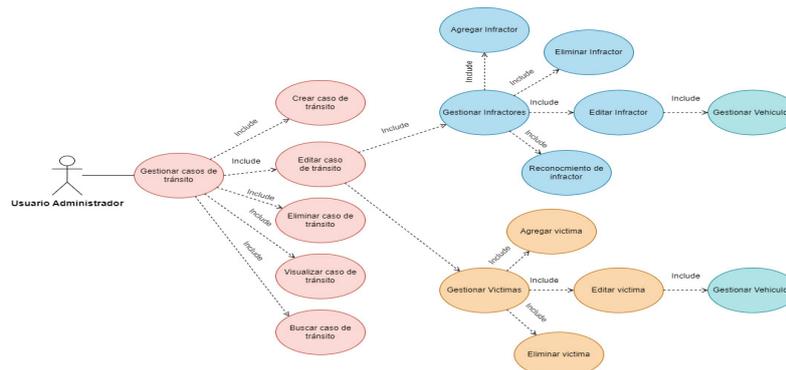


Figura 8. D. casos de uso módulo de casos de tránsito.

Figura 9. Interfaz de usuario: crear caso de tránsito.

Bloque de trabajo VII: Módulo de reconocimiento facial. Durante este bloque, se implementó un subsistema de reconocimiento facial que utilizó SVM como algoritmo de clasificación y OpenCV como biblioteca para el procesamiento de imágenes (Boesch 2024).

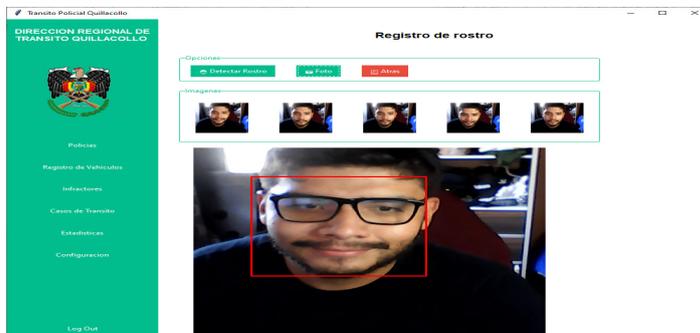


Figura 10. Interfaz de usuario: capturar rostro de infractor.

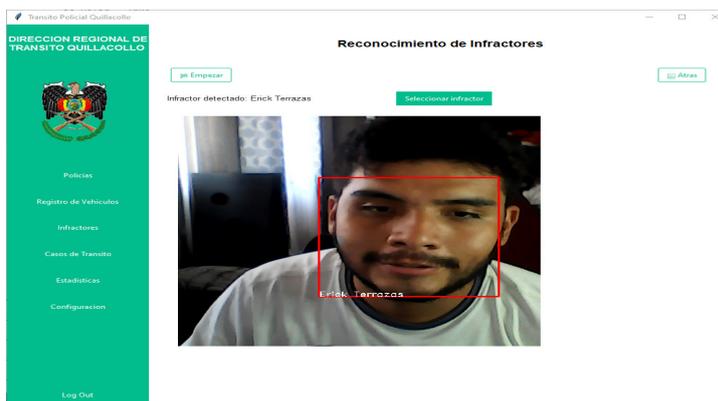


Figura 11. Interfaz de usuario: reconocimiento de infractores.

Bloque de trabajo VIII: Módulo de estadísticas. El siguiente bloque de trabajo se centró en realizar el módulo de estadísticas donde se verán los reportes de casos de tránsito anual y mensual.

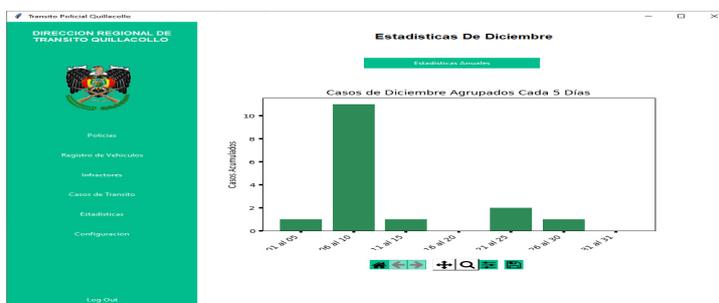


Figura 12. Interfaz de usuario: estadísticas mensuales.

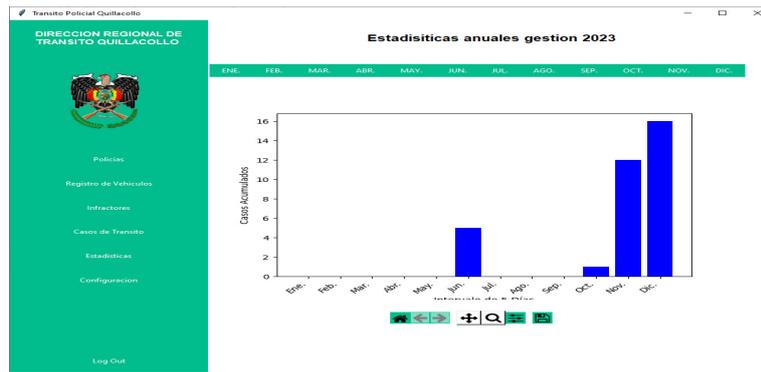


Figura 13. Interfaz de usuario: estadísticas anuales.

DISCUSIÓN

La implementación del sistema biométrico con reconocimiento facial en la Dirección Regional de Tránsito, Transporte y Seguridad Vial de Quillacollo demostró ser una solución efectiva para abordar las ineficiencias operativas y las dificultades en la identificación de infractores. Este avance tecnológico no solo moderniza el proceso de registro, sino que también ofrece múltiples beneficios que merecen ser discutidos detalladamente.

En cuanto al reconocimiento de rostros completos, existe coincidencia con el análisis de datos funcionales como alternativa para el reconocimiento automático planteado por los autores (Muñoz, et al. 2014). El sistema desarrollado ha sido valorado positivamente por los usuarios finales y los administradores de la institución. La integración de reconocimiento facial ha permitido una identificación más precisa y rápida de los infractores, eliminando errores humanos comunes en el registro manual. El uso de Django para la creación de una API robusta y la implementación de interfaces de usuario con

Tkinter han facilitado la adopción del sistema, haciéndolo accesible y fácil de usar para el personal. A continuación, se explicarán los distintos efectos del sistema:

Reducción del Tiempo de Registro

En este sentido, el sistema ha permitido una disminución significativa en el tiempo requerido para registrar casos de tránsito. Esto se debe a la automatización de procesos y la rapidez del reconocimiento facial en comparación con el registro manual. Anteriormente, los registros manuales implicaban varios pasos, como la verificación de documentos, la identificación visual y la entrada manual de datos en los sistemas de registro. Estos pasos no solo eran tediosos y propensos a errores humanos, sino que también consumían una cantidad considerable de tiempo. Con la implementación del reconocimiento facial, el proceso de identificación se ha simplificado significativamente, estudios anteriores han demostrado que la rapidez del reconocimiento facial en comparación con el registro manual es efectiva a través de criterios y métodos de

selección de bases y su impacto en el análisis de datos funcionales (Silva-Mata, et al. 2016).

Disminución de Errores

Es de gran importancia en el reconocimiento facial el impacto de los errores; esto no solo mejora la fiabilidad de los registros, sino que también asegura que las acciones legales y administrativas se basen en información precisa y verificada. Este contexto normativo y no se controla, agrava los riesgos que este tipo de tecnologías presentan al ejercicio de derechos fundamentales. Es necesario además mencionar que la mayoría de los intentos por regular las tecnologías de identificación biométrica parecen estar más preocupados por validar su implementación que de balancear sus propósitos. En ese sentido, si bien es cierto que una regulación específica en la disminución de los errores puede ser beneficiosa cuando busca subsanar deficiencias de la normativa general de protección de datos personales, eso solo será posible cuando su formulación considere un enfoque de prevención de riesgos de impacto en el ejercicio de derechos fundamentales, entre ellos notablemente privacidad y no discriminación (Parra, 2020).

La precisión del reconocimiento facial mediante SVM ha reducido los errores de identificación, asegurando que los registros sean más fiables y exactos. En los métodos tradicionales de identificación, los errores humanos, como la entrada incorrecta de datos o la confusión entre

personas con características físicas similares, eran comunes. Estos errores no solo afectaban la exactitud de los registros, sino que también podían llevar a consecuencias legales y administrativas graves. Con el uso de SVM para el reconocimiento facial, el sistema puede distinguir entre rostros con una alta precisión, minimizando la posibilidad de errores.

Flexibilidad y escalabilidad

A decir de Intelion, (2018), los sistemas de control biométrico son altamente flexibles y escalantes, lo que los hace adecuados para empresas de diferentes tamaños y tipos. Estos sistemas pueden adaptarse a las necesidades específicas de tu empresa y permiten agregar o eliminar usuarios de manera fácil y rápida. La arquitectura implementada (Headless) proporciona la flexibilidad necesaria para escalar el sistema y adaptarlo a futuras necesidades y tecnologías emergentes. Al desacoplar el frontend y el backend, la arquitectura (Headless) permite actualizaciones y modificaciones en una parte del sistema sin afectar la otra.

Esto no solo facilita la integración de nuevas funcionalidades y tecnologías, sino que también asegura que el sistema pueda evolucionar con el tiempo. La escalabilidad del sistema es esencial para manejar un volumen creciente de datos y usuarios. A medida que la población y el tráfico en Quillacollo aumentan, el sistema debe ser capaz de manejar más registros y procesar datos

de manera eficiente. La flexibilidad y escalabilidad proporcionadas por la arquitectura (Headless) aseguran que el sistema puede crecer y adaptarse a estas demandas futuras, manteniendo su rendimiento y eficiencia.

Mejora en la Eficiencia Operativa

La gestión eficaz de la de la seguridad vial en la Mejora en la Eficiencia Operativa, implica un mejor control de los procesos internos y una estructura organizativa más eficiente. Esto se traduce en una operación más fluida y menos interrupciones debido a incidentes, aumentado la productividad y reduciendo costos asociados a accidentes y daños (Flynn, y Jain, 2018). La mejora en la eficiencia operativa permite a la Dirección de Tránsito gestionar un mayor volumen de casos con los mismos recursos, lo que se traduce en un mejor servicio para la comunidad. La reducción del tiempo de registro y la disminución de errores han liberado recursos que antes se dedicaban a la corrección de errores y a la gestión de registros manuales.

Estos recursos ahora pueden ser redirigidos hacia otras áreas críticas, como la mejora de la infraestructura de tránsito y la educación vial. Además, la capacidad de gestionar un mayor volumen de casos sin necesidad de aumentar significativamente el personal o los recursos técnicos mejora la eficiencia global de la institución. Esto no solo optimiza el uso de los recursos disponibles, sino que también mejora

la calidad del servicio ofrecido a la comunidad, reduciendo los tiempos de espera y aumentando la satisfacción de los ciudadanos.

Mayor Justicia y Transparencia

La precisión en la identificación de infractores contribuye a una mayor justicia y transparencia en el proceso de registro de casos de tránsito, fortaleciendo la confianza pública en la institución. Los errores de identificación y los registros incorrectos pueden llevar a consecuencias injustas para los ciudadanos, como multas incorrectas o acusaciones injustas. Al reducir estos errores, el sistema biométrico asegura que solo los verdaderos infractores sean identificados y registrados. Esto no solo mejora la exactitud de los registros, sino que también refuerza la percepción de justicia y equidad en el sistema de tránsito. La transparencia en el proceso de identificación y registro también es crucial para mantener la confianza pública. Al utilizar tecnologías avanzadas y métodos precisos de identificación, la Dirección de Tránsito puede demostrar su compromiso con la justicia y la transparencia, lo que fortalece la confianza de los ciudadanos en la institución y en el sistema de gestión de tránsito.

Relevancia Futura

La flexibilidad y escalabilidad del sistema aseguran su relevancia futura, permitiendo integraciones con nuevas tecnologías y adaptaciones a cambios en la legislación y

políticas de tránsito. A medida que surgen nuevas tecnologías y cambian las regulaciones, el sistema debe ser capaz de adaptarse y evolucionar para mantenerse relevante y efectivo. La capacidad de integrar nuevas tecnologías, como el aprendizaje automático avanzado o la inteligencia artificial, puede mejorar aún más la precisión y eficiencia del sistema. Además, la flexibilidad para adaptarse a cambios en la legislación asegura que el sistema cumpla con las normativas y regulaciones vigentes, evitando problemas legales y administrativos. La relevancia futura del sistema no solo asegura su sostenibilidad a largo plazo, sino que también garantiza que pueda seguir proporcionando beneficios significativos a la comunidad y a la dirección de tránsito.

Finalmente, la valoración cualitativa destaca la idea de que la tecnología de reconocimiento facial permite la identificación individualizada de cualquier persona y, con eso, el acompañamiento de sus trayectos y hábitos personales en tiempo real. La transformación de tal información en metadatos que pueden, a su vez, ser almacenados y analizados de manera agregada implica la posibilidad adicional de inferir una serie de comportamientos e, incluso, intentar predecir acciones futuras.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este artículo, han revelado una notable diversidad de valoraciones y criterios sobre el Sistema Biométrico con

reconocimiento facial para el procedimiento de registro de casos en la dirección regional de tránsito, proponiendo una solución integral que mejora la eficiencia, seguridad y transparencia en la gestión de casos de transporte y seguridad Vial en Quillacollo, Bolivia.

La implementación del sistema biométrico facial, utilizando Supervised Machine Learning, ha demostrado ser una herramienta efectiva para el reconocimiento e identificación de infractores. Este sistema ha mejorado significativamente la precisión y rapidez en la identificación de personas, lo que contribuye a una gestión más eficiente y segura de los registros de casos de tránsito. Se ha diseñado tanto el modelo de negocio actual como un modelo alternativo para la Dirección Regional de Tránsito Quillacollo. Este diseño ha permitido una mejor comprensión de los procesos y ha facilitado la integración del nuevo sistema biométrico en la estructura organizativa existente, asegurando su viabilidad y sostenibilidad a largo plazo.

Finalmente, es importante destacar el desarrollo del módulo de reportes mensuales y anuales ha automatizado el proceso de generación de informes, facilitando la toma de decisiones informadas y la evaluación del desempeño del sistema. Esta automatización ha reducido la carga administrativa y ha proporcionado datos más precisos y accesibles, permitiendo un seguimiento detallado de todas las actividades y accesos. Esto ha contribuido a un mayor control y

supervisión, previniendo posibles irregularidades y garantizando la integridad del sistema.

Conflicto de intereses. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Boehnen, C., y Flynn, P. (2005). Accuracy of 3D scanning technologies in a face scanning scenario. In 3-D Digital Imaging and Modeling, 3DIM 2005. Fifth International Conference. 310-317. IEEE. <https://realpython.com/python-gui-tkinter/>
- Boesch, G. (2024). "What is OpenCV? The Complete Guide". VisoAI. <https://viso.ai/computer-vision/opencv/>.<https://apiumhub.com/es/tech-blog-barcelona/principales-patrones-arquitectura-software>
- Boyde, J (2014). "A Down-To-Earth Guide To SDLC Project Management. Disponible en: <https://www.businessinsider.es/usa-reconocimiento-facial-estacion-autobuses-madrid-651165>
- DoneTonic, P. (2019). "Metodología Waterfall vs Metodología Agile". DoneTonic. <https://donetonic.com/es/metodologia-waterfall-vs-metodologia-agile/>
- Fontdeglòria, X. (2018). "La policía china usa gafas con reconocimiento facial para identificar a sospechosos | Mundo Global | EL PAÍS". 2018. https://elpais.com/internacional/2018/02/07/mundo_global/1518007737_209089.html
- Flynn, P. y Jain, P. (2018). "Biometría: Progreso y desafíos" <https://www.simplilearn.com/tutorials/django-tutorial/what-is-django-python>
- Gupta, A. (2023). "All You Need To Know About Django Framework". SimpleLearn. <https://www.simplilearn.com/tutorials/django-tutorial/what-is-django-python>
- Intelion, A. (2018). "El reconocimiento facial en la seguridad e investigación". Intelion. <https://intelion.isid.com/es/el-reconocimiento-facial-en-la-seguridad-e-investigacion/>
- Li, B. Mian, A., Liu, W., y Krishna, A. (2013). Using kinect for face recognition under varying poses, expressions, illumination and disguise. In Applications of Computer Vision (WACV). 186-192. http://www.oas.org/es/cidh/expresion/docs/publicaciones/INTERNET_2013_ESP.pdf
- Muñoz, D., Silva, F., Hernández, N. y Talavera, I. (2014). El análisis de datos funcionales como alternativa para el reconocimiento automático de imágenes biométricas: aplicación en el iris. *Computación y Sistemas*, 18(1), 111-121. <https://computerworld.com.br/plataformas/ministerio-publico-acusa-serpro-de-oferecer-servicio-ilegal/>
- OVHcloud, R. (2024). "¿Qué es PostgreSQL?". <http://www.ovhcloud.com/es/lp/postgresql-definition/OVHcloud>.
- Parra, A. (2020). "Técnicas de investigación cuantitativa para recolectar datos". Question Pro. <https://www.questionpro.com/blog/es/tecnicas-de-investigacion-cuantitativa/>
- Paysan, P., Knothe, R., Amberg, B., Romdhani, S., y Vetter, T. (2009). A 3D face model for pose and illumination invariant face recognition. In Advanced video and signal based surveillance, 2009. AVSS'09. Sixth IEEE International Conference on. 296-301. <https://adc.org.ar/2019/09/18/avanza-la-regulacion-del-reconocimiento-facial-en-la-legislatura-portena>
- Pérez, A. (2014). "El algoritmo SVM y sus aplicaciones empresariales". OBS Business school. <https://www.obsbusiness.school/blog/el-algoritmo-svm-y-sus-aplicaciones-empresariales>
- Porto, L., y Ruiz, J. A. (2014). Los grupos de discusión. En K. Sáenz López, & G. Támez González, Métodos y técnicas cualitativas y cuantitativas. 253-273. México D.F., México: Tirant Humanidades. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.4332
- Silva-Mata, F. Muñoz, D., Mendiola-Lau, V. Talavera, I. y Augier, A. (2016). Criterios y métodos de selección de bases y su impacto en el análisis de datos funcionales. *RCF Vol33-1E*.

- Silva-Mata, Muñoz, Mendiola-Lau, Talavera, y Augier, (2016). Alineación de Señales e imágenes durante la aplicación del Análisis de Datos Funcionales, RCF Vol33-1E
- Wang et al., (2010). Robust 3D face recognition by local shape difference boosting. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 32(10), 1858-1870. <https://digitalid.karisma.org.co/2010/07/01/SIVIT-reconocimiento-facial/>
- Xu et al., (2009). Automatic 3D face recognition from depth and intensity Gabor features. Pattern recognition. 42(9), 1895-1905.
- Yan, P., y Bowyer, k. (2007). Biometric recognition using 3D ear shape. Pattern Analysis and Machine Intelligence. Rev IEEE, 29(8), 1297-1308. DOI: 10.1109/TPAMI.2007.1067
- Zappa, E., Mazooleni, P., y Hai, Y. (2010). Stereoscopic based 3D face recognition system. Procedia Computer Science, 1(1), 2521-2528. <http://leyes.senado.gov.co/proyectos/index.php/textos-radicados-senado/p-ley-2020-2021/2021-proyecto-de-ley-234-de-2020>
- Zhang, Z. (2012). Microsoft kinect sensor and its effect. Rev. IEEE, 19(2), 4-DOI:10.1109/MMUL.2012.24

Diseño de un sistema distribuido para gestión de OLT

Design of a distributed system for OLT management

Projeto de um sistema distribuído para gestão de OLT

ARTÍCULO ORIGINAL



Carlos Peliza 
cpeliza@unlam.edu.ar

Leandro Alfaro 
lealfaro@alumno.unlam.edu.ar

Universidad Nacional de La Matanza. San Justo, Argentina

Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v8i22.125>

Artículo recibido 18 de julio 2024 / Aceptado 21 de agosto 2024 / Publicado 23 de octubre 2024

RESUMEN

En Argentina, las PYME operan con un ajustado sistema de costos que, en entornos de competencia, debe buscar la reducción constante. El objetivo es proponer un sistema distribuido para gestión de OLT. Se enmarca en un enfoque mixto y tipo proyectiva y se adopta un diseño descriptivo. Se llevó a cabo un diagnóstico inicial y una revisión documental. La metodología empleada incluyó un diagnóstico basado en una revisión bibliográfica. Los resultados identificaron una demanda insatisfecha en el mercado por sistemas de gestión intuitivos, escalables y adaptados a las necesidades específicas de las PYME ISP. Las empresas buscan herramientas que les permitan optimizar sus operaciones, mejorar la atención al cliente y reducir costos. Las conclusiones delinean un modelo de desarrollo diseñado para satisfacer las necesidades específicas de las PYME ISP en la gestión de redes FTTH. Este modelo, enriquecido por los aportes teóricos y técnicos de la academia, garantiza una solución personalizada y adaptable a las particularidades del sector.

Palabras clave: Diseño; Distribuido; G-Pon; Microservicios; PYME

ABSTRACT

In Argentina, SMEs operate with an adjusted cost system that, within competitive environments, must seek constant reduction. The objective is to propose a distributed system for OLT management. It is framed in a mixed and projective approach and adopts a descriptive design. An initial diagnosis and document review were carried out. The methodology employed included a diagnosis based on a bibliographical review. The results identified an unsatisfied demand in the market for intuitive, scalable and adapted management systems adapted to the specific needs of PYME ISPs. Companies are looking for tools that allow them to optimize their operations, improve customer service and reduce costs. The conclusions outline a development model designed to satisfy the specific needs of SME ISPs in the management of FTTH networks. This model, enriched by theoretical and technical contributions from academia, guarantees a personalized and adaptable solution to the particularities of the sector.

Key words: Design; Distributed; G-Pon; Microservices; SME

RESUMO

Na Argentina, o PYME opera com um sistema de custos ajustado que, em ambientes de competência, deve buscar a redução constante. O objetivo é propor um sistema distribuído para gerenciamento de OLT. É marcado em uma abordagem mista e tipo projetiva e adotado um design descritivo. Foi levado a cabo um diagnóstico inicial e uma revisão documental. A metodologia empregada incluiu um diagnóstico baseado em uma revisão bibliográfica. Os resultados identificaram uma demanda insatisfeita no mercado por sistemas de gerenciamento intuitivos, escalonáveis e adaptados às necessidades específicas do ISP PYME. As empresas buscam ferramentas que lhes permitam otimizar suas operações, melhorar a atenção ao cliente e reduzir custos. As conclusões delineiam um modelo de desenvolvimento projetado para satisfazer as necessidades específicas do ISP PYME no gerenciamento de redes FTTH. Este modelo, enriquecido pelos aportes teóricos e técnicos da academia, garante uma solução personalizada e adaptável às particularidades do setor.

Palavras-chave: Design; Distribuído; G-Pon; Microserviços; PME

INTRODUCCIÓN

Un área de intensa investigación en los últimos años, ha sido la gestión de redes ópticas pasivas (PON) y, en particular, de los terminales de línea óptica (OLT). Numerosos estudios han abordado la necesidad de desarrollar sistemas de gestión más eficientes y escalables para hacer frente al creciente volumen de datos y la complejidad de las redes de acceso de nueva generación (Agenda digital para América Latina y el Caribe, (ELAC), 2022) afirma que, las tecnologías digitales han crecido exponencialmente y su uso se ha globalizado.

En este sentido, un aspecto relevante al diseñar un sistema de gestión de OLT es la capacidad de garantizar la calidad de servicio (QoS) y la seguridad de la red. A este respecto, Li et al. (2021) presentan un algoritmo de asignación de recursos dinámico que optimiza la QoS en redes PON, considerando factores como el tráfico variable y las restricciones de capacidad. Los autores enfatizan la necesidad de mecanismos de seguridad robustos para proteger la información sensible y prevenir ataques cibernéticos.

En el contexto argentino, las Pequeñas y Medianas Empresas (PYME) del sector de servicios de internet (ISP) enfrentan un desafío constante como es, optimizar sus costos operativos en un mercado altamente competitivo. Por tradición, la gestión de las redes de estos proveedores se ha llevado a cabo en forma manual, lo cual implica una considerable inversión de tiempo y recursos

humanos en tareas repetitivas y propensas a errores. De allí que, a medida que la economía global se vuelve cada vez más competitiva y digitalizada, las PYMEs deben adaptarse para sobrevivir y prosperar (BeJob, (2023).

Como alternativa, algunas PYME recurren a soluciones de gestión remota ofrecidas por proveedores extranjeros, sin embargo, estas suelen presentar costos elevados y una dependencia de divisas extranjeras (CEPAL, 2011). Ante este escenario, surge la necesidad de desarrollar soluciones de gestión de redes locales que sean eficientes, escalables y adaptadas a las necesidades específicas de las PYME argentinas. Se debe recalcar además que, las PYMES están integradas al aparato productivo, como parte de la cadena de valor, coadyuva en la diversificación y dinamización de la economía. Ello se manifiesta en su potencialidad para la creación de empleo y fomentar la riqueza (Cardozo, et al., 2012)

En este sentido, afrontar la utilización y desarrollo de un framework, es inalcanzable para cada PYME en particular. Sin embargo, el espíritu emprendedor, la comunión de intereses y la colaboración de la academia, puede conformar un universo propicio para encarar tal desafío. Cabe destacar que según UNIR (2022) un framework es un esquema o marco de trabajo que ofrece una estructura base para elaborar un proyecto con objetivos específicos, una especie de plantilla que sirve como punto de partida para la organización y desarrollo de software.

Hay que resaltar también que, el dinámico panorama tecnológico argentino, las Pequeñas y Medianas Empresas (PYME) del sector de servicios de internet (ISP) se enfrentan a un desafío apremiante como es optimizar sus operaciones en un contexto de creciente competencia y volatilidad económica. Además, la dependencia de soluciones extranjeras, además de generar una fuga de divisas, limita la capacidad de adaptación a las particularidades del mercado local. Esta situación genera una brecha digital que dificulta la competitividad de las PYME argentinas y restringe el acceso a servicios de internet de calidad para un amplio sector de la población.

En atención a todo lo planteado, esta investigación tiene como objetivo proponer un sistema distribuido para gestión de OLT y sintetiza los pasos seguidos en la búsqueda de un modelo funcional de desarrollo que brinde la posibilidad de gestionar una red FTTH a PYME ISP basado en las necesidades y experiencias propias del universo a satisfacer con el aporte técnico y teórico de la academia. Por lo dicho, se ha dividido en tres secciones: La opinión del ISP, el Back End y el Front End.

MÉTODO

El enfoque de la investigación se abordó desde un enfoque mixto combinando elementos tanto cualitativos como cuantitativos, para ofrecer una visión integral de la problemática de las PYME ISP en Argentina, es tipo proyectiva y se adopta

un diseño descriptivo. La metodología empleada incluyó un diagnóstico basado en una revisión bibliográfica. Se inicia con un diseño descriptivo, caracterizando el estado actual de la gestión de redes en estas empresas. A partir de este diagnóstico, se proyecta una solución innovadora. El diagnóstico, basado en una revisión bibliográfica y entrevistas con expertos, permitió identificar las brechas existentes en los sistemas de gestión de OLT.

Para sintetizar, detectados los problemas comunes que enfrentaban los ISP FTTH encuestados en la gestión de su sistema de ABM(Alta/Baja/Modificación), con posterioridad a la selección acotada de los problemas, se avanzó con la observación sobre la forma de solución posible de implementar y finalmente, con la ayuda de los medios brindados por un ISP se decidieron las mejores soluciones arquitectónicas de red según la teoría y práctica actual.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnóstico para recabar las necesidades a satisfacer

Para diseñar cualquier sistema de usuario es fundamental conocer los puntos problemáticos que dicha implementación busca resolver. En ese sentido, resulta primordial la opinión del potencial beneficiario, pero de acuerdo lo expresado por Donald Norman (1988), en su libro "Psicología de los objetos cotidianos", también es imperativo

que el desarrollo permita logra una remembranza de algo conocido, para facilitar la etapa de aprendizaje del uso.

Por lo antes expuesto, para esta investigación se ha consultado a PYME ISP de la zona oeste del conurbano bonaerense, de la labor de encuestas realizadas se pudo determinar 43% de los encuestados no poseen sistemas de gestión automatizados, pero quienes lo hacen (57%), expresan que su uso es intuitivo, destacando SmartOLT como el más usado. Por otra parte, la forma de pago sobresaliente, para las suscripciones es el abono por cantidad de OLT, aunque todos manifiestan su preferencia por un sistema de canon anual y pagadero en pesos.

Un punto expresado como positivo se encontró al consultar sobre la conveniencia de

permitir la operación por lotes mediante la ingesta de archivos ofimáticos (de extensión .xls o .csv). El procesamiento también llamado batch es una característica que permite importantes ahorros en tiempo de trabajo.

Otro indicador interesante de la tarea de encuestas realizadas es el referido a la gestión de los clientes, como se muestra en la figura 1, donde se pone de manifiesto la preferencia de realizar la diligencia de los abonados al servicio en un punto unificado, conocido como oficina central, aunque para ello deba usarse un sistema remoto. Es decir, los ISP prefieren gestionar sus servicios usando un sitio único, aun teniendo la posibilidad de tener a sus operadores trabajando desde sitios remotos.

Como gestiona sus clientes

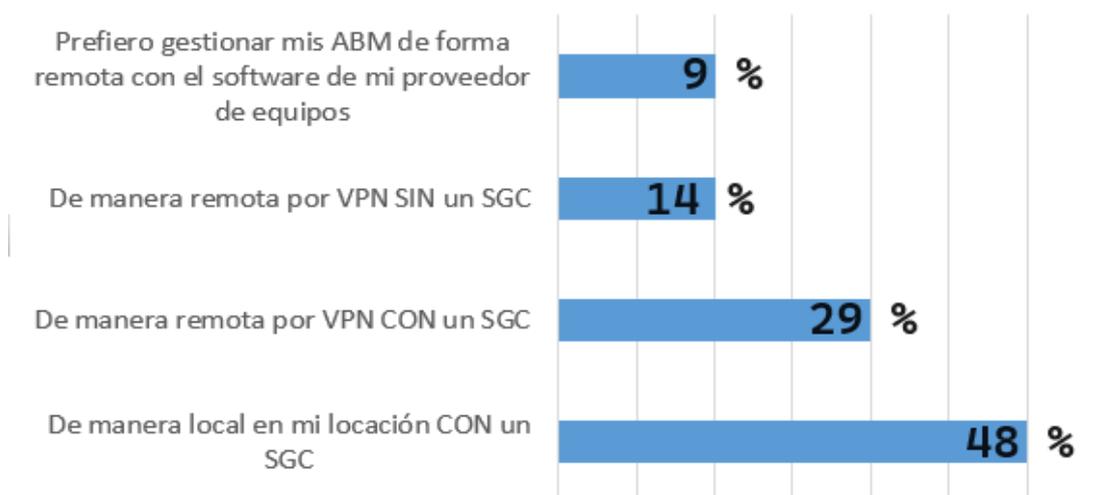


Figura 1. Preferencia sobre la forma de gestión del Cliente
*SGC (Sistema de Gestión de Clientes).

Un punto destacado dentro de las opiniones recabadas, fue la referencia a mejoras respecto de los productos que los ISP utilizan al gestionar, donde las necesidades recogidas mencionaron que les gustaría contar con un medio que se integre con otros sistemas de gestión (por ejemplo de stocks) y consideraban virtuoso que el sistema de clientes permitiera de manera sencilla el blanqueo y reseteo de la clave de WIFI de los usuarios de su red, aspecto que identificaron como una tarea que ocupa gran parte de los reclamos que reciben.

Diseño de un Back End como sistema distribuido

El Back End o Core de un sistema constituye una de las partes principales de la estructura, la otra es denominada Front End. Es posible trazar una semejanza con la arquitectura Servidor – Cliente donde el Back cumple la función de brindar servicios al Front. Una de las diferencias que puede establecerse entre ambas desde el punto de vista del programador radica en el acceso que tiene el usuario final del desarrollo luego de puesto a funcionar, así las cosas, una vez funcionando solo accede el desarrollador o personal capacitado de mantenimiento. Por el contrario, el Front End, es la parte donde el cliente ingresa regularmente para ejecutar su trabajo, es la sección expuesta a la operación de plantilla y la que debe ser intuitiva en el uso.

Partiendo de los preceptos de Arquitectura limpia (Martin, 2017) para cumplir con un

correcto desarrollo debe buscarse la separación en dependencias que serán una capa para la lógica del negocio y otra para la interfaz gráfica de usuario. Esta situación, adicionalmente, permite distribuir los recursos para aumentar el avance, potenciando las habilidades de cada desarrollador.

Dentro de las decisiones tomadas para desarrollar un sistema de Back-End, una selección importante fue optar entre sistemas monolíticos o distribuidos. El análisis de pros y contras de cada tipo de arquitectura es un tema en sí mismo. Sin embargo, en el caso de este trabajo, se ha considerado la escalabilidad del sistema como el factor determinante. No afirmamos que un enfoque sea mejor que el otro, sino que sirven para propósitos distintos. Las ventajas principales del enfoque monolítico por sobre el enfoque de microservicios son:

1. La velocidad de desarrollo de un monolito es bastante superior comparado con un enfoque de microservicios. no hay que estar integrando diferentes servicios con sus respectivas APIS como sea cual fuere el protocolo de comunicación.
2. El monolito requiere una destreza técnica menor para su implementación, sumado a lo anterior, resulta más fácil relacionarse entre módulos, los cuales además son más fáciles de debuggear (proceso de encontrar y solucionar errores en el código fuente de cualquier software) a la hora de buscar problemas.

La principal contra del monolito es que genera problemas de escalabilidad a largo plazo si no se planifica bien la cantidad de usuarios estimados y funcionalidades prestadas (Reche, 2022). En este sentido, optar por arquitectura de sistemas distribuidos, debe mencionarse como una opción costosa cuando hace uso de recursos, pero en los momentos iniciales del trabajo y debido a la baja demanda, ello no ocurre. Por lo tanto, se ha considerado la posibilidad de migrar lentamente

de un servidor a una estructura en grilla cuando sea necesario.

Siguiendo las actividades estructurales: comunicación, planeación, modelado, construcción y despliegue (Pressman, 1982), en la actualidad el trabajo transita por la etapa de modelado del sistema distribuido. La figura 2 exhibe una primera aproximación mediante el uso de microservicios.

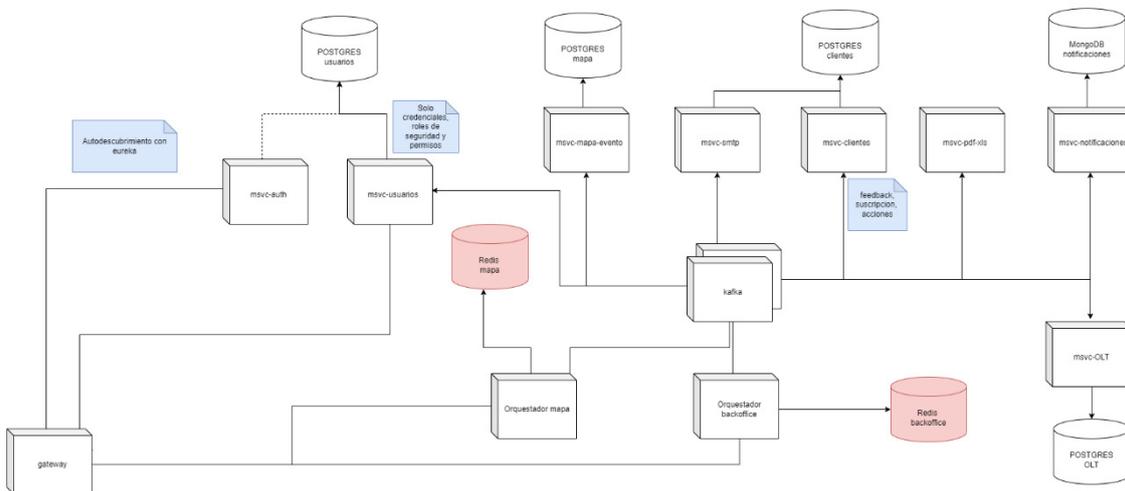


Figura 2. Modelado de la arquitectura distribuida seleccionada para el uso mediante microservicios.

Los microservicios son tanto un estilo de arquitectura como un modo de programar software. Se centran en dividir las aplicaciones en elementos más pequeños e independientes entre sí (Whitestack, 2023). De esta forma conseguiremos crear aplicaciones que sean más fáciles de escalar, de dar mejor mantenimiento y que sus partes puedan ser reutilizables. a

diferencia del enfoque tradicional y monolítico de las aplicaciones, en el que todo se compila en una sola pieza. (Orozco Fernández, 2024).

La Figura 3, a continuación, expone la opción monolítica luego descartada para este trabajo en función del criterio de selección elegido. En resumen, entre dos opciones de sistemas, hemos elegido la más fácilmente escalable.

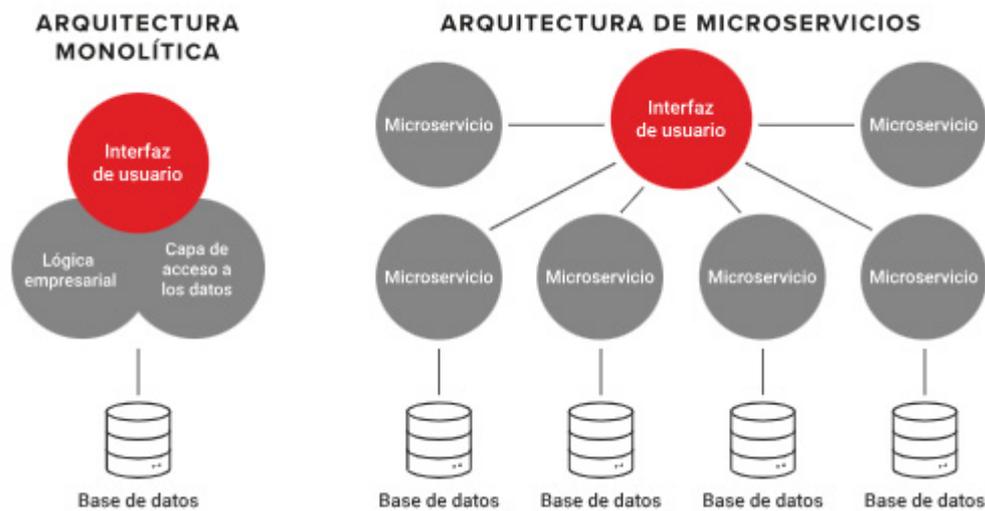


Figura 3. Comparativa gráfica entre arquitecturas monolítica y por microservicios.

Patrones de diseño en microservicios usados para la investigación

En el diseño del patrón arquitectónico que se usará en la solución se combinan la solución API Gateway donde en esencia, un API Gateway actúa como un punto de entrada centralizado para todas las solicitudes de clientes que acceden a servicios dentro de un sistema con la arquitectura dirigida por eventos que se utiliza para responder a un “evento” en tiempo real o lo más cercano posible a que este ocurra.

La API Gateway se sitúa entre las aplicaciones de clientes y los microservicios funciona como un intermediario entre los clientes y los diferentes microservicios que componen la aplicación (ver abajo a la izquierda de la figura 2)., y como un proxy inverso que dirige las solicitudes del cliente a los servicios. Además de esto, la puerta de enlace de la API puede proporcionar otros servicios

transversales como autenticación, terminación SSL y caché.

Las razones para utilizar este patrón en vez de la comunicación directa son varias:

Facilita que los clientes puedan acceder a los diferentes servicios del sistema, ya que proporciona una única interfaz de entrada para ellos. De esta forma, los clientes no tienen por qué conocer la ubicación específica de cada servicio, lo que reduce la complejidad y el acoplamiento.

Permite gestionar de manera centralizada aspectos como la seguridad, la autenticación, la autorización y el monitoreo. Esto simplifica la implementación de políticas de seguridad y facilita la aplicación de actualizaciones o cambios en estas políticas. Permite realizar enrutamiento inteligente de solicitudes, redirigiendo las peticiones a los servicios correspondientes en función de diversos criterios, como la ruta de la URL, el tipo de solicitud

o los encabezados HTTP. Esto mejora la flexibilidad y la capacidad de escalabilidad de la arquitectura.

A su vez puede realizar funciones de caché, compresión y optimización de solicitudes para mejorar el rendimiento general del sistema.

Además, puede implementar técnicas de balanceo de carga para distribuir la carga de manera equitativa entre los servicios subyacentes, Figura 4.

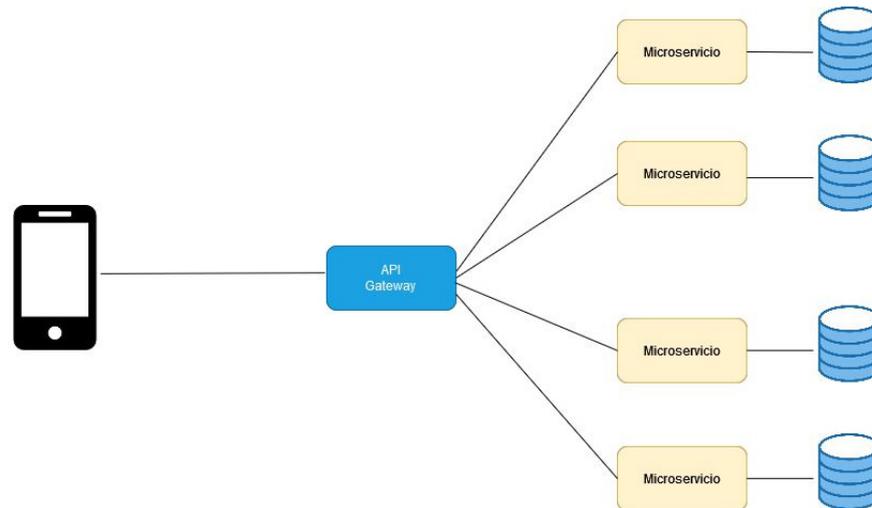


Figura 4. Esquema de Arquitectura basada en eventos más API Gateway. Un evento dispara acciones desde el api gateway a los microservicios que responden en "tiempo real"

Diseño de un Front End por requisitos no funcionales

El autor Garrett (2021) explica en su libro "The Elements of User Experience" que crear un diseño de interacción exitoso requiere más que simplemente crear un diseño visual que sea agradable. También es fundamental definir y satisfacer las necesidades de los usuarios.

El autor aporta una comprensión de la experiencia del usuario y afirma que el contenido es tan importante como la experiencia de navegación de un sitio; por lo tanto, es lo que siente una persona al interactuar con el

producto o servicio de una empresa. Cuando ocurre esta interacción, las respuestas generadas, como sensaciones y sentimientos, se analizan y se trabajan para que sean siempre las mejores posibles. La investigación ha sido atravesada por dos vertientes de análisis, el cromático y el funcional.

En primer lugar, buscando brindar una interfaz de carácter profesional y frío según los conceptos y ejercicios de Albers (Interacción del color, 2010). Figura 5.



Figura 5. Imagen extraída de La interacción del color de Josef Albers.

Desde el punto de vista funcional, se ha optado por usar lo que Adobe color identifica como tendencias en interfaz de usuario, que puede observarse en el vínculo Tendencias de color, Stock, colores de Behance | Adobe Color. Entre las preferencias también se optó por colores conocidos por su asociación al ecosistema profesional como ser azul.

El azul es tranquilidad, confianza y estabilidad. Los diferentes tonos de azul, como el azul marino, son los mejores colores para evocar un sentimiento de confianza. Es el color de logo

más utilizado por las empresas de la lista Fortune 500. Además, este color es uno de los favoritos tanto de los hombres como de las mujeres. El azul es el color de logo preferido por las empresas tecnológicas y financieras.

Sintetizando, se eligió usar colores combinados para la presentación visual como lo indica la figura 4 y colores de reconocido uso corporativo para las partes que requieren la intervención de operadores Figura 5, todos dentro del ámbito de los definidos como fríos, Figura 6.

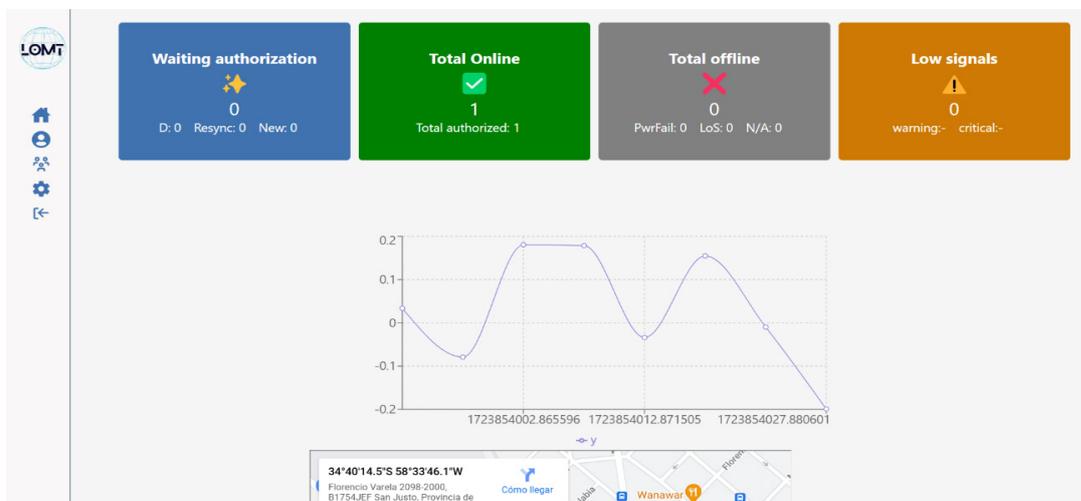


Figura 6. Interfaz de accesos al sistema.

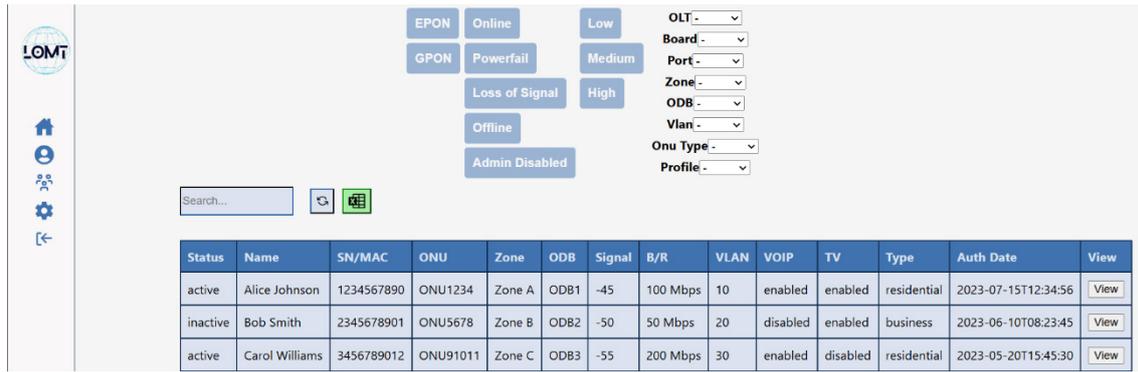


Figura 7. Secciones operativas de colores corporativos.

Para el desarrollo de la aplicación, la opción considerada como más conveniente por su actual uso en la industria de la programación fue React (<https://es.react.dev/>). Permite combinar interfaces de usuario, llamadas componentes, para formar pantallas, páginas y aplicaciones. Brinda la posibilidad de construir tanto aplicaciones web como nativas utilizando las mismas habilidades y reutilizando los componentes.

Adicionalmente, el uso de programación reactiva y el paradigma “Observer”, permiten que, en lugar de sondear eventos para los cambios, los eventos se realicen de forma asíncrona para que los observadores puedan procesarlos (durante la investigación, los observadores son los elementos de React que definiremos en la interfaz), Figura 8.

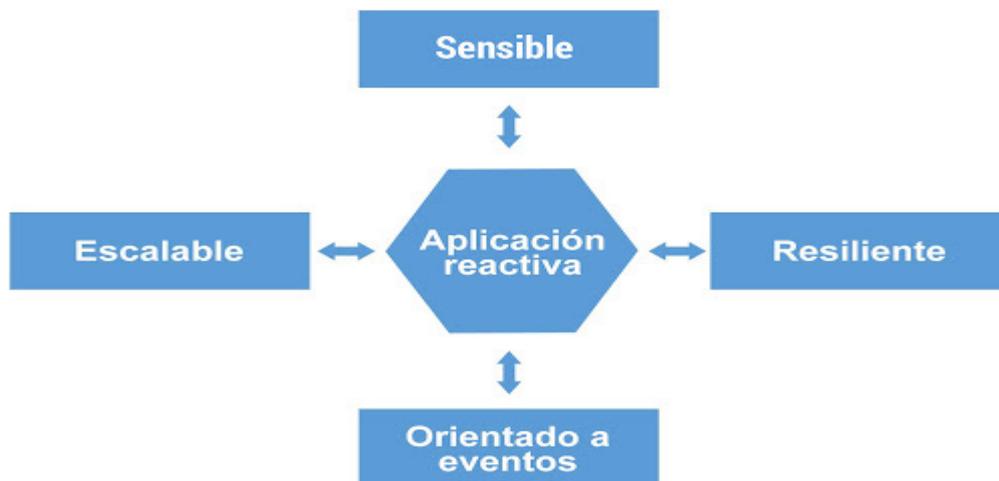


Figura 8. Caracterización de una aplicación reactiva.

Por otro lado, y como parte de las decisiones operativas para iniciar el desarrollo, se optó por usar prototipado no funcional basados en que el requisito funcional lo especifica el usuario, mientras que el requisito no funcional lo especifica personal técnico como arquitecto, líderes técnicos y desarrolladores de software y en los momentos iniciales del trabajo, las primeras definiciones deben correr por cuenta de estos últimos.

Actualmente, el trabajo se halla en la configuración de un prototipo funcional evolutivo que mejorará a medida que se realicen más iteraciones entre usuario, diseñador del Front End y pruebas de validación funcional. Estamos pasando de la etapa de usabilidad a la de experiencia de usuario. Mas precisamente, en la etapa de usabilidad se intentó una interfaz minimalista con pocos ítems e información, con colores que no distraigan al usuario y que sea eficiente al realizar una acción, buscando minimizar la cantidad de tareas o pasos para poder cumplirla.

CONCLUSIONES

A partir del análisis exhaustivo de las necesidades de las PYME ISP y del diseño conceptual del sistema de gestión, se pueden extraer conclusiones significativas y trazar un camino claro hacia la implementación exitosa de esta solución. En primer lugar, se ha identificado una demanda insatisfecha en el mercado por sistemas de gestión intuitivos, escalables y adaptados a las necesidades específicas de las

PYME ISP. Las encuestas realizadas han revelado que las empresas buscan herramientas que les permitan optimizar sus operaciones, mejorar la atención al cliente y reducir costos.

En segundo lugar, el diseño propuesto, basado en una arquitectura de microservicios, ofrece una solución flexible y escalable que puede adaptarse a las necesidades cambiantes de las PYME ISP. La modularidad de esta arquitectura permite desarrollar y desplegar nuevas funcionalidades de forma independiente, facilitando la evolución del sistema a lo largo del tiempo. Sin embargo, es fundamental reconocer que el desarrollo de un sistema de esta envergadura requiere de una planificación cuidadosa y una ejecución rigurosa.

En otros puntos conclusivos se tiene que, la interacción academia-sistema productivo suele atravesar complicaciones entre las que pueden mencionar el pasaje a productivo de entornos que no han sido sometidos a un profundo testeó. En tal sentido, un diseño arquitectónico funcional y robusto debe someterse a test que garanticen su funcionamiento, pero contar con un entorno de pruebas similar a uno real generalmente no es posible. En particular, las pruebas de estrés son esenciales, pero contar con un entorno de pruebas que simule condiciones reales a gran escala no es económicamente viable. Por ejemplo, no es posible probar el sistema con 4000 clientes simultáneos, ni disponer de un sistema con esa capacidad solo para pruebas.

De igual forma, la transferencia de conocimiento en esta investigación ha sido bidireccional y dinámica. Los estudiantes, como principales receptores, han adquirido habilidades prácticas y conocimientos especializados al abordar un problema real del sector. Es así como, este proceso no solo ha enriquecido la formación académica, sino que también genera un impacto positivo en su capacidad de innovación y resolución de problemas. La mediación en este intercambio ha sido clave para garantizar la pertinencia de la investigación y su alineación con las necesidades del sector.

La perspectiva de incluir como función la innovación social en las universidades, es una de las fuerzas de cambio más importantes que pueden ser asumidas. Con la reformulación de las relaciones sociales (tanto globales como locales) hacia una sociedad del conocimiento, la universidad está en vías de una transformación profunda. No se trata de un cambio parcial o en algún nivel educativo específico, tampoco de la redefinición de los actores o de los sectores que participan directamente en ella, sino del pasar de los ambientes de enseñanza establecidos por los profesores a los de los estudiantes, de la enseñanza al aprendizaje, de los sujetos pasivos y receptivos a la gestión y a la autoridad de los sujetos como entes activos y participativos. (Didriksson Takayanagui, 2015)

En resumen, los ISP pyme podrán contar con un sistema de gestión ABM de clientes desarrollado de acuerdo con sus necesidades, sin que ello los obligue a contar con personal capacitado en informática o desarrollo de sistemas, ya que no forma parte del Core business. Los alumnos, pueden desarrollar su espíritu emprendedor a la vez que actuando en campo reciben de primera mano la problemática profesional a la que se enfrentan en su campo de estudio. Mientras que la academia deja de ser un arcano para volverse una entidad cercana tanto en la solución de problemas como en la generación de profesionales.

Los próximos pasos de este trabajo de investigación y desarrollo serán los de focalizar los esfuerzos en poner productiva nuestra arquitectura, mientras se optimiza y depura la interfaz de usuario.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albers, J. (2010). *Interacción del color*. Alianza Editorial.
- BeJob (2023). Desafíos y Oportunidades para las PYMEs en la Era Digital: Cómo Superar Obstáculos y Potenciar el Crecimiento. <https://bejob.com/desafios-y-oportunidades-para-las-pymes/>
- Didriksson, A. (2015). *El futuro anterior. La universidad como sistema de producción de conocimientos, aprendizajes e innovación social*. CLACSO.

- Li, Z., Wang, J., y Zhang, Q. (2021). Dynamic resource allocation for QoS provisioning in optical access networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 29(2), 612-625. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2021/8381998>
- Cardozo E., Velasquez de Naime Y, Rodriguez Monroy C . (2012) http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2012/SP_06_Entorno_Economico_Gestion_Economica_y_Finanzas/1345-1352.pdf
- CEPAL (2011) Eliminando barreras: El financiamiento a las pymes en América Latina. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/7336fcfb-b028-4188-b089-68107c721da6/content>
- CEPAL. Tecnologías digitales para un nuevo futuro ELAC (2022). Li, Z., Wang, J., y Zhang, Q. (2021). Dynamic resource allocation for QoS provisioning in optical access networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 29(2), 612-625. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2021/8381998>
- Garrett, Jesse James (2021) Elementos de la Experiencia de Usuario. <https://www.uxables.com/disenio-ux-ui/elementos-de-la-experiencia-de-usuario-jesse-james-garrett/>
- Martin, R. C. (2017). *Clean Architecture-A craftsman's guide to software structure a design*. Pearson. <https://doi.org/978-0134494166>
- Norman, D. (1988). *The Psychology of Everyday Things*. Basic Books. <https://doi.org/0465067093>
- Orozco Fernández, A. (Junio 17/2024). *Hiberus Blog*. <https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/patrones-de-disenio-en-microservicios/>
- Pressman, R. (1982). *Ingeniería del Software. Un Enfoque Practico*. Mc Graw- Hill. <https://doi.org/978-607-15-0314-5>
- Reche, J. (2022) Monolito o microservicios? Ventajas y desventajas. <https://www.ithinkupc.com/es/blog/monolito-o-microservicios-ventajas-y-desventajas>
- UNIR, (2022) Formación profesional. Framework: qué es, para qué sirve y algunos ejemplos. <https://unirfp.unir.net/revista/ingenieria-y-tecnologia/framework/>
- Whitestack (2023) Microservicios: ¿Qué son y qué tipos existen? ¿Cómo funciona su arquitectura?. <https://whitestack.com/es/blog/microservicios/>

Influencia del cuarzo y materiales silíceos en las propiedades físico-mecánicas del hormigón

Influence of quartz and siliceous materials in the physical-mechanical properties of concrete

Influência do quartzo e dos materiais silícios nas propriedades físico-mecânicas do concreto

ARTÍCULO ORIGINAL



Cristhian Jesús Calle López 
ccallelo@ucvirtual.edu.pe

Alexander Joseph Salazar Rojas 
asalazarro@ucvvirtual.edu.pe

Universidad César Vallejo. Chiclayo, Perú

Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v8i22.126>

Artículo recibido 17 de julio 2024 / Aceptado 21 de agosto 2024 / Publicado 23 de octubre 2024

RESUMEN

La influencia del cuarzo y otros materiales silíceos en las propiedades físico-mecánicas del hormigón es un tema relevante en el ámbito de la ingeniería civil y la construcción. El hormigón, como material de construcción, se compone principalmente de áridos, agua y un aglomerante. El objetivo del artículo es indagar la influencia del cuarzo y materiales silíceos en las propiedades físico-mecánicas del hormigón, identificando la dosificación y su resistencia a la compresión. A través de un enfoque cualitativo se realizó una revisión sistemática de artículos científicos. El análisis se basó en 42 publicaciones recopiladas durante el estudio, 13 de Scielo, 10 ScienceDirect, 2 Redalyc y 17 en otros. Se concluye que, los estudios analizados muestran que la adición de cuarzo triturado al hormigón f'c 210 puede mejorar su resistencia a la compresión en ciertos casos, pero también puede disminuir la resistencia en otros, siendo la dosificación del 20% de cuarzo la que presenta mejores resultados. Es importante evaluar los materiales antes de usarlos en construcción.

Palabras clave: Cuarzo; Físico; Hormigón; Materiales; Mecánicas; Propiedades; Silicios

ABSTRACT

The influence of quartz and other siliceous materials on the physical-mechanical properties of the hormigón is a relevant topic within the scope of civil engineering and construction. The hormigón, as a construction material, is mainly composed of arid, water and a binder. The objective of the article is to investigate the influence of quartz and siliceous materials on the physical-mechanical properties of the hormigón, identifying the dosage and its resistance to compression. Through a qualitative approach, a systematic review of scientific articles was carried out. The analysis was based on 42 publications collected during the study, 13 from Scielo, 10 ScienceDirect, 2 Redalyc and 17 others. It is concluded that, the analyzed studies show that the addition of crushed quartz to the hormigón f'c 210 can improve its resistance to compression in certain cases, but can also reduce the resistance in others, resulting in the dosage of 20% of that provides better results. It is important to evaluate materials before using them in construction.

Key words: Cuarzo; Physical; Hormigón; Materials; Mechanics; Properties; Silicones

RESUMO

A influência do quartzo e de outros materiais silícios nas propriedades físico-mecânicas do hormigón é um tema relevante no âmbito da engenharia civil e da construção. O hormônio, como material de construção, é composto principalmente de arido, água e um aglomerante. O objetivo do artigo é identificar a influência do quartzo e dos materiais silíceos nas propriedades físico-mecânicas do hormônio, identificando a dosificação e sua resistência à compressão. Através de uma abordagem qualitativa foi realizada uma revisão sistemática de artigos científicos. A análise foi baseada em 42 publicações coletadas durante o estudo, 13 de Scielo, 10 ScienceDirect, 2 Redalyc e 17 e outras. Se concluímos que, os estudos analisados mostram que a adição de quartzo triturado ao hormônio f'c 210 pode melhorar sua resistência à compressão em certos casos, mas também pode diminuir a resistência em outros, ao mesmo tempo em que a dosificação de 20% de quartzo é apresenta melhores resultados. É importante avaliar os materiais antes de usá-los na construção.

Palavras-chave: Cuarzo; Físico; Hormigão; Materiais; Mecânicas; Propriedades; Silícios

INTRODUCCIÓN

La construcción se encuentra en un crecimiento porcentual, aumentando un 1,8% solo en el transcurso del primer trimestre del 2023 (WTW, 2023). Actualmente, además del desarrollo sostenible, se presentan grandes retos para esta industria, los cambios climáticos y la explotación de recursos no renovables (Praveenkumar et al., 2019). Por esta razón, la investigación internacional da cuenta de la búsqueda por reemplazos de materiales, cuyo empleo permita resultados estándar o mejorados para las estructuras de hormigón, llegando así a un incremento de investigaciones en su área (Castillo et al., 2021).

Por este motivo, ante la necesidad de reducir la explotación de recursos no renovables y sus cuestionamientos, se han empezado a considerar productos con origen en los pasivos mineros; y es que, muchos minerales ya son empleados en la industria, generando un gran ingreso en la economía, sin embargo, su actividad y los pasivos resultantes de ella son poco tratables, causando una respuesta negativa en el ambiente y las poblaciones (Ramos y Pérez, 2021). En respuesta a ello, se ha visto su empleo como reemplazo de los agregados.

Ahora bien, el cuarzo, siendo uno de los minerales más presentes en la tierra, compuesto por silicio y oxígeno, unido en menor medida a impurezas; es considerado como un pasivo minero, resultante de las labores de extracción, posee un 7 en la escala de Mohs y un valor de densidad de 2.6

g/cm³ (Márquez et al., 2019). Pese a que el cuarzo es tomado por algunos estudiosos como material de desmonte de la minería, ello se da al tratarse de zonas de explotación de otros minerales, por ello, ante sus características, es requerido en otras áreas de la industria, lo que ha dado pie a su explotación y comercialización, acarreado impactos negativos en numerosos sectores.

De acuerdo a lo anterior, se puede afirmar que el cuarzo se planta como un peligro para el medio ambiente, ya sea durante la explotación minera, produciendo contaminación medio ambiental (Gutiérrez, 2014); como durante su fase de desecho post industrialización en productos derivados de este, contribuyendo al aumento de residuos no reutilizables en basurales y generando posibles daños para las especies y personas (Patil et al., 2021).

En los Estados Unidos de América, la población rechaza la explotación del cuarzo, la Junta de Comisionados del Agua del Centro de Arkansas pidió a su Servicio Forestal negar el permiso a la mina de cuarzo cerca al lago Winona, por temor al impacto en el agua y ecosistema circundante (Arkansas Democrat Gazette, 2023). En Sudáfrica más de 5 ha. de terreno se vieron afectadas ante los cazafortunas, debido a una beta de cuarzo que fue confundida por diamantes, resultando en el desinterés de los improvisados mineros al saber ello, dejando atrás de sí el área devastada con excavaciones de hasta 1 metro de profundidad (The Guardian, 2021). En Perú, la

presencia de productos producidos con el cuarzo post industrializado en botaderos ha generado el aumento de estos, presentándose solo en Lambayeque un incremento del 5.6% en el total de áreas afectadas desde 2018 a 2023, pasando de 438 ha. a 463.97 ha. (OEFA, 2023).

Por otro lado, el uso del hormigón en la construcción ha aumentado considerablemente en los últimos años, diversos estudios exponen que la producción del hormigón se ha visto duplicada desde los años 90', teniendo una variación de 160 millones de m³ entre 1990 y el 2004 (Orozco et al., 2018). Del mismo modo, los problemas presentes en este material también se han hecho cada vez más grandes, como, por ejemplo, el hormiguero, variación del color, grietas, transparencia del agregado, descascaramiento y se suma a esta extensa lista la aparición de burbujas, diversos análisis mencionan que este es el defecto con más aparición, con una frecuencia del 45% (Figueroa y Palacio, 2013). Desafortunadamente también existen problemas más profundos en el hormigón que bajan la vida útil de la edificación y ponen en riesgo la durabilidad, como, lo es, la corrosión del acero, la poca resistencia a la compresión y flexión, etc. (Toirac, 2009).

Por lo tanto, durante su tiempo útil, el hormigón puede sufrir daños que afectan su comportamiento y estructura interna, perdiendo sus propiedades mecánicas y físicas, todo ello a causa de cambios en la temperatura, humedad y presión, afectando sus propiedades como la

resistencia a la flexión y compresión (Imcyc, 2017). Para tener una buena resistencia a la compresión en el hormigón ante agentes destructivos, estos deberían ser muy densos y tener un buen curado, se recomienda también usar cemento aluminoso en vez del cemento portland convencional o usar minerales como aditivos o agregados (Knight, 1949).

Sin embargo, cada vez que se adiciona algún mineral al cemento, dependiendo del tiempo, dosificación y características de este, pueden surgir 3 efectos: la dilución del cemento, el efecto filler y según la reactividad mineral puede presentar actividad puzolánica (Bonavetti y Rahhal, 2006). Por otra parte, la presencia de Nanosílice (dióxido de silicio) aumenta la resistencia a la compresión; reduce la exudación, gracias al refinamiento de los poros y también reduce el hidróxido de calcio de la mezcla, volviéndolo más homogéneo, esto gracias a la reacción puzolánica del dióxido de silicio (Caballero et al., 2021).

En torno a esto, en Rusia, Tolstoy et al. (2019) definen "quartz sandstone" como un desecho de mina con posibles aplicaciones en la construcción, su investigación buscó aplicar arena de cuarzo de los desechos de mina, reemplazando parte del agregado fino, para la mejora de las propiedades físico - mecánicas del hormigón, obteniendo una resistencia a la compresión de 46.3 MPa para su propuesta de hormigón verde, concluyendo en que dicho rendimiento era comparable con el obtenido de un diseño estándar.

Cabe resaltar que, el cuarzo también se presenta en forma de polvo, Vinh, Bazhenov y Aleksandrova (2019) aplicaron ello en combinación con humo de sílice, como reemplazo de parte del material cementante en diferentes proporciones, buscando obtener resultados mejorados en sus características físico - mecánicas, obteniendo así una dosificación del 10% como la ideal, generando valores mayores en resistencias.

También, en forma de roca, el cuarzo se puede emplear como reemplazo del agregado grueso, en Perú se revisó la investigación de Bardales y Bagner (2018), quienes aplicaron dicho material descubriendo así que, su aumento en la translucidez era inversamente proporcional a su resistencia a la compresión, resultando en una respuesta negativa.

Por otro lado, uno de los productos más comunes del cuarzo post industrializado es el vidrio, en Lambayeque, se analizó el estudio de Saravia (2019), el cual aplicó vidrio triturado como reemplazo del agregado grueso, logrando con ello, incrementar las propiedades del hormigón en temas de resistencia a la compresión, alcanzando un 15% de mejora.

Considerando lo expuesto, este artículo se justifica por la necesidad que existe de optimizar el uso de recursos en la construcción y disminuir el impacto ambiental que está asociado a la producción de hormigón. La incorporación de cuarzo y sus derivados en las mezclas de hormigón no solo puede mejorar sus propiedades físico-

mecánicas, como la resistencia a la compresión, sino que, también ofrece una alternativa sostenible al uso de materiales convencionales.

En atención a todo lo anterior, se realiza la interrogante ¿cuál es la influencia del cuarzo y sus derivados en las propiedades físico-mecánicas del hormigón, y qué ventajas se pueden obtener al utilizar estos materiales como una alternativa sostenible en la construcción?, para dar respuesta a la pregunta, este artículo tiene el objetivo de indagar la influencia y resaltar las ventajas que trae el usar cuarzo y derivados en las propiedades físico - mecánicas del hormigón, planteando un mejor uso para este residuo minero. Basándose en lo dicho por los artículos anteriormente citados, se destaca que el uso del cuarzo y sus derivados de manera correcta, beneficia al hormigón gracias a sus componentes de sílice.

METODOLOGÍA

La investigación se guio bajo un enfoque cualitativo. A través de una revisión literaria se indagó en las formas en que se presenta el dióxido de silicio, arenas, polvos y rocas y otros materiales silíceos. Teniendo como punto unánime la resistencia a la compresión de los diseños de hormigón, respecto a cada dosificación empleada.

A continuación, se detallan los procedimientos implementados para la búsqueda, selección y extracción de datos de los estudios relevantes:

La revisión se llevó a cabo con 42 publicaciones a lo largo del estudio, distribuyéndose de la

siguiente forma: 11 artículos previos al 2019, 5 del 2019, 2 del 2020, 8 del 2021, 7 del 2022, 5 del 2023 y 4 del 2024. Durante la búsqueda se emplearon las palabras siguientes: Cuarzo, quartz influence, quartz sand, influencia del vidrio en el hormigón, vidrio en el hormigón, cerámica en el hormigón, Sílice, quartz powder, vidrio triturado, adiciones minerales, entre otras.

Criterios de inclusión: Se incluyeron artículos de investigación originales, revisiones sistemáticas y estudios experimentales cuya temática abordara la influencia del cuarzo y otros materiales silíceos en el hormigón. La fecha de publicación, de los artículos entre 2010 y 2024. Se consideró que los estudios publicados fuesen en el idioma español e inglés.

Criterios de exclusión: Se excluyeron las reseñas, editoriales, cartas al editor y los estudios que no fuesen originales. Los artículos que no abordaran directamente la influencia del cuarzo o materiales silíceos en el hormigón. La fecha de publicación, anteriores al 2010

La estrategia de búsqueda se realizó en variadas bases de datos académicas como Scielo ScienceDirect, Redalyc, IEEE Xplore, repositorios y otras fuentes. Las estrategias de búsqueda se estructuraron con los siguientes descriptores y operadores booleanos. Ecuación de búsqueda: ("Cuarzo" OR "Quartz" OR "Quartz sand" OR "Silica" OR "Quartz powder" OR "Glass in concrete" OR "Mineral additions") AND ("Concrete" OR "Cement").

En cuanto a los filtros utilizados fueron: la fecha de publicación desde el 2010 hasta el 2024, los artículos en idioma español e inglés, los artículos revisados por pares, Tablas 1 y 2.

El proceso de selección de estudios se realizó en dos etapas:

Cribado inicial: Dos autores revisaron independientemente los títulos y resúmenes de los artículos recuperados para determinar su elegibilidad según los criterios establecidos. Se registraron las discrepancias y se resolvieron mediante discusión.

Revisión completa: Los artículos seleccionados fueron leídos en su totalidad para confirmar su inclusión. En total, 42 publicaciones fueron finalmente incluidas en la revisión.

De igual manera, la extracción de datos fue realizada por dos revisores que trabajaron independientemente para garantizar la precisión y consistencia. Los datos extraídos incluyeron: Características del estudio: autor(es), año, tipo de estudio, diseño experimental; Intervenciones: tipo y cantidad de materiales silíceos utilizados; Resultados: resistencia a la compresión reportada.

Los revisores discutieron cualquier discrepancia en los datos extraídos y confirmaron la información con los autores originales cuando fue necesario. De igual forma, se

buscaron datos sobre las siguientes variables:
Características del hormigón (tipo, proporciones),
métodos experimentales utilizados para medir
la resistencia. Finalmente, los resultados se
tabularon para facilitar la comparación entre

estudios individuales, destacando las diferencias
en métodos y resultados. La síntesis se realizó
mediante un análisis cualitativo que permitió
identificar tendencias comunes y variaciones
significativas entre los estudios incluidos.

Tabla 1. Criterios de selección según la base de datos y aplicaciones de filtros.

Base de datos	Palabras clave	Sin filtro		Aplicación de filtros		Resultados	
		Resultados	Años	Otros	Encontrado	Seleccionado	
Scielo	quartz influence	102	2018 - 2024	- Ingenierías - Construction	5	3	
	quartz sand	101	2018 - 2024	- Ingenierías - Construction	4	1	
	influencia del vidrio en el concreto	1	-	-	1	1	
	vidrio en el concreto	10	-	-	10	2	
	Cerámica en el concreto	122	2018 - 2024	- Ingenierías - Construction	10	3	
	Sílice	320	2018 - 2024	- Ingenierías	29	1	
	Otras	1	2018 - 2024	-	1	1	
ScienceDirect	quartz powder	215272	2018 - 2024	- Engineering	9695	2	
	Vidrio Triturado	17	2018 - 2024	- Research articles - Open access & Open archive	6	2	
	quartz sand	98630	2018 - 2024	- Research articles - Construction and Building Materials - Engineering - Open access & Open archive	122	1	
	quartz	699798	2018 - 2024	-	5260	3	
	Otras	1	2018 - 2024	-	1	1	
Redalyc	adiciones minerales	2	Antiguo - 2024	-	1	1	
	Otras	1	Antiguo - 2024	-	1	1	
IEEE Xplore	-	1	2018 - 2024	-	1	1	
Repositorios	Cuarzo	3	2018 - 2024	-	3	3	
Otras fuentes	-	12	2018 - 2024	-	12	12	
	-	3	Antiguos - 2024	-	3	3	

Tabla 2. Artículos por año de publicación.

Base de datos	Año de publicación							Total
	Antes 2019	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
Scielo	3	2	1	2	5			13
ScienceDirect	1	1			2	2	4	10
Redalyc	2							2
IEEE Xplore				1				1
Repositorios	2	1						3
Otras fuentes	3	1	1	5		3		13

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

A partir de esta sección, se presentan los resultados obtenidos en relación a la influencia del cuarzo y materiales silíceos en las propiedades físico-mecánicas del hormigón, específicamente en su resistencia a la compresión. A continuación, en la Tabla 3, se muestran los valores de resistencia

a la compresión del hormigón al incorporar la roca de cuarzo o triturado, esta información es primordial para comprender cómo estos materiales silíceos afectan las características mecánicas del hormigón, por consiguiente, su aplicabilidad en los proyectos de construcción.

Tabla 3. Valores de resistencia a la compresión con añadido roca de cuarzo o triturado.

Material	Sustitución (%)	Curado	f'c (kg/cm ²)	Referencia
Roca de cuarzo o triturado	CP	7	153,6	(Bardales y Neyra, 2018)
		28	213,26	
	25%	7	167,48	
		28	242,82	
	50%	7	123,23	
		28	187,8	
	100%	7	104,26	
		28	202,59	

En la Tabla 3, el hormigón muestra mejor resistencia cuando se sustituye el 25% del agregado con cuarzo, mostrando una resistencia de 242.82 kg/cm², por otra parte, con un 50% de cuarzo la resistencia disminuyó a 187.80 kg/cm², sin embargo, al sustituir un 100% la resistencia llegó a un máximo de 202.59 kg/cm².

Al analizar los resultados a los 7 y 28 días, se observa que las muestras de hormigón con un 25% de cuarzo tienden a mostrar una mejora en la resistencia a la compresión. A pesar de ello, al llegar a los 56 días de edad, la resistencia de estas muestras disminuye en comparación con el hormigón patrón. A continuación, Tabla 4, la arena de cuarzo o cuarzo pulverizado:

Tabla 4. Valores de resistencia a la compresión con añadido de arena de cuarzo o cuarzo pulverizado.

Material	Sustitución (%)	Curado	f'c (kg/cm ²)	Referencia
Arena de cuarzo o cuarzo pulverizado	CP	7	151,43	(Candian et al, 2022)
		28	158,36	
	100%	7	305,51	(Meraz et al, 2023)
		28	337,32	
	20%	28	439,7	
	30%	28	426,44	
	CP	7	1329,3	(Rojas et al. 2019)
		28	1329,91	
	1%	7	1514,89	(Karaca et al. 2022)
		28	1583,52	
	1,50%	7	1483,38	
		28	1386,92	
	0,70%	7	-	(Karaca et al. 2022)
		28	-	
	1%	7	-	(Tolstoy et al. 2020)
		28	-	
	1,30%	7	-	
		28	-	
	20%	28	360,98	(Tolstoy et al. 2020)
	30%	28	347,72	
	20%	28	472,13	(Hlavička, Hlavicka-Laczák y Lublóny, 2022)
	30%	28	477,23	
	15% (sand)	28	662,82	
	10% (sand) + AG	28	601,63	
	10% (sand) + C1	28	571,04	(Vinh, Bazgenov y Aleksandrova, 2019)
	10% (sand) + C2	28	423,18	
	10% (sand)	3	689,12	
		7	725,12	
		28	842,69	
	10% (sand) + 5% (silica fume) + 20% (fly ash)	3	534,78	(Vinh, Bazgenov y Aleksandrova, 2019)
		7	774,65	
		28	834,25	

Material	Sustitución (%)	Curado	f'c (kg/cm ²)	Referencia
10% (sand) + 5% (silica fume) + 30% (fly ash)		3	686,61	
		7	743,25	
		28	817,9	
10% (sand) + 7,5% (silica fume) + 30% (fly ash)		3	651,2	
		7	688,71	
		28	817,9	
10% (sand) + 10,5% (silica fume) + 30% (fly ash)		3	706,9	
		7	764,35	
		28	925,54	
10% (sand) + 12,5% (silica fume) + 30% (fly ash)		3	735,52	
		7	780,12	
		28	858,2	
0.1%		28	473.422	(Li et al. 2024)
0.2%		28	523.543	
0.3%		28	756.761	
20% SiO ₂ + 78% cemento + 2% yeso		7	598.06	(Zhang, Bai y Luo, 2024)
		28	823.72	
15% SiO ₂ + 78% cemento + 2% yeso		7	692.29	
		28	919.58	
1 (cemento) : 0.3 (silica fume) : 0.27 (cuarzo ultr.)		28	3306.94	(Ni et al. 2024)
1 (cemento) : 0.3 (silica fume) : 0.37 (cuarzo ultr.)		28	3053.03	Cuarzo ultrafino por cuarzo molido
1 (cemento) : 0.3 (silica fume) : 0.47 (cuarzo ultr.)		28	3182.53	
1 (cemento) : 0.3 (silica fume) : 0.27 (cuarzo fund.)		28	3241.68	
1 (cemento) : 0.3 (silica fume) : 0.37 (cuarzo fund.)		28	2810.34	Cuarzo fundido por cuarzo molido
1 (cemento) : 0.3 (silica fume) : 0.47 (cuarzo fund.)		28	2876.62	

Los resultados obtenidos por los diferentes autores, según muestra la Tabla 4, al agregar distintas dosificaciones de material fino de cuarzo, evidencian la mejora lograda en hormigones de alta resistencia en el área de su resistencia a la compresión. Las dosificaciones mostradas fueron del 10%, 20% y 30%, y un tiempo de curado de 28 días, logrando incrementar la resistencia en más de un 35% de su hormigón patrón.

En cuanto a esto, Meraz et al. (2023) adicionó polvo de cuarzo y otros minerales, disminuyendo la resistencia a la compresión de ambas muestras en 3,53% y 6,44% respectivamente, respecto al diseño patrón. Sin embargo, Tolstoy et al. (2020), aplicó las mismas dosificaciones de cuarzo y obtuvieron mejoras mínimas en resistencia a la compresión respecto a su diseño patrón, logrando aumentos menores al 5%. Por otro lado, Hlavička, Hlavicka-Laczák y Lublój (2022) aumentaron su resistencia a la compresión gracias a la combinación de la arena de cuarzo en un 10% con productos puzolánicos con presencia de

sílice, aplicación respaldada por Vinh, Bazgenov y Aleksandrova (2019) al emplear la misma dosificación más porcentajes de cenizas volantes y humo sílico, obteniendo más del 10% de mejora. Kaplan et al. (2022) menciona que a medida que se incrementa la cantidad de polvo de cuarzo, las características mecánicas de las mezclas mejoran. Las mezclas de geopolímeros presentaron una resistencia a la compresión de 7 a 60 MPa (71.38 - 611.83 kg/cm²).

En lo investigado por Ni et al. (2024) demuestra que la resistencia a la compresión se ve mejorada con la proporción que emplea un 0.27 de cuarzo ultrafino, alcanzado una resistencia de 3306.94 kg/cm², mientras que, para tracción la mejora se ve en la misma proporción, pero con el uso de cuarzo fundido, siendo de 917.75 kg/cm². Cabe destacar que todas las proporciones con ambos empleos mejoran la resistencia a la tracción respecto al patrón. Residuos de vidrio y polvo de vidrio, Tabla 5.

Tabla 5. Valores de resistencia a la compresión con añadido de residuos y polvo de vidrio.

Material	Sustitución (%)	Curado	f'c (kg/cm ²)	Referencia	
Residuos de vidrio y polvo de vidrio	CP	28	219,24	(Arbeláez et al., 2022)	
	5%	28	184,16		
	10%	28	212,66		
	15%	28	214,86		
	20%	28	231,48		
	25%	28	201,7		
	50%	28	203,89		
	1:0 (CCA + RV = 5%)	28	285,52	(Arbeláez et al., 2024)	
	1:1 (CCA + RV = 5%)	28	293,68		
	1:2 (CCA + RV = 5%)	28	300,82		
	1:3 (CCA + RV = 5%)	28	326,31		
	CP	28	217,5	(Segura et al., 2022)	
	25%	28	266,5		
	50%	28	239,6		
	25%	28	234,8		
	50%	28	226,1		
		0%	28	532,29	(Días et al., 2021)
		10%	28	531,15	
		20%	28	519,25	
		30%	28	509,69	
	50%	28	417,2		
	CP	7	334,26		
		14	382,7		
		28	429,3		
	10%	7	352,41	agregado por vidrio reciclado	
		14	414		
		28	452,96		
	15%	7	316,52		
		14	375,87		
		28	433,99		
	CP	28	194,77	(Flores, Jiménez y Pérez, 2018)	
	25%	28	188,65		
	50%	28	185,59		

Se puede observar en la Tabla 5, que el hormigón patrón utilizado es variable y depende de cada investigación, sin embargo, todos están de acuerdo que la resistencia a la compresión aumenta cuando se adiciona polvo o residuos de vidrio en un 20% a 25%, alcanzando a los 28 días, un $f'c$ de 266.5 kg/cm² respecto a un patrón de 217.5 kg/cm² cuando se adiciona un 25% de vidrio reciclado.

Por su parte, Arbeláez et al. (2022) halló que al reemplazar el 20% del agregado fino con residuos de vidrio, el hormigón muestra la mejor resistencia

a la compresión, alcanzando un máximo de 22.7 Mpa (231.47 kg/cm²) siendo un incremento del 5.5% respecto al hormigón convencional, no obstante, Segura et al. (2022) opina diferente, él observó que al sustituir el 25% del agregado por vidrio reciclado, se logra una resistencia de 235.60 kg/cm² (23.104 Mpa), superando al estándar en un 8.0%. Por otra parte, Dhanabal y Sushmitha (2022) indica que se puede desarrollar una mezcla óptima si se utiliza un 10% de polvo de vidrio y un 30% de relaves de hierro. Residuos de cerámicos rojos, Tabla 6.

Tabla 6. Valores de resistencia a la compresión con añadido de residuos de cerámicos rojos.

Material	Sustitución (%)	Curado	F'c (kg/cm ²)	Referencia
Residuos de cerámicos rojos	CP	28	103,5	(Jansen et al., 2018) Influencia del contenido de cerámica roja del árido reciclado en las propiedades del hormigón permeable.
	10%	28	30,08	
	25%	28	32,63	
	50%	28	27,12	
	100%	28	20,39	
	CP	7	247,38	(Passos, Moreno y Marmorato, 2020) Durabilidad del hormigón elaborado con árido grueso procedente de residuos cerámicos rojos.
		28	305,92	
	40%	7	207,82	
		28	267,37	
	100%	7	167,54	
		28	194,15	
	CP	3	228,42	(Cardoso, Lorenzetti y Mariana, 2018) Uso de residuos agroindustriales en las propiedades mecánicas del concreto
		7	270,22	
		28	357,92	
12%	3	299,79		
	7	390,55		
	28	485,38		

Las dosificaciones empleadas en cada investigación de la tabla 6, fueron variadas, sin embargo, la mayoría desarrolló efectos adversos en cuanto a su resistencia a la compresión, disminuyéndola drásticamente con el aumento de los porcentajes de dicho agregado; dichos impactos, se intuye, se deberían a la presencia de arcilla en el producto ya industrializado, que sabiéndose de antemano, mejora mucho el tema de la trabajabilidad del hormigón, pero por el contrario, causa que el producto ya endurecido no cumpla con los valores de resistencia requeridos.

Jansen et al. (2018) descubrieron que ha medido que las dosificaciones de residuos de cerámico rojo aumentaban (10, 25, 50 y 100%), su resistencia a la compresión descendía considerablemente, llegando hasta 20.39 kg/cm² con 100% de reemplazo del agregado, un 19.7% del diseño patrón. Dichos resultados quedaron respaldados por Passos, Moreno y Marmorato (2020) quien al reemplazar la misma dosificación resultó con una resistencia a la compresión 21.52%

menor a la original. Sin embargo, la investigación de Cardoso, Lorenzetti y Mariana (2018) si obtuvo resultados positivos, y es que, gracias a 12% de reemplazo con residuos de cerámico rojo, se logró un 35.61% de mejora en la resistencia a la compresión a los 28 días de curado.

De acuerdo con Mejía et al. (2022), los cerámicos de baldosa y aparatos sanitarios hechos de residuos cerámicos tienen potencial para actuar como cemento. Aunque no se pudo determinar su capacidad cementante, estas mezclas contienen sustancias químicas que, al ser procesadas, podrían activarse y responder químicamente para preservar unidos los agregados. También es factible emplear los desechos cerámicos del ladrillo como componente adicional en mezclas de mortero destinadas a labores de construcción como mampostería, revoques y enlucidos. Además, se puede sustituir hasta un 5% del cemento tipo Pórtland por polvo de ladrillo cerámico en dichas actividades.

Tabla 7. Valores de resistencia a la compresión con añadido de otros derivados (pizarra).

Material	Sustitución (%)	Curado	f'c (kg/cm ²)	Referencia
Otros derivados (pizarra)	CP	3	132,56	(Fernández, Almenares y Otaño, 2021)
		7	155	
		28	234,53	
	30%	3	122,37	
		7	144,8	
		28	227,4	

Al utilizar residuos de pizarra como agregado el hormigón disminuye su resistencia a la compresión, llegando a 227.4 kg/cm² cuando se sustituye un 30%, fue incapaz de superar el $f'c$ 234.53 del hormigón patrón a una edad de 28 días.

CONCLUSIÓN

Los estudios analizados muestran que la adición de cuarzo triturado al hormigón $f'c$ 210 puede mejorar su resistencia a la compresión en ciertos casos, pero también puede disminuir la resistencia en otros, siendo la dosificación del 20% de cuarzo la que presenta mejores resultados en la resistencia a la compresión. Por otro lado, el uso de residuos de vidrio y polvo de vidrio en el hormigón al 25% puede aumentar la resistencia a la compresión en un 8% respecto al estándar, mientras que el uso de residuos cerámicos rojos tiende a disminuir la resistencia del hormigón.

Es importante evaluar cuidadosamente las propiedades y características de cada material antes de utilizarlos en la construcción, del mismo modo, se debe seguir investigando y evaluando los efectos de estos materiales en las propiedades del hormigón y del mortero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arbeláez, O. F., Senior, V., Rúa, A. Carvajal, J., Lasso, C. (2024). Influencia del polvo de vidrio en el comportamiento ambiental, térmico y mecánico del hormigón que contiene ceniza de cascarilla de arroz. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2023.06.004>
- Arbeláez, O. F., Agudelo, J. J., Acevedo, M., Valencia, S. (2022). Factores de emisión de concretos modificados con residuos de vidrio en reemplazo de los agregados finos. *Revista Ingeniare*, 30(2). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052022000200368>
- Arkansas Democrat Gazette (2023). Central Arkansas Water voices opposition to quartz mine near Lake Winona. Recuperado de: <https://www.arkansasonline.com/news/2023/aug/11/central-arkansas-utility-voices-opposition-to/#:~:text=Central%20Arkansas%20Water%20Board%20of,unjust%20burden%20on%20water%20ratepayers.%22>
- Bardales, F. L., Neyra, B. A. (2018). Influencia del cuarzo reemplazante del agregado grueso en las propiedades mecánicas del concreto, Trujillo 2018. Proyecto de grado (Bachiller en Ingeniería Civil). Perú: Universidad Privada del norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14966>
- Bonavetti, V. L.; Rahhal, V. F. (2006). Interacción de Adiciones Minerales en Pastas de Cemento. *Revista de La Construcción*, 5(2), 33-41. <https://www.redalyc.org/pdf/1276/127619380004.pdf>
- Caballero, P.W., Damiani, A. C., y Ruiz, A. (2021). Optimization of the concrete through the addition of nanosilice, using aggregates of the cantera de Añashuayco de Arequipa. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 36(1), 71–87. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732021000100071>
- Candian, E. L., dos Santos, G. C., Covaes, D., Andréa, S. (2022). Pervious concrete with waste foundry sand: mechanical and hydraulic properties. *Revista Materia*, 27(1). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620220001.1354>
- Cardoso, R., Lorenzetti, A. y Mariana, K. (2018). Produção de concreto autoadensável incorporado com resíduo da indústria de cerâmica vermelha. *Revista Matéria - Rio de Janeiro*, 23(3). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180003.0500>

- Castillo Piscocoya, G. E., Chavarry Koosi, J. C., Peralta Panta, J. K., y Muñoz Pérez, S. P. (2021). Uso de residuos agroindustriales en las propiedades mecánicas del concreto: Una revisión literaria. *Revista Ingeniería*, 5(13), 123–142. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v5i13.86>
- Dhanabal, P. y Sushmitha, K. S. (2022). Effect of Iron Ore Tailing and Glass Powder on Concrete Properties. *Revista Ingeniería de Construcción*, 37(1). <https://doi.org/10.7764/ric.00017.21>
- Días, L. V., Soares, S. M., Salvador, J. A., Ferreira, F. G. S. (2021). Evaluation of chloride migration in ultra-high performance concrete (UHPC) with glass powder. *Revista ALCONPAT*, 11(2), 64-75. <https://doi.org/10.21041/ra.v11i2.512>
- Fernández, C., Almenares, R. S., Otaño, J. A. (2021). Evaluación de la reactividad puzolánica de residuos de pizarras del depósito Tchihingue en Angola: Influencia de la composición mineralógica. *Revista Materia*, 26(3). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13042>
- Figueroa, T. y Palacio, R. (2013). Patologías, causas y soluciones del concreto arquitectónico en Medellín (pathologies, causes and solutions of architecture concrete in medellín). *Revista EIA*, 5(10), 121. <https://doi.org/10.24050/reia.v5i10.214>
- Flores, V., Jiménez, V., Pérez, A. (2018). Influencia de la incorporación de vidrio triturado en las propiedades y el comportamiento a alta temperatura de morteros de cemento, *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 57(6), 257-265, <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2018.03.001>
- Gutiérrez, E. P. (2014). Manejo de residuos en minería: la regulación como herramienta de desarrollo. Proyecto de grado (Bachiller en Ingeniería Ambiental). Colombia: Universidad de los Andes. 2014. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/17204/u703667.pdf>
- Hlavička, V., Hlavicka, L. E., Lublůy, E. (2022). Residual fracture mechanical properties of quartz and expanded clay aggregate concrete subjected to elevated temperature. *Revista Construction and Building Materials*, (328). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126845>
- Imcyc. (2017). Patología y durabilidad en el concreto. *Revista Construcción y Tecnología*, 6(12). <https://www.imcyc.com/revistacyt/MARZO%202017/MARZO17.pdf>
- Jansen, R., Krüger, P., Pereira, E., Barbosa, C., Ribas, M. (2018). Influência do teor de cerâmica vermelha do agregado reciclado nas propriedades do concreto permeável. Influencia del contenido de cerámica roja del árido reciclado en las propiedades del hormigón permeable. *Revista Matéria-Rio de Janeiro*, 23(3). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180003.0497>
- Kaplan, G., Öz, A., Bayrak, B., Görkem, H. A., Çelebi, O., Cüneyt, A. (2022). Effect of quartz powder on mid-strength fly ash geopolymers at short curing time and low curing temperature. *Construction and Building Materials*, 329(1), 127153–127153. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127153>
- Karaca, H., Tekin, K., Bahadir, S. Kasap, Ö. (2022). Effects of particle size optimization of quartz sand on rheology and ductility of engineered cementitious composites. *Revista de la Construcción*, 21(2), 448-460. <http://dx.doi.org/10.7764/rdlc.21.2.447>
- Knight, B. H. (1949). Fallos en el hormigón: causas y remedios. *Revista Materiales de Construcción*, 009, 54–56. <https://doi.org/10.3989/mc.1949.i009.3409>
- Li, X., Shao, Y., Ma, G., Wang, L. (2024). A New 3D printing method and similar materials of the tunnel lining for the geomechanical model test. *Revista Construction and Building Materials*, 433(1). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136724>
- Mattos, R., Villareal, R., Puga K. L. (2023). Evaluación del concreto con vidrio reciclado molido como reemplazo parcial del agregado fino. *Revista ID Tecnológico*, 1(18). <https://n9.cl/83739>
- Márquez, C. A., Mata, J., Molina, J. R., Campillo, G. E., Vásquez, J., García, A., Vega, H. R. (2019). Estudio de siete tipos de cuarzo para su posible uso como blindaje contra fotones ionizantes. *Revista*

- Zacatecas, (1), 1-18. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/51/015/51015549.pdf
- Mejía, C. A., Sierra, L. J., Arboleda, S. A., y Zuluaga, U. (2021). Evaluación técnica del potencial cementante de arcillas provenientes de los residuos de la construcción y la demolición. *Revista Tecno Lógicas*, 24(52), e2038–e2038. <https://doi.org/10.22430/22565337.2038>
- Meraz, M., Tam, V. W., Hayet, M., Rahman, H., Sadiqul, N., Nazmus, M. (2023). Effect of various powder content on the properties of sustainable self-compacting concrete. *Revista Case Studies in Construction Materials*, 19(1), e02274–e02274. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02274>
- Ni, W., Cui, X., Yuan, J., Sun, W., Cui, C., Wu, Y. (2024). The influence of fiber, aggregate and cementitious materials on the mechanical properties of ultra-high content steel fiber reinforced reactive powder concrete. *Revista Construction and Building Materials* 431(1). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136530>
- OEFA (2023). PORTAL Interactivo de Fiscalización Ambiental (PIFA). <https://n9.cl/xzdiw>
- Orozco, M., Avila, Y., Restrepo, S., y Parody, A. (2018). Factors influencing the concrete quality: a survey to relevant actors of the concrete industry. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 33(2), 161–172. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732018000200161>
- Passos, L., Moreno, A. L., Marmorato, C. E. (2020). Durabilidade de concretos produzidos com agregado graúdo proveniente de resíduo de cerâmica vermelha. Durabilidad del hormigón elaborado con árido grueso procedente de residuos cerámicos rojos. *Revista Materia*, 25(2). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200002.1076>
- Patil A., Tatke, A., Vachhani, N., Patil, M., Gulhane, P., (2021). Garbage Classifying Application Using Deep Learning Techniques. *Revista IEEE*, (1), 122-130. <https://doi.org/10.1109/RTEICT52294.2021.9573599>
- Praveenkumar, T. R., Vijayalakshmi M. M., Meddah, M. S. (2019). Strengths and durability performances of blended cement concrete with TiO₂ nanoparticles and rice husk ash. *Revista Construction and Building Materials*, (217), 343-351. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.045>
- Ramos, M.I., Pérez, M. (2021). Characterization of mine tailings in their natural state and stabilized with cement, focused on construction. *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología*, 23(2). <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.2.010>
- Rojas, R., Korzenowski, C., Jefe, F. R., Beraldin, R., Pinto, L. C., Campos, A. (2019). Investigación de diseños de mezcla para producir Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC) usando ANOVA. *Revista Materia*, 24(2). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190002.0680>
- Saravia, Y. E. (2019). Aplicación de vidrio triturado reemplazando agregado grueso para diseño de mezcla de concreto f'c=210 kg/cm² en el distrito La Victoria – Chiclayo. Proyecto de grado (Bachiller en Ingeniería Civil). Perú: Universidad César Vallejo. 2019. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/39441?locale-attribute=es>
- Segura, L. A., Sigüenza, R. W., Solar, M. A., y Zamora, J. E. (2022). Efecto del uso de vidrio reciclado en el diseño de concreto.

- Revista Universidad Y Sociedad, 14(1), 179–192. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202022000100179&lang=es
- The Guardian (2021). Stones that sparked ‘diamond’ rush in South Africa are just quartz. <https://www.theguardian.com/world/2021/jun/20/stones-sparked-diamond-rush-quartz-tests-reveal>
- Toirac, J. (2009). La resistencia a la compresión del hormigón, condición necesaria pero no suficiente para el logro de la durabilidad de las obras, Revista Ciencia y Sociedad. 4, 463–504. <https://www.redalyc.org/pdf/870/87014516001.pdf>
- Tolstoy, A., Lesovik, V., Fediuk, R., Amran, M., Gunasekaran, M., Vatin, N. y Vasilev, Y. (2020). Production of Greener High-Strength Concrete Using Russian Quartz Sandstone Mine Waste Aggregates. Revista Materials, 13(23), 5575. <https://doi.org/10.3390/ma13235575>
- Vinh, N. D., Bazgenov, Y., M., Aleksandrova, O. V. (2019). Effect of quartz powder and mineral admixtures on the properties of high-performance concrete. Revista VESTHIL MGSU, 14(1), 102-117. <https://n9.cl/fbzx>
- WTW (2023). Global Construction Rate Trend Report, Q1 2023. Recuperado de: <https://n9.cl/ek92e>
- Zhang, X., Bai, Y., Luo, Q. (2024). Exploring synergistic effects and hydration mechanisms in metakaolin-blended cement system with varying metakaolin and wollastonite content. Revista Construction and Building Materials 425(1). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135962>



Revisión de métodos de reciclaje enfocado a las aspas de aerogeneradores en México

Review of recycling methods focused on wind turbine blades in Mexico

Revisão dos métodos de reciclagem focados em pás de turbinas eólicas no México

ARTÍCULO ORIGINAL



José Luis Colín Martínez¹ 
jose.colin@ciateq.mx

Victor López Garza² 
victor.garza@umich.mx

Guillermo Muñoz Hernández¹ 
guillermo.munoz@ciateq.mx

¹CIATEQ, Centro de Tecnología Avanzada, Querétaro. Querétaro, México
²Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia. Michoacán, México

Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v8i22.127>

Artículo recibido 17 de julio 2024 / Aceptado 21 de agosto 2024 / Publicado 23 de octubre 2024

RESUMEN

La sostenibilidad y el impacto ambiental de las energías renovables es objeto de una creciente preocupación que, ha llevado a un enfoque renovado en el reciclaje de componentes de aerogeneradores, particularmente las aspas. El objetivo es analizar los métodos de reciclaje enfocado a las aspas de aerogeneradores en México. El enfoque es mixto, combinando métodos cualitativos como cuantitativos. Para recoger la información se utilizó la revisión documental y un análisis de la literatura sobre aspas de aerogeneradores. Los resultados muestran que, a medida que la energía eólica crece como una fuente de energía renovable, la gestión adecuada de los residuos generados por las palas que, se convierte en un aspecto crítico para asegurar la sostenibilidad del sector. Se concluye que, para alcanzar una gestión sostenible y eficiente de estos residuos, es fundamental explorar métodos físicos como la trituración mecánica. Este enfoque no solo reduce costos de transporte, sino que también facilita el manejo en sitios especializados cercanos a los centros de uso de productos de fibra de vidrio.

Palabras clave: Aerogenerador; Aspa; Método; Reciclaje

ABSTRACT

The sustainability and environmental impact of renewable energy is a growing concern, leading to a renewed focus on recycling wind turbine components, particularly blades. The objective is to analyze the recycling methods focused on wind turbine blades in Mexico. The approach is mixed, combining qualitative and quantitative methods. A documentary review and an analysis of the literature on wind turbine blades were used to collect information. The results show that, as wind energy grows as a renewable energy source, the proper management of the waste generated by the blades becomes a critical aspect to ensure the sustainability of the sector. It is concluded that, to achieve sustainable and efficient management of this waste, it is essential to explore physical methods such as mechanical shredding. This approach not only reduces transportation costs, but also facilitates handling in specialized sites close to the centers of use of fiberglass products.

Key words: Wind turbine; Wind blade; Method; Recycling

RESUMO

A sustentabilidade e o impacto ambiental das energias renováveis são objeto de preocupação crescente, o que levou a um foco renovado na reciclagem dos componentes das turbinas eólicas, especialmente das pás. O objetivo é analisar métodos de reciclagem focados em pás de turbinas eólicas no México. A abordagem é mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos. Para coletar as informações, utilizou-se uma revisão documental e uma análise da literatura sobre pás de turbinas eólicas. Os resultados mostram que, à medida que a energia eólica cresce como fonte de energia renovável, a gestão adequada dos resíduos gerados pelas pás torna-se um aspecto crítico para garantir a sustentabilidade do setor. Conclui-se que, para alcançar uma gestão sustentável e eficiente destes resíduos, é essencial explorar métodos físicos como a trituração mecânica. Essa abordagem não apenas reduz os custos de transporte, mas também facilita o manuseio em locais especializados próximos aos centros de utilização de produtos de fibra de vidro.

Palavras-chave: Turbina eólica; Pás de vento; Método; Reciclagem

INTRODUCCIÓN

Esta última década la creciente preocupación por la sostenibilidad y el impacto ambiental de las energías renovables ha llevado a un enfoque renovado en el reciclaje de componentes de aerogeneradores, particularmente las aspas. Desde un contexto internacional, se estima que el reciclaje de palas de aerogeneradores es un desafío significativo, ya que estas estructuras están compuestas principalmente de materiales compuestos como la fibra de vidrio y resinas termoendurecibles, que son difíciles de procesar al final de su vida útil. Según Robbertsen (2021), en un futuro muy cercano habrá que reciclar alrededor del 80% de los molinos porque hay menos espacio para las turbinas eólicas usadas. Esta realidad, resalta la necesidad urgente de desarrollar tecnologías efectivas para el reciclaje, que no solo minimicen los residuos, sino que también promuevan la economía circular en el sector energético.

En este sentido, un estudio relevante en este campo es el realizado por Vergara-Quezada et al. (2020), estos proponen un innovador método basado en el pirólisis para reciclar las palas de aerogeneradores. Este procedimiento no solo busca recuperar fibras de vidrio y carbono, sino también optimizar la separación de estos materiales de las resinas, lo que podría resultar en una alta pureza y resistencia mecánica en los materiales recuperados. La investigación anticipa

que este proceso podría facilitar la reintegración de materiales reciclados en diversas aplicaciones industriales, contribuyendo así a una gestión más sostenible de los residuos generados por la industria eólica. Estos avances son cruciales para enfrentar los retos que vienen de la mano al final de vida útil de los aerogeneradores y para asegurar que el crecimiento del sector eólico sea verdaderamente sostenible.

Actualmente la industria eólica produce grandes cantidades de palas para aerogeneradores que están fabricadas principalmente de material compuesto de resina polimérica con refuerzo de fibra de vidrio. Este material tiene muy buenas propiedades mecánicas, pero al final de su vida útil o separar los materiales que lo componen. Por lo que se deben de buscar métodos de reciclaje que sean sostenibles, rentables y con bajo impacto ambiental. Es por eso por lo que se propone evaluar un método de reciclaje. Después proponer el método y proporcionar una aplicación específica para aprovechar los residuos que sirvan para nuevos productos.

En este contexto, una de las problemáticas principales son los residuos inorgánicos resultado del desecho de las palas eólicas, ya que estos tardan muchos años en degradarse y terminan principalmente en vertederos dañando el medio ambiente y la salud de los seres vivos. Las palas de los aerogeneradores están compuestas por materiales difíciles de reciclar por su naturaleza

y cada vez se instalan más turbinas en el mundo por lo que se visualiza que en un futuro cercano existirán toneladas de palas desechadas. Por lo que uno de los retos es proponer soluciones para el manejo de estos residuos, así como generar una economía circular para la reutilización y el reciclaje de palas.

Teniendo en cuenta lo anterior, esta investigación pretende informar a las comunidades cercanas a los parques eólicos en México sobre las opciones disponibles para la gestión de los desechos generados por el desmantelamiento de las aspas. Es fundamental que estas localidades comprendan que, al quedar las aspas desmanteladas en sus tierras, podrían ocupar espacio valioso y, con el tiempo, representar un riesgo para la salud pública debido a los componentes tóxicos que contienen. Por lo tanto, es crucial promover alternativas adecuadas para la disposición de estos materiales y minimizar su impacto ambiental. La generación de energía eléctrica a partir de la energía eólica es una tecnología relativamente joven, considerando que las primeras generaciones están por cumplir su vida útil, que oscila entre los 20 y 25 años (Jiménez y Valdes, 2022). En este sentido, es necesario considerar que un importante número de parques eólicos están por ser desmantelados.

Por otro lado, el mismo autor asegura que, experiencias previas indican que la mayor cantidad

de partes de las turbinas eólicas, como las bases, soporte principal, las unidades de transmisión y el propio generador, son relativamente reciclables. No obstante, la principal problemática, en el desmantelamiento de esas estructuras, lo representan las palas debido a los diferentes materiales que las componen. Debido a esto, se genera un nuevo desafío para este sector de energía renovable, la adecuada disposición y el reciclaje de los desechos generados al final de su vida útil.

Ahora bien, los materiales utilizados para fabricar aspas son principalmente materiales compuestos (fundamentalmente la fibra de vidrio o carbono y resinas, difíciles de separar), con diferentes propiedades, que permiten optimizar el diseño de los aerogeneradores mediante la fabricación de palas livianas y de gran longitud, con una forma aerodinámica perfeccionada. Este tipo de materiales ha permitido aumentar progresivamente el tamaño de los aerogeneradores y extender su uso a los parques eólicos marinos, donde las dimensiones conseguidas para las máquinas son todavía mayores (Asociación Empresarial Eólica AEE, 2021). En una pala eólica existen varios materiales que la componen los cuales se muestran en la Figura 1.

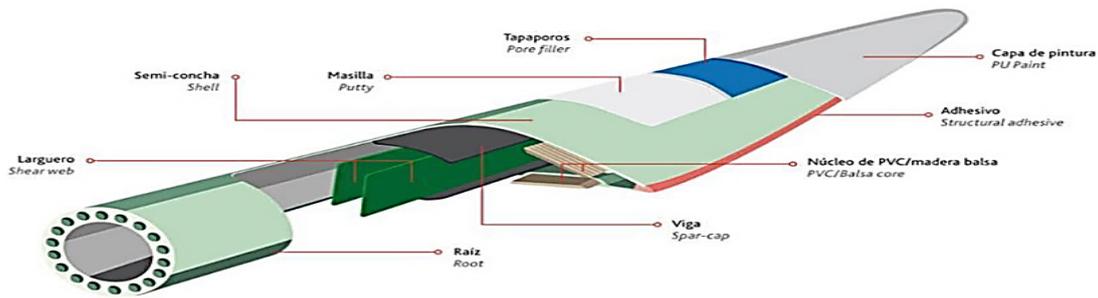


Figura 1. Componentes principales de un asa. AEE, (2021).

En términos generales las aspas, están fabricadas con materiales compuestos y estos no sólo se utilizan en las palas de los aerogeneradores, sino que son materiales importantes en sectores como la automoción, el transporte marítimo, la aeronáutica o la

construcción (Fernández, 2022). La industria eólica se encuentra en el quinto lugar de disposición de residuos en una proyección hacia el año 2025 dentro de las industrias que trabajan con estos materiales tal y como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Proyección de residuos de la industria de productos de material compuesto.

Al mismo tiempo, la primera generación de aerogeneradores en México está llegando al fin de su vida operativa. En los próximos años, muchos parques eólicos deberán optar entre extender la vida útil de sus activos, o llevar a cabo una repotenciación para sustituir los aerogeneradores antiguos por otros más modernos. De acuerdo con la información consultada en (Vestas, 2003) el 9.5 % de los materiales de un aerogenerador

Vestas V27/225 está fabricado de materiales compuestos, destacando que las aspas representan un 86% de fibra de vidrio que se encuentran en estos componentes como se muestra en la Figura 3 y en este caso se tendría un peso de más de una tonelada de las tres palas por lo cual al final de su vida útil se tendría que disponer de esta cantidad por cada aerogenerador desmontado.

Material	Góndola	Rotor	Torre	Total (kg)
Cantidad (kg)				
Acero	6,192.5	647.0	12,045.0	18,884.5
Cobre	400.0	0.0	125.0	525.0
Fibra de Vidrio	300.0	1,880.0	0.0	2,180.0
Fundición de hierro	1,027.0	450.0	0.0	1,477.0
Poliuretano	0.5	3.0	0.0	3.5
Total (kg)	7,920.0	2,980.0	12,170.0	23,070.0
Porcentaje (%)	34.3	12.9	52.7	100

Figura 3. Materiales para la fabricación del aerogenerador Vestas V27/225. [4].

El problema con las palas actuales es que los procesos de recuperación de materiales son complejos y a veces costosos. Además, los materiales no pueden recuperarse totalmente, ya que no fueron diseñadas pensando en su reciclaje desde el principio. Por ese motivo, los fabricantes de aerogeneradores se han puesto manos a la obra para diseñar palas que sean 100% reciclables mediante procesos más sencillos (Fernández, 2022). En atención a la situación planteada, el objetivo del estudio es analizar los métodos de reciclaje enfocado a las aspas de aerogeneradores en México

METODOLOGÍA

Para la realización de este estudio, se empleó un diseño de investigación mixto, combinando tanto métodos cualitativos como cuantitativos, esto permitió una comprensión más integral del tema al abordar tantos datos numéricos sobre la cantidad de residuos generados como narrativas

sobre las experiencias locales con el reciclaje. Este estudio se basó en un enfoque constructivista, que considera que el conocimiento se construye de manera social y contextual. A través de la revisión documental, se buscó entender cómo diferentes metodologías de reciclaje han sido implementadas en diversas partes del mundo, y cómo estas experiencias pueden ser relevantes para el contexto mexicano. La combinación provista por el enfoque permite integrar las perspectivas teóricas y prácticas que favorecen la comprensión del fenómeno estudiado.

Para recoger la información se utilizó la revisión documental a través del análisis de la literatura existente del tema de aspas de aerogeneradores. Esto incluyó artículos académicos, informas, estudios y documentos de políticas públicas. Finalmente se aplicó un análisis de contenido a los documentos lo que identificó tendencias, desafíos y oportunidades de los métodos de reciclaje.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Las condiciones actuales en cuanto generación de energía eólica en México y la estimación de aspas que se encuentran instaladas actualmente y las que se van a disponer en los próximos años. Una vez visto el impacto que estos componentes se realiza una investigación de los principales métodos utilizados para el reciclaje de materiales compuestos, tomando como referencia los que se utilizan en la Unión Europea en donde ya se están planteando soluciones a esta problemática de los residuos de aspas de aerogeneradores. Se evaluaron varios factores para de los métodos de reciclaje para ver cuál es el más conveniente para su aplicación en los campos eólicos de México.

Actualmente, México cuenta con un potencial eólico de más de 50,000 MW eólicos y se requieren utilizar tan sólo alrededor de 17,000 MW para alcanzar el objetivo de generar 35% de energía eléctrica con tecnologías limpias para el

año 2025, dejando un amplio espacio para otras tecnologías (Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE, 2022).

Con datos proporcionados por AMDEE, (2022) hasta 2022, México cuenta con parques eólicos en 15 estados de los cuales tiene una capacidad instalada de 7,312 MW principalmente en Oaxaca y Tamaulipas, como se muestra en la figura 4. Esto quiere decir que solo el 15% del potencial se está utilizando actualmente por lo que hay una gran proyección futura para que se instalen más aerogeneradores en los siguientes años. Por otro lado, por el momento hay 3,201 turbinas instaladas en el territorio nacional lo que quiere decir que hay en operación más de nueve mil palas las cuales su tiempo de vida útil actual ronda de los 5 a los 10 años. Con esto ya se tiene un panorama general de la necesidad que está surgiendo por el reciclaje de palas de estas turbinas, Figura 4.

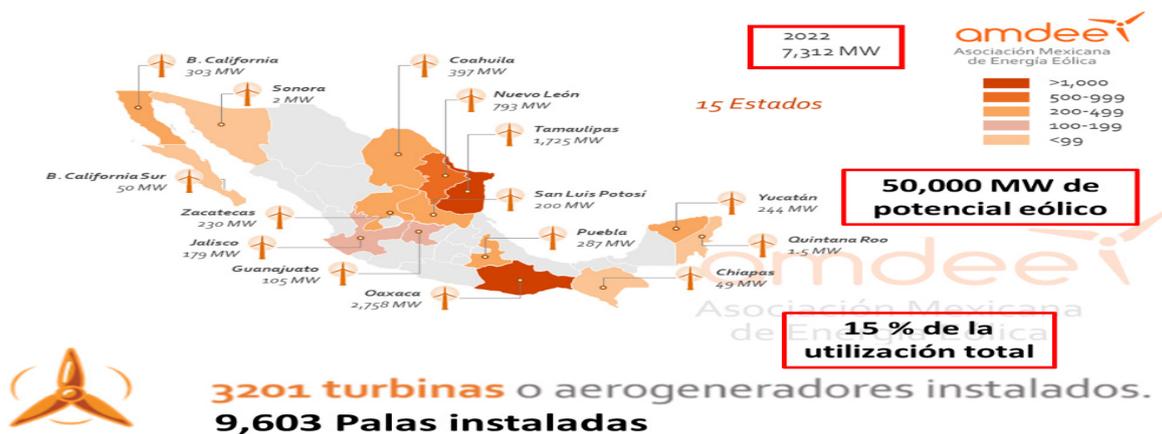


Figura 4. Capacidad y aerogeneradores instalados en la república mexicana.

En México existen varios proyectos de parques instalados los cuales se desarrollaron en varios momentos en el tiempo, la Figura 5 muestra los principales aerogeneradores que hay, su fecha de implementación y tomando de referencia que la vida útil de una pala es de 20 años podemos observar que el parque de la venta I ya llegó al final de su funcionamiento y la venta II en dos años

estarán desmantelando las aspas, considerando un tamaño de turbina de 2 MW, se estima que para el 2032, alrededor de 600 turbinas habrán desechado de forma gradual lo que traduce en 1800 aspas, además del material de las góndolas, por lo que ya hay una necesidad del manejo de este tipo de residuos ya que actualmente se mandan a vertederos o se dejan sobre los campos.

Proyectos Eólicos en México							
Proyectos Eólicos en Operación							
Proyecto	Ubicación	Esquema	Desarrollador	Turbinas	FOC	MW	
La Venta	Oaxaca	OPF	CFE	Vestas	1994	1.6	
La Venta II	Oaxaca	OPF	CFE	Gamesa	2006	83.3	
Parques Ecológicos de México	Oaxaca	Autoabast.	Iberdrola	Gamesa	2009	79.9	
Eurus, 1st Phase	Oaxaca	Autoabast.	Cemex/Acciona	Acciona	2009	37.5	
Eurus 2nd Phase	Oaxaca	Autoabast.	Cemex/Acciona	Acciona	2010	212.5	
Gobierno Baja California	Baja California	OPF	GBC/Turbo Power Services	Gamesa	2010	10	
Bii Nee Stipa I	Oaxaca	Autoabast.	Cisa-Gamesa	Gamesa	2010	26.35	
La Mata - La Ventosa	Oaxaca	Autoabast.	Eléctrica del Valle de México (EDF-EN)	Clipper	2010	67.5	
						518.63	
Proyectos Eólicos Bajo Construcción							
Proyecto	Ubicación	Esquema	Desarrollador	Turbinas	FOC	MW	
Fuerza Eólica del Istmo	Oaxaca	Autoabast.	Peñoles	Clipper	2010-2011	50	
La Venta III	Oaxaca	PIE	CFE/Iberdrola	Gamesa	2011	101	
Oaxaca II, III y IV	Oaxaca	PIE	CFE/Acciona	Acciona	2011-2012	304.2	
Oaxaca I	Oaxaca	PIE	CFE/EYRA	Vestas	2010	101	
Los Vergeles	Tamaulipas	Autoabast.	GSEER	Siemens	2010-2011	161	
						717.2	
Proyectos Eólicos en Desarrollo							
Proyecto	Ubicación	Esquema	Desarrollador	Turbinas	FOC	MW	
Vientos del Istmo	Oaxaca	Autoabast.	Preneal	Por Definir	2011-2014	395.9	
Fuerza Eólica del Istmo	Oaxaca	Autoabast.	Peñoles	Clipper	2011-2012	30	
Bii Hixio	Oaxaca	Autoabast.	Unión Fenosa	Por Definir	2011-2014	227.5	
Bii Stinú	Oaxaca	Autoabast.	Eoliatec del Istmo (Eolia)	Por Definir	2011-2013	164	
Santo Domingo	Oaxaca	Autoabast.	Eoliatec del Pacífico (Eolia)	Por Definir	2011-2014	160	
Bii Nee Stipa	Oaxaca	Autoabast.	Cisa-Gamesa	Gamesa	2011-2014	288	
Desarrollo Eólicos Mexicanos	Oaxaca	Autoabast.	Renovalia	Por Definir	2011-2014	227.5	
Unión Fenosa	Baja California	Exportación	Gas Natural/Unión Fenosa	Por Definir	2011-2014	400	
Sempre	Baja California	Exportación	Sempre	Por Definir	2011-2014	1200	
Fuerza Eólica	Baja California	Exportación	Fuerza Eólica	Por Definir	2011-2014	400	
OPF: Obra Pública Financiada						3,492.9	
FOC: Fecha de Operación Comercial						4,728.7	
Total MW							

Figura 5. Proyectos eólicos en México.

Si el aspa carece de vida remanente y no puede ser reutilizada, la siguiente opción es el reciclado del material. Es decir, la pala se convierte en un nuevo producto con un uso funcional distinto, aunque el material pierda valor. Al utilizar principalmente resinas termoestables, los

materiales compuestos resultantes no pueden ser fundidos y es complicado separar la matriz de las fibras de refuerzo (AEE, 2021). Esto supone que la complejidad de los materiales utilizados para la pala requiere de procesos específicos para su reciclaje, como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Métodos de reciclaje de materiales compuestos.

Triturado mecánico

En estas plantas de preprocesamiento, las palas son cortadas y trituradas en trozos de pequeño volumen, con un tamaño final de milímetros. Los metales son posteriormente separados mediante imanes del resto de materiales. El triturado mecánico tiene una gran eficiencia, por lo que suele ser ampliamente utilizado debido a su costo bajo y la escasa energía necesaria, pero disminuye drásticamente el valor del material reciclado. El producto obtenido, principalmente fibra de vidrio, puede ser utilizado de relleno o como refuerzo (Nagle, et al., 2020). Realizando una reducción y separación secundaria, se pueden obtener dos tipos de material de diferente morfología: un concentrado de fibras compuesto principalmente por grupos de fibras cubiertas por polímero; y una fracción heterogénea, compuesta por una mezcla de espuma de poliuretano y partículas finas (AEE, 2021).

Fragmentación por pulsos de alta tensión

La fragmentación del material compuesto por pulsos de alta tensión es un proceso electromecánico que separa con alta eficiencia las matrices de las fibras en los materiales compuestos mediante el uso de electricidad. Como ventaja, comparado con el triturado mecánico, las fibras que se obtienen son de mayor calidad, además de tener una mayor longitud y limpieza. Sin embargo, hasta la fecha sólo se han podido recuperar en el proceso fibras de pequeño tamaño y, para conseguir fibras de alta calidad, se requieren grandes niveles de energía. Se trata de una tecnología que se encuentra todavía en fase de investigación (AEE, 2021).

Pirólisis

La pirolisis es la descomposición térmica de materiales a elevadas temperaturas y atmósferas inertes (ausencia de oxígeno). Se trata de un proceso de reciclaje que ya es usado para otras

aplicaciones, del cual se obtienen como productos combustible y energía para el propio proceso térmico. Al aplicar la pirolisis a las palas eólicas, la matriz polimérica se degrada hasta conseguir una mezcla de hidrocarburos, obteniendo como

producto del proceso las fibras de vidrio. Aunque las temperaturas utilizadas en este proceso son más bajas que en otras tecnologías, siguen siendo lo suficientemente altas para dañar la superficie de las fibras (AEE,2021, Figura 7.



Figura 7. Horno de pirolisis.

Pirólisis por microondas

La pirolisis por microondas es un sistema alternativo a la pirolisis convencional, en la cual el material es calentado por radiación microondas, lo que permite que el calentamiento sea uniforme en toda la pieza. Los polímeros habitualmente tienen una conductividad térmica muy baja, por lo que, al recurrir a microondas, la temperatura utilizada puede ser mucho menor, consiguiendo una menor degradación de las fibras de vidrio.

Por tanto, su ventaja primordial es que permitiría conservar mejor las propiedades mecánicas de las fibras de vidrio que se pierden en el caso de la pirolisis convencional, y reducir la cantidad de energía utilizada. Además, se trata de una tecnología que es más controlable (AEE, 2021).

Lecho fluido

El proceso de reciclaje por lecho fluido se utiliza para quemar la resina matriz del material compuesto y poder tener como producto de la combustión las fibras. Para ello, las palas son trituradas hasta conseguir pellets de pequeño tamaño, que son introducidos en el reactor de lecho fluido, donde se pueden alcanzar temperaturas de hasta 550° C. Entre otras ventajas, este método, comparado con los dos anteriores, permitiría retener mejor las propiedades mecánicas y el valor del material, aunque se sigue produciendo una degradación de las fibras obtenidas. Asimismo, permite tratar materiales mixtos y, por lo tanto, sería especialmente beneficioso para residuos de fin de vida (AEE, 2021).

Solvólisis

La solvólisis es un tratamiento químico por el cual se transforma un compuesto con consumo o generación de energía, basándose en una reacción de sustitución. Es decir, un átomo o compuesto es reemplazado por otro utilizando un disolvente que actúa como nucleófilo, como puede ser el agua, el alcohol o un ácido. En el caso de las palas eólicas, los materiales compuestos pueden ser reciclados a través de este tipo de reacción utilizando el agua como disolvente que, bajo unas condiciones específicas, produce en la resina la despolimerización termoquímica. Este proceso provoca la ruptura de los enlaces de las resinas termoestables, permitiendo la separación de estas resinas de las fibras de vidrio (AEE, 2021).

Con base en el conocimiento establecido sobre el uso de los métodos de reciclaje individuales y sus desarrollos históricos y actuales, así como las condiciones y requisitos para cada método, es posible dar una estimación de los métodos y su tecnología basada en los niveles de maduración tecnológica (TRL) (Paulsen y Enevoldsen, 2021). Combinando la escala TRL con el conocimiento sobre las ubicaciones de los diferentes métodos de reciclaje en la jerarquía europea de residuos y los posibles resultados de materiales residuales, es posible comparar los métodos como se muestra en la Tabla 1 como una descripción general.

Tabla 1. Descripción general de los métodos de reciclaje actuales.

Método de reciclaje	Mecánico	Co-Procesamiento	Pirólisis	Pirólisis por microondas	Lecho fluido	Solvólisis	Fragmentación por pulsos
Nivel de TRL	9	8-9	7	4	4-5	5-6	5
Puntaje de gestión de residuos	Bajo	Medio	Alto	Medio/Alto	Medio/Alto	Alto	Medio
Inversión necesaria prevista	Baja	Baja/Media	Baja/Media	Alta	Media	Alta	Alta

En la Figura 8, se muestra el diagrama comparativo del TRL. La puntuación de gestión de residuos se clasifica en tres grupos, bajo, medio y alto, que se basa en las propiedades de los diversos procesos, salida y TRL, pero en particular, en el valor del material residual. La puntuación

individual es indicativa y varía entre los recicladores de la UE que usan el mismo método de reciclaje debido a los diferentes parámetros de procesamiento, capacidad y rendimiento (Paulsen y Enevoldsen, 2021).

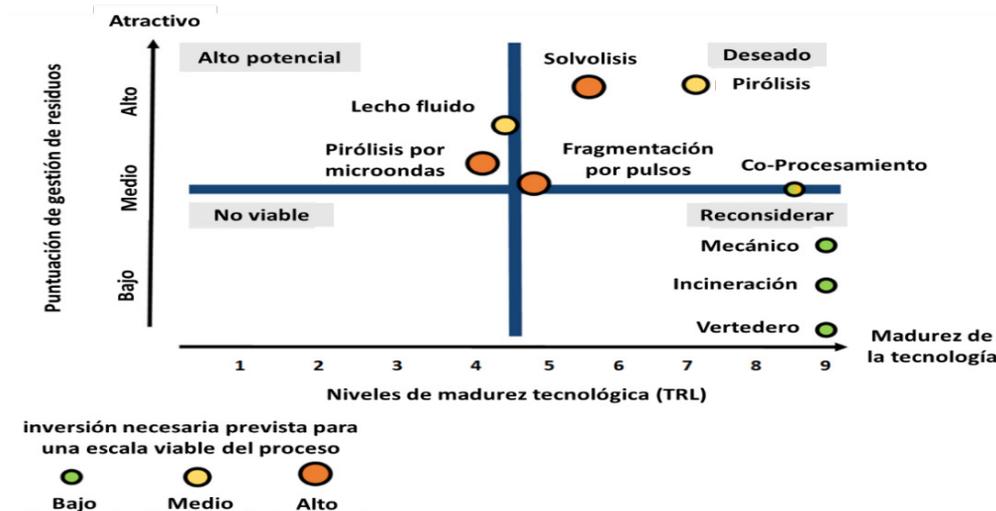


Figura 8. TRL en los diferentes métodos de reciclaje.

De hecho, un estudio de evaluaciones del ciclo de vida reveló que cuando los materiales reciclados reemplazan a los materiales vírgenes en proporciones que brindan una rigidez de material equivalente, la incineración con recuperación de energía (seguida del vertido) generalmente tiene un impacto menor (Oliveux, et al., 2015).

Mientras que cuando los materiales reciclados reemplazan a los materiales vírgenes con proporciones que brindan una rigidez de material equivalente, el reciclaje mostró claros beneficios ambientales (figura 9. Gráfica con el comparativo del impacto ambiental) (Oliveux,

et al., 2015). Un análisis que comparó las emisiones de CO2 relacionadas con componentes automotrices hipotéticos que utilizan materiales vírgenes y materiales reciclados mostró que los componentes que usan materiales reciclados en reemplazo de materiales vírgenes pueden comenzar a ser rentables, gracias al aumento de peso, al recorrer aproximadamente 41,000 km (Oliveux, et al., 2015). Es importante tener en cuenta la vida útil del componente al evaluar el impacto en el medio ambiente y no solo en los procesos de fabricación y reciclaje, Figura 9.

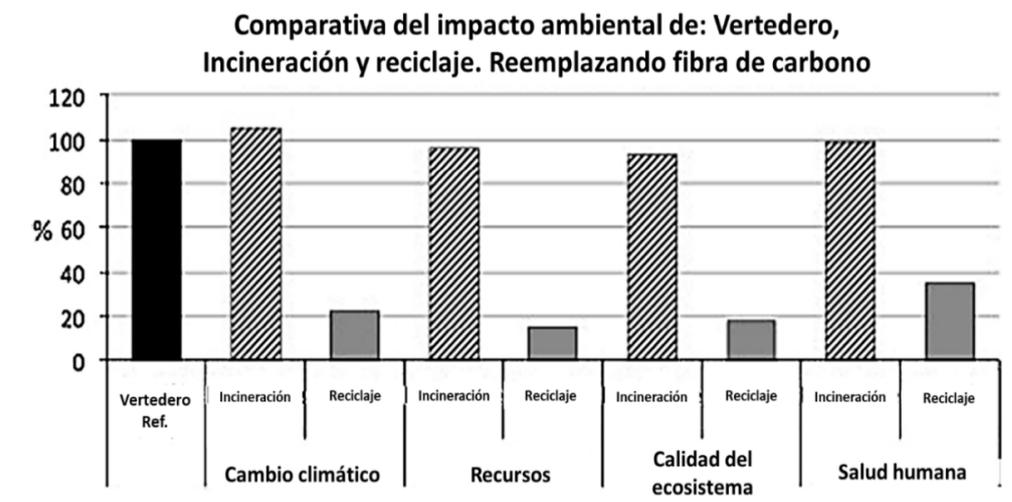


Figura 9. Gráfica con el comparativo de impacto ambiental.

En la Figura 10 a continuación, se muestra una comparación de los diferentes métodos de reciclaje y cuál es su demanda de energía de procesamiento individual. Actualmente, la mayoría de los métodos se basan en el uso del método mecánico como paso inicial para reducir el tamaño de los materiales de desecho a tamaños manejables. El diagrama de la Figura 10 solo muestra la demanda de energía de procesamiento para el método actual, lo que significa que no se agregan operaciones de preprocesamiento u otras que consumen mucha energía. Por lo tanto, la demanda de energía es solo para procesar el método de reciclaje elegido. Con base en la Figura

10, algunos de los métodos de reciclaje indican ser más adecuados para un tipo de material de fibra que para otros. Un ejemplo podría ser el método de reciclaje químico (solvólisis), que tiene una demanda de energía de procesamiento entre 21 y 91 MJ/kg en comparación con la demanda de energía requerida para producir fibra de vidrio virgen (13–32 MJ/kg); lo más probable es que exceda esta demanda, por lo tanto, por lo que no es rentable usarlo para reciclar fibra de vidrio. Esta suposición se basa únicamente en la demanda de energía requerida para el procesamiento de los métodos de reciclaje (Paulsen y P. Enevoldsen, 2021).

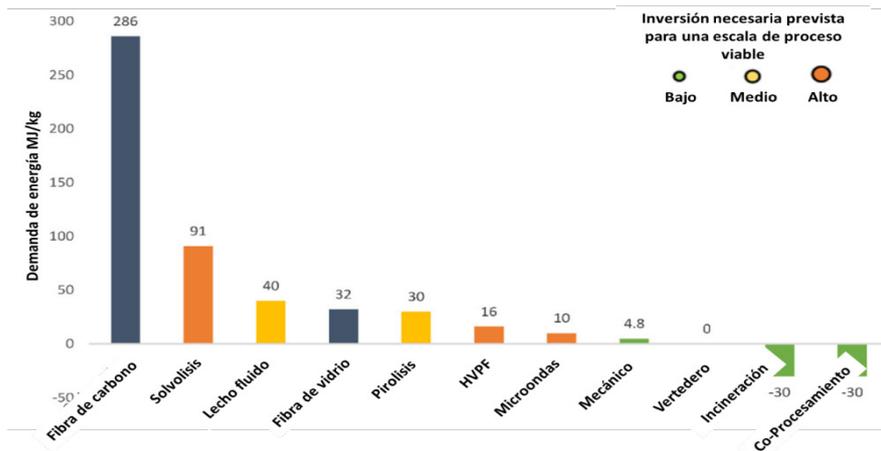


Figura 10. Demanda de energía para los diferentes métodos y para la producción de fibras vírgenes.

En la Figura 11 se muestra la comparación de costos de diferentes métodos de reciclaje en euros por kg en 2018. Las rutas de reciclaje no son rentables en comparación con la incineración y los vertederos. En los métodos de recuperación de fibras, el reciclaje químico es el más costoso y el reciclaje mecánico y la molienda son los menos costosos [9]. Esto hace que el reciclaje químico sea el método más adecuado para recuperar fibras de carbono, donde el costo de las fibras recuperadas es mayor que el costo de procesamiento. Las rutas de reciclado químico y reciclado térmico (pirólisis) se utilizan para recuperar fibras de carbono de

alta calidad. Por el contrario, el reciclaje mecánico puede ser útil para la recuperación de fibras de vidrio. En métodos de no recuperación, o que se van al vertedero los niveles comerciales e industriales reducirán las demandas de energía de estos métodos de reciclaje. La figura 11 muestra que la demanda de energía de reciclaje es entre 10 y 20 veces menor que la energía requerida para producir fibras vírgenes. Un método de reciclaje específico debe proporcionar un compromiso adecuado entre la energía consumida y el costo (Qureshi, 2022).

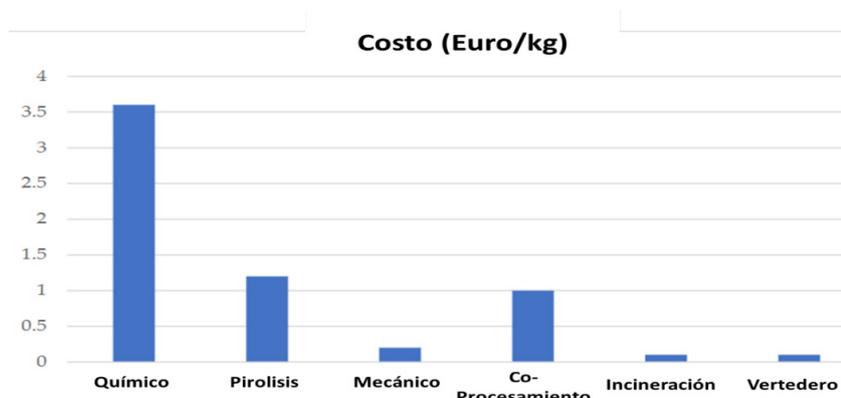


Figura 11. Comparativa de costos en euros por kg de fibras recicladas.

La Tabla 2 demuestra la resistencia a la tracción de una sola fibra descubierta en la literatura. La relación de resistencia entre la fibra reciclada y la original está muy influenciada por parámetros de procesamiento y tipo de material. La fibra de vidrio es más sensible a temperatura de calentamiento y tiempo de residencia en el

reactor. Esta situación explica por qué la fibra de vidrio recuperada tiene una menor retención de la fuerza de la fibra en comparación con la fibra de carbono en reciclado térmico. Para el proceso de pirólisis, la relación es del 17 al 67 % para la fibra de vidrio y del 80 al 96 % para la fibra de carbono (Shyha y Huo, 2021).

Tabla 2. Comparación de resistencia mecánica de la fibra después del proceso de reciclado.

Región	Relación de la resistencia a la tracción de fibra reciclada en comparación con fibra virgen.
Químico	0.47-0.99
Electroquímico	0.80
Lecho fluido	0.54-0.74
Fragmentación por pulsos de alto voltaje	0.88
Mecánico	0.80-0.82
Pirólisis por microondas	0.79
Pirólisis	0.17-0.96

Por su parte, Martínez, et al., (2022) realizaron un estudio del estado del arte de las principales estrategias para tratar los residuos de las palas de turbinas eólicas fabricadas con

materiales compuestos. Dentro de su análisis realizó un resumen de las ventajas y desventajas de los principales métodos de reciclaje los cuales se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de los distintos métodos de reciclaje.

Método de reciclaje	Ventajas	Desventajas
Reciclaje Mecánico	<ul style="list-style-type: none"> Escala industrial Bajo costo de operación Costo de inversión media Bajo consumo de energía No utiliza 	<ul style="list-style-type: none"> Las propiedades mecánicas de la fibra se degradan Se recuperan pequeñas piezas de fibra
Pirólisis	<ul style="list-style-type: none"> Escala industrial Costo de operación medio Costo de inversión bajo Se mantiene las propiedades mecánicas de la fibra No se utilizan solventes químicos Recuperación de energía 	<ul style="list-style-type: none"> Alto consumo energético Liberación de gases peligrosos Fibras contaminadas con carbón y cambios en la estructura química Dificultad para controlar el proceso

Método de reciclaje	Ventajas	Desventajas
Lecho Fluido	Recuperación de fibras limpias Alta tolerancia a la contaminación del material	Escala de laboratorio No se recupera la resina
Pirolisis por microondas	Recuperación de energía Consumo de energía medio Proceso más fácil de controlar que la pirolisis	Escala de laboratorio Costo de inversión elevado
Solvólisis	Consumo de energía medio Calidad muy alta de las fibras obteniendo buenas propiedades mecánicas Recuperación limpia de fibras Método muy ecológico	Escala de laboratorio Costo de operación alto Costo de inversión alto Baja tolerancia a la contaminación del material Alto impacto ambiental por los residuos de los solventes que se utilizan
Fragmentación por pulsos de alto voltaje	Alto potencial para la escala industrial Mantiene muy bien las propiedades mecánicas de la fibra	Escala de laboratorio Se recuperan pequeños pedazos de fibra Alta disminución de módulos de fibra de vidrio

A partir del análisis de los métodos de reciclaje de aspas de aerogeneradores y considerando sus ventajas y desventajas, se pueden sugerir varias estrategias sostenibles que fomenten una gestión adecuada de estos residuos; como por ejemplo la implementación de un sistema de reciclaje integrado que combine el reciclaje mecánico para la recuperación inicial y la pirolisis para la recuperación de la energía, esto permitiría aprovechar las ventajas de cada método y mitigar sus desventajas.

De igual forma, se pueden promover políticas que incentiven la reutilización y el reciclaje que provienen de las aspas, alineándose así al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 12 sobre producción y consumo sostenibles. De igual forma, implementar programas educativos en las comunidades

sobre la importancia y gestión adecuada de los residuos. También, se deben establecer alianzas con empresas que se especialicen en tecnologías avanzadas de reciclaje como la solvolisis o la fragmentación por pulsos de alto voltaje, que garantiza un manejo adecuado y eficientes de los desechos generados por las aspas. Otra estrategia puede ser el ofrecer incentivos fiscales o subsidios a las empresas que implementen prácticas sostenibles o del manejo de residuos.

CONCLUSIÓN

El estudio sobre el análisis de los métodos de reciclaje de las aspas de aerogeneradores en México ha traído consigo importantes conclusiones que destacan tanto los desafíos como las oportunidades en este campo. A medida que la energía eólica crece como una

fuerza clave de energía renovable, la gestión adecuada de los residuos generados por las palas que, al final de su vida útil se convierte en un aspecto verdaderamente crítico para asegurar la sostenibilidad del sector.

Una vez realizada la revisión del estado del arte de los principales métodos de reciclaje para materiales compuestos se concluyó que los métodos térmicos tienen un gran impacto ambiental por las emisiones generadas en sus procesos, por su alto gasto energético y se encuentra en un nivel de TRL mayor a 7. Por otra parte, el reciclaje químico tiene buen potencial de desarrollo y que se encuentran en niveles de TRL inferiores al 5 con gran potencial de desarrollo ya que están en prueba a nivel laboratorio y se necesita una especialización en materia de química para realizar los procesos de separación de componentes.

Sin embargo, por los costos competitivos es necesario explorar los métodos físicos de los cuales son: trituración mecánica, para favorecer el transporte a bajo costo y su manejo en sitios especializados cercanos al centro de uso de los productos de fibra de vidrio. Los dos primeros métodos tienen un nivel de maduración tecnológica mayor a 9 el cual nos dice que ya tiene un desarrollo tecnológico alto y que actualmente la tecnología se encuentra en el mercado. Por otro lado, la fragmentación por pulsos de alto voltaje se encuentra en un nivel de maduración tecnológica de 5 y en comparativa con los otros dos métodos mecánicos las propiedades de la fibra recuperada se ven mermadas considerablemente. En cambio,

si se recupera por medio de fragmentación por pulsos de alto voltaje esta fibra comparada con la fibra virgen mantiene un 88% de sus propiedades como se menciona en la tabla 3. Con esto se podría evaluar si esta fibra se podría reutilizar para aplicaciones eólicas de baja escala donde se necesitan materiales con buenas propiedades estructurales.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE). (2022). "El potencial eólico mexicano". <https://amdee.org/Publicaciones/AMDEE-PwC-El-potencial-eolico-mexicano.pdf>
- Asociación Empresarial Eólica AEE. (2021). "Economía circular en el sector eólico palas de aerogeneradores". https://aeeolica.org/wp-content/uploads/2021/12/AEE-2021-Economia-Circular-en-el-sector-eolico_Palade-los-Aerogeneradores.pdf
- Fernández, S. (2022). "Residuos de compósitos". <https://elperiodicodelaenergia.com/reciclaje-de-palas-uno-de-los-grandes-retos-a-los-que-se-enfrenta-el-sector-eolico/>
- Jiménez D., y Valdes K. (2022). "Planificación para la reutilización y reciclaje de las palas de aerogeneradores de fibra de vidrio y carbono", Periodicidad: Semestral. 18 (2).
- Martinez-Marquez D., Florin N., Hall W., Majewski P., Wang H., y Stewart R. A. (2022). "State-of-the-art review of product stewardship strategies for large composite wind turbine blades", Resources, Conservation and Recycling Advances. 15 (1). <https://10.1016/j.rcradv.2022.200109>.
- Nagle A. J., Delaney E. L., Bank L. C., y Leahy P. G. (2020). "A Comparative Life Cycle Assessment between landfilling and Co-Processing of

- waste from decommissioned Irish wind turbine blades”, *J Clean Prod.* 277(1). <https://10.1016/j.jclepro.2020.123321>
- Oliveux G., Dandy L. O., y Leeke G. A. (2015). “Current status of recycling of fibre reinforced polymers: Review of technologies, reuse and resulting properties”. 72 (1): 61-99. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.01.004>
- Paulsen E. B., y Enevoldsen P. (2021). “A multidisciplinary review of recycling methods for end-of-life wind turbine blades”, *Energies (Basel)*. 14(14): 4247. <https://doi.org/10.3390/en14144247>
- Qureshi J. A. (2022). Review of Recycling Methods for Fibre Reinforced Polymer Composites”. 14(24), 16855; <https://doi.org/10.3390/su142416855>
- Robbertsen, W. (2021). Reciclaje Eólico. *Induambiente*. Recuperado de <https://www.induambiente.com/especial/energia/reciclaje-eolico>
- Shyha I. y Huo D. (2021). “Engineering Materials Advances in Machining of Composite Materials Conventional and Non-conventional Processes”, Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-71438-3>
- Vergara-Quezada, A., Pozos-Texon, F. J., Pinilla-Rodríguez, J. A., Gasca-Caballero, C. J., y Reyes-Olán, C. (2020). Exploración de tecnologías para el reciclaje de palas de aerogeneradores. *Ingeniantes*, 11(1), 2-44. https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes11no1vol2/Final%20ingeniantes%201112%20CIME_%20Exploracion%20de%20tecnologias%20para%20el%20reciclaja%20de%20palas.pdf
- Vestas, “VESTASV27-225 kW, 50Hz WINDTURBINE”, 2003.

Currículo de Autores

Alexander Joseph Salazar Rojas

Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad César Vallejo Perú.

Carlos Peliza

Ingeniero en Electrónica, Universidad Nacional de La Matanza. Magister en Telecomunicaciones en el Instituto Tecnológico Buenos Aires. Docente investigador en Redes de Comunicaciones dentro del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas (DIIT), Argentina.

Cristhian Jesús Calle López

Ingeniero Sanitario, Universidad César Vallejo Perú.

Erick Marty Terrazas Zeballos

Ingeniero de Sistemas, Universidad Adventista de Bolivia. Desarrollador web Full Stack en Webgru. Programador Php Webgru. Administrador de base de datos Cop. Nuevo amanecer. Auxiliar de Programación orientada a objetos. Desarrollador Web UAB. Participación en la feria de Investigación de la UAB, Bolivia.

Guillermo Muñoz Hernández

Doctorado en Ciencia y Tecnología. Maestría en Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato. Licenciatura en Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Experiencia Laboral en Centros Públicos de Investigación y Desarrollo tecnológico, principalmente equipo de extrusión y tecnología eólica, México.

Currículo de Autores

José Luis Colín Martínez

Ingeniero Mecánico, Instituto tecnológico de Querétaro. Especialidad en diseño y manufactura. Maestro en Manufactura Avanzada por el posgrado de CIATEQ. Investigador en CIATEQ; ingeniero especializado de la gerencia de energías en donde he participado en diversos proyectos de desarrollo tecnológico principalmente en la temática de energía eólica, México.

Victor López Garza

Doctor en Manufactura por parte del CIATEQ. Experiencia laboral en el desarrollo de software y manufactura. Profesor e investigador, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Publicación de diversos artículos científicos y de divulgación en revistas nacionales e Internacionales. Línea de investigación: el diseño mecánico y de software la simulación, México.



ISSN: 2664 - 8245

ISSN L: 2664 - 8245

VOLUMEN 8 NÚMERO 22
SEPTIEMBRE - DICIEMBRE 2024



CET-BOLIVIA®