

EDITORIAL

INVESTIGACIÓN

Teledetección aplicada al mapeo geomorfológico de los volcanes de la cuenca alta del río Chaschuil, provincia de Catamarca, Argentina

Remote sensing applied to the geomorphological mapping of the volcanoes of the upper Chaschuil river basin in the province of Catamarca, Argentina

MALVINA SERRA, CARLOS GABRIEL HERRERA, ADRIANA EDIHT NIZ

Técnicas de ultrasonido para la caracterización de vidrios volcánicos

Ultrasonic techniques applied to the characterization of volcanic glass

DIEGO ALEJANDRO COWES, MARÍA LAURA SALGÁN, JUAN IGNACIO MIEZA, MARTÍN PEDRO GÓMEZ

Uso de materiales reciclados en compuestos cementicios

Using recycled materials in cementitious composites

HERNÁN XARGAY, MARIANELA RIPANI, ANTONIO CAGGIANO, PAULA FOLINO, ENZO MARTINELLI

10 ESTUDIO DE CASO  
Darcy-Weisbach resistance coefficient determination using Newton-Raphson approach for android 4.0 52

Determinación del coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach mediante la utilización del método de aproximación Newton-Raphson para aplicaciones Android 4.0

EDGAR ORLANDO LADINO MORENO, CÉSAR AUGUSTO GARCÍA UBAQUE, MARÍA CAMILA GARCÍA VACA

13 Desempeño de un material granular estabilizado con cemento cuando se aplica carga a compresión 59

Performance of a granular material stabilized with cement when compressive loading is applied

EDGAR HUMBERTO SÁNCHEZ COTTE, GLEIDYS MARÍA TORRES CHUECO, RODRIGO ELÍAS ESQUIVEL RAMÍREZ

72 Instrucciones para los autores 80

Instructions for authors

Tecnura

Revista Tecnura • Volumen 23 – Número 60 • Abril – Junio de 2019  
p-ISSN: 0123-921X • e-ISSN: 2248-7638 • Bogotá D.C. Colombia

# Tecnura

Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento

p-ISSN: 0123-921X  
Volumen 23 - Número 60  
Abril – Junio de 2019

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad Tecnológica

Teledetección aplicada al mapeo geomorfológico de los volcanes de la cuenca alta del río Chaschuil, provincia de Catamarca, Argentina

Técnicas de ultrasonido para la caracterización de vidrios volcánicos

Desempeño de un material granular estabilizado con cemento cuando se aplica carga a compresión



Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad Tecnológica



# **Tecnura**

Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad Tecnológica

Volumen 23 - Número 60  
Abril – Junio de 2019

p-ISSN: 0123-921X  
e-ISSN: 2248-7638



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

**Revista *TECNURA***  
**Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento**  
**Universidad Distrital Francisco José de Caldas**  
**Facultad Tecnológica**

p-ISSN: 0123-921X - e-ISSN: 2248-7638

**EDITOR**

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

**COMITÉ EDITORIAL**

Ph.D. Ing. José Antonio Velásquez Costa  
Universidad Ricardo Palma, Perú

Ph.D. Ing. Johan José Sánchez Mora  
Universidad Simón Bolívar, Venezuela

Ph.D. Ing. Mario Ricardo Arbulu Saavedra  
Universidad de La Sabana, Colombia

Ph.D. Ing. Edgar Francisco Vargas  
Universidad de Los Andes, Colombia

Ph.D. Ing. Ingrid Patricia Páez Parra  
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. César Augusto Hernández Suárez  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Diego Luis González  
Consiglio Nazionale delle Ricerche. Italia

Ph.D. Julyan Cartwright  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España

Ph.D. Oreste Piro  
Universidad de les Illes Balears. España

**COMITÉ CIENTÍFICO**

Ph.D. Ing. Enrique Rodríguez de la Colina  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Alfonso Prieto Guerrero  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Fernando Martirena  
Universidad Central de Las Villas, Cuba

Ph.D. Ing. Juan Antonio Conesa  
Universidad de Alicante, España

Ph.D. Ing. Steven M. LaValle  
University of Illinois, Estados Unidos

Ph.D. Ing. Manuel Karim Sapag  
Universidad Nacional de San Luis, Argentina

Ph.D. Ing. Jorge Mario Gómez  
Universidad de Los Andes, Colombia

Ph.D. Martín Pedro Gómez  
Comisión Nacional de Energía Atómica. Argentina

**EVALUADORES**

PhD. Adalgisa Scotti  
Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

PhD. Carlos Enrique Montenegro Marín  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas,  
Colombia

PhD. Dino Filipussi  
Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

PhD. Ignacio Mieza  
Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

PhD. Mariano Augusto  
Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

PhD. Miriam Neyra  
Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

MEng. Guido Ferrari  
Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

MEng. Luis Lenzano  
Universidad Nacional de Cuyo, Argentina

**ASISTENTES DE LA REVISTA TECNURA**

MEng. Diego Armando Giral Ramírez

**COORDINACIÓN EDITORIAL**

Fernando Piraquive  
Centro de investigaciones y desarrollo tecnológico-CIDC  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

# Tecnura

Volumen 23 - Número 60

Abril – Junio de 2019

## REVISTA *TECNURA*

La revista *Tecnura* es una publicación institucional de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de carácter científico-tecnológico, arbitrada mediante un proceso de revisión entre pares de doble ciego. La periodicidad de la conformación de sus comités Científico y Editorial está sujeta a la publicación de artículos en revistas indexadas internacionalmente por parte de sus respectivos miembros.

## PERIODICIDAD

Es una publicación de carácter científico-tecnológico con periodicidad trimestral, que se publica los meses de enero, abril, julio y octubre. Su primer número apareció en el segundo semestre del año 1997 y hasta la fecha ha mantenido su regularidad.

## COBERTURA TEMÁTICA

Las áreas temáticas de interés de la revista *Tecnura* están enfocadas a todos los campos de la ingeniería, como la electrónica, telecomunicaciones, electricidad, sistemas, industrial, mecánica, catastral, civil, ambiental, entre otras. Sin embargo, no se restringe únicamente a estas, también tienen cabida los temas de educación y salud, siempre y cuando estén relacionados con la ingeniería. La revista publicará únicamente artículos de investigación científica y tecnológica, de reflexión y de revisión.

## MISIÓN

La revista *Tecnura* tiene como misión divulgar resultados de proyectos de investigación realizados en el área de la ingeniería, a través de la publicación de artículos originales e inéditos, realizados por académicos y profesionales pertenecientes a instituciones nacionales o extranjeras del orden público o privado.

## PÚBLICO OBJETIVO

La revista *Tecnura* está dirigida a docentes, investigadores, estudiantes y profesionales interesados en la actualización permanente de sus conocimientos y el seguimiento de los procesos de investigación científico-tecnológica, en el campo de la ingeniería.

## INDEXACIÓN

*Tecnura* es una publicación de carácter académico indexada en los índices regionales Scielo Colombia (Colombia) y Redalyc (México); además de las siguientes bases bibliográficas: INSPEC del Institution of Engineering and Technology (Inglaterra), Fuente Académica Premier de EBSCO (Estados Unidos), CABI (Inglaterra), IndexCopernicus (Polonia), Informe Académico de Gale Cengage Learning (México), Periódica de la Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (España) y Dialnet de la Universidad de la Rioja (España); también hace parte de los siguientes directorios: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Latindex (México); Índice Bibliográfico Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (España), DOAJ (Suecia), Ulrich de Proquest (Estados Unidos).

## FORMA DE ADQUISICIÓN

La revista *Tecnura* se puede adquirir a través de compra, canje o suscripción.

## SUSCRIPCIÓN

El precio unitario de la revista es de 10000 pesos (el precio no incluye el valor del envío). La suscripción anual tiene un costo de 45000 pesos para Colombia, 40 USD para América Latina y el Caribe, 60 USD para otras regiones (el precio incluye el valor del envío). Para suscribirse utilice el formato ubicado al final de la revista.

## REPRODUCCIÓN

Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos de esta revista para uso académico o interno de las instituciones citando la fuente y el autor. Las ideas expresadas se publican bajo la exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento del Comité Editorial de la revista.

## DIRECCIÓN POSTAL

Enviar a Ing. Cesar Augusto García Ubaque,  
Ph.D. Director y Editor Revista *Tecnura*  
Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305.  
Facultad Tecnológica  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Transversal 70B No. 73A–35 sur  
Teléfono: 571–3238400, extensión: 5003  
Celular: 57–3153614852  
Bogotá, D.C., Colombia  
Correo electrónico:  
[tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)  
Tecnura en internet:  
<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

## DISEÑO ORIGINAL

Julián Hernández–Taller de Diseño

## CORRECCIÓN DE ESTILO PARA ESPAÑOL

Fernando Carretero Padilla

## CORRECCIÓN DE ESTILO PARA INGLES

Laura Ximena García

## DIAGRAMACIÓN Y DISEÑO DE CUBIERTA

Julián Hernández–Taller de Diseño  
[director@julianhernandez.co](mailto:director@julianhernandez.co)



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

**Tecnura**  
**Technology And Culture, Affirming Knowledge**  
**District University Francisco José De Caldas**  
**Faculty Of Technology**

p-ISSN: 0123-921X - e-ISSN: 2248-7638

**EDITOR**

Ph.D. Ing. Cesar Augusto García Ubaque  
District Francisco José de Caldas University. Colombia

**EDITORIAL COMMITTEE**

Ph.D. Ing. José Antonio Velásquez Costa  
Universidad Ricardo Palma, Perú

Ph.D. Ing. Johan José Sánchez Mora  
Universidad Simón Bolívar, Venezuela

Ph.D. Ing. Mario Ricardo Arbulu Saavedra  
Universidad de La Sabana, Colombia

Ph.D. Ing. Edgar Francisco Vargas  
Universidad de Los Andes, Colombia

Ph.D. Ing. Ingrid Patricia Páez Parra  
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. César Augusto Hernández Suárez  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Diego Luis González  
Consiglio Nazionale delle Ricerche. Italia

Ph.D. Julyan Cartwright  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España

Ph.D. Oreste Piro  
Universidad de les Illes Balears. España

**SCIENTIFIC COMMITTEE**

Ph.D. Ing. Enrique Rodríguez de la Colina Universidad  
Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Alfonso Prieto Guerrero  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Fernando Martirena  
Universidad Central de Las Villas, Cuba

Ph.D. Ing. Juan Antonio Conesa  
Universidad de Alicante, España

Ph.D. Ing. Steven M. LaValle  
University of Illinois, Estados Unidos

Ph.D. Ing. Manuel Karim Sapag  
Universidad Nacional de San Luis, Argentina

Ph.D. Ing. Jorge Mario Gómez  
Universidad de Los Andes, Colombia

Ph.D. Martín Pedro Gómez  
Comisión Nacional de Energía Atómica. Argentina

**EVALUATORS**

PhD. Adalgisa Scotti  
Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

PhD. Carlos Enrique Montenegro Marín  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas,  
Colombia

PhD. Dino Filipussi  
Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

PhD. Ignacio Mieza  
Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

PhD. Mariano Augusto  
Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

PhD. Miriam Neyra  
Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

MEng. Guido Ferrari  
Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

MEng. Luis Lenzano  
Universidad Nacional de Cuyo, Argentina

**TECNURA JOURNAL ASSISTANTS**

MEng. Diego Armando Giral Ramírez

**EDITORIAL COORDINATION**

Fernando Piraquive  
Centro de investigaciones y desarrollo tecnológico - CIDC  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

# Tecnura

Vol 23 No. 60  
June - April 2019

## TECNURA JOURNAL

Tecnura Journal is an institutional scientific-technological publication from the Faculty of Technology at District University Francisco José de Caldas, arbitrated by means of a double-blinded peer review process. The periodicity for its Scientific and Editorial committees line-up is subject to the publication of articles in internationally indexed magazines by its own members.

## PERIODICITY

Tecnura journal is a scientific-technological publication with quarterly periodicity, published in January, April, July and October. Its first edition appeared in the second term, 1997 and its editions have normally continued from that year and on.

## THEMATIC COVERAGE

The thematic areas of interest at Tecnura journal are focused on all fields of engineering such as electronical, telecommunications, electrical, computer, industrial, mechanical, cadastral, civil, environmental, etc. However, it is not restricted to those, there is also room for education and health topics as well, as long as they are related to engineering. The journal will only publish scientific and technological research, reflection and review articles.

## MISSION

Tecnura journal is aimed at publishing research project results carried out in the field of engineering, through the publishing of original and unpublished articles written by academics and professionals from national or international public or private institutions.

## TARGET AUDIENCE

Tecnura journal is directed to professors, researchers, students and professionals interested in permanent update of their knowledge and the monitoring of the scientific-technological research processes in the field of engineering.

## INDEXING

Tecnura is an academic publication indexed in the Regional Index Scielo Colombia (Colombia) and Redalyc (México); as well as the following bibliographic databases: INSPEC of the Institution of Engineering and Technology (England), Fuente Académica Premier of EBSCO (United States), CABI (England), Index Copernicus (Poland), Informe Académico of Gale Cengage Learning (México), Periódica of the Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (Spain) and Dialnet of the Universidad de la Rioja (Spain); it is also part of the following directories: Online Regional Information System for Scientific journals from Latin America, Caribbean, Spain and Portugal Latindex (México), bibliographic index Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (Spain), DOAJ (Sweden), Ulrich of Proquest (United States).

## FORM OF ACQUISITION

Tecnura journal is available through purchase, exchange or subscription.

## SIGN UP

The unit price of the journal is 6 USD (the price does not include shipping). The annual sign up is 28 USD for Colombia; 40 USD in Latin America and the Caribbean; 60 USD in other regions (the price includes shipping). To sign up, use the format located at the end of the journal.

## REPRODUCTION

The total or partial reproduction of the articles of this journal is authorized for academic or internal purpose of the institutions citing the source and the author. Ideas expressed are published under exclusive responsibility of the authors and they do not necessarily reflect the thought of the editorial committee of the journal.

## POSTAL ADDRESS

Send to Engr. Cesar Augusto García Ubaque, Ph.D. Director and Editor Revista Tecnura  
Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305.  
Faculty of Technology  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Transversal 70B No. 73A - 35 sur  
Telephone Number: 571 - 3238400, extension: 5003  
Cell phone Number: 57 - 3153614852  
Bogotá D.C., Colombia  
E-mail:  
[tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)  
Tecnura on internet: <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

## ORIGINAL DESIGN

Julián Hernández - Taller de Diseño  
[director@julianhernandez.co](mailto:director@julianhernandez.co)

## STYLE CORRECTION IN SPANISH

Fernando Carretero Padilla

## STYLE CORRECTION IN ENGLISH

Laura Ximena García

## LAYOUT AND TITLE PAGE DESIGN

Julián Hernández - Taller de Diseño

## DECLARACIÓN DE ÉTICA Y BUENAS PRÁCTICAS

El comité editorial de la revista *Tecnura* está comprometido con altos estándares de ética y buenas prácticas en la difusión y transferencia del conocimiento, para garantizar el rigor y la calidad científica. Es por ello que ha adoptado como referencia el Código de Conducta que, para editores de revistas científicas, ha establecido el Comité de Ética de Publicaciones (COPE: Committee on Publication Ethics) dentro de los cuales se destaca:

### Obligaciones y responsabilidades generales del equipo editorial

En su calidad de máximos responsables de la revista, el comité y el equipo editorial de *Tecnura* se comprometen a:

- Aunar esfuerzos para satisfacer las necesidades de los lectores y autores.
- Propender por el mejoramiento continuo de la revista.
- Asegurar la calidad del material que se publica.
- Velar por la libertad de expresión.
- Mantener la integridad académica de su contenido.
- Impedir que intereses comerciales comprometan los criterios intelectuales.
- Publicar correcciones, aclaraciones, retractaciones y disculpas cuando sea necesario.

### Relaciones con los lectores

Los lectores estarán informados acerca de quién ha financiado la investigación y sobre su papel en la investigación.

### Relaciones con los autores

*Tecnura* se compromete a asegurar la calidad del material que publica, informando sobre los objetivos y normas de la revista. Las decisiones de los editores para aceptar o rechazar un documento para su publicación se basan únicamente en la relevancia del trabajo, su originalidad y la pertinencia del estudio con relación a la línea editorial de la revista.

La revista incluye una descripción de los procesos seguidos en la evaluación por pares de cada trabajo recibido. Cuenta con una guía de autores en la que se presenta esta información. Dicha guía se actualiza regularmente y contiene un vínculo a la presente declaración ética. Se reconoce el derecho de los autores a apelar las decisiones editoriales. Los editores no modificarán su decisión en la aceptación de envíos, a menos que se detecten irregularidades o situaciones extraordinarias. Cualquier cambio en los miembros del equipo editorial no afectará las decisiones ya tomadas, salvo casos excepcionales en los que confluían graves circunstancias.

### Relaciones con los evaluadores

*Tecnura* pone a disposición de los evaluadores una guía acerca de lo que se espera de ellos. La identidad de los evaluadores se encuentra en todo momento protegida, garantizando su anonimato.

### Proceso de evaluación por pares

*Tecnura* garantiza que el material remitido para su publicación será considerado como materia reservada y confidencial mientras que se evalúa (doble ciego).

### Reclamaciones

*Tecnura* se compromete responder con rapidez a las quejas recibidas y a velar para que los demandantes insatisfechos puedan tramitar todas sus quejas. En cualquier caso, si los interesados no consiguen satisfacer sus

reclamaciones, se considera que están en su derecho de elevar sus protestas a otras instancias.

### Fomento de la integridad académica

*Tecnura* asegura que el material que publica se ajusta a las normas éticas internacionalmente aceptadas.

### Protección de datos individuales

*Tecnura* garantiza la confidencialidad de la información individual (por ejemplo, de los profesores y/o alumnos participantes como colaboradores o sujetos de estudio en las investigaciones presentadas).

### Seguimiento de malas prácticas

*Tecnura* asume su obligación para actuar en consecuencia en caso de sospecha de malas prácticas o conductas inadecuadas. Esta obligación se extiende tanto a los documentos publicados como a los no publicados. Los editores no sólo rechazarán los manuscritos que planteen dudas sobre una posible mala conducta, sino que se consideran éticamente obligados a denunciar los supuestos casos de mala conducta. Desde la revista se realizarán todos los esfuerzos razonables para asegurar que los trabajos sometidos a evaluación sean rigurosos y éticamente adecuados.

### Integridad y rigor académico

Cada vez que se tenga constancia de que algún trabajo publicado contiene inexactitudes importantes, declaraciones engañosas o distorsionadas, debe ser corregido de forma inmediata.

En caso de detectarse algún trabajo cuyo contenido sea fraudulento, será retirado tan pronto como se conozca, informando inmediatamente tanto a los lectores como a los sistemas de indexación.

Se consideran prácticas inadmisibles, y como tal se denunciarán las siguientes: el envío simultáneo de un mismo trabajo a varias revistas, la publicación duplicada o con cambios irrelevantes o parafraseo del mismo trabajo, o la fragmentación artificial de un trabajo en varios artículos.

### Relaciones con los propietarios y editores de revistas

La relación entre editores, editoriales y propietarios estará sujeta al principio de independencia editorial. *Tecnura* garantizará siempre que los artículos se publiquen con base en su calidad e idoneidad para los lectores, y no con vistas a un beneficio económico o político. En este sentido, el hecho de que la revista no se rija por intereses económicos, y defienda el ideal de libre acceso al conocimiento universal y gratuito, facilita dicha independencia.

### Conflicto de intereses

*Tecnura* establecerá los mecanismos necesarios para evitar o resolver los posibles conflictos de intereses entre autores, evaluadores y/o el propio equipo editorial.

### Quejas/denuncias

Cualquier autor, lector, evaluador o editor puede remitir sus quejas a los organismos competentes.

## CODE OF ETHICS AND GOOD PRACTICE

The editorial board of *Tecnura* journal is committed to ethics high standards and good practice for knowledge dissemination and transfer, in order to ensure rigour and scientific quality. That is why it has taken as reference the Code of Conduct, which has been established by the Committee on Publication Ethics (COPE) for scientific journal editors; outlining the following:

### General duties and responsibilities of the editorial board

As most responsible for the journal, *Tecnura* committee and the editorial board are committed to:

- Joining efforts to meet the readers and authors' needs.
- Tending to the continuous improvement of the Journal.
- Ensuring quality of published material.
- Ensuring freedom of expression.
- Maintaining the academic integrity of their content.
- Prevent commercial interests compromise intellectual standards.
- Post corrections, clarifications, retractions and apologies when necessary.
- Relations with readers
- Readers will be informed about who has funded research and their role in the research.

### Relations with authors

*Tecnura* is committed to ensuring the quality of published material, informing the goals and standards of the journal. The decisions of publishers to accept or reject a paper for publication are based solely on the relevance of the work, originality and pertinence of the study with journal editorial line.

The journal includes a description of the process for peer evaluation of each received work, and has an authors guide with this information. The guide is regularly updated and contains a link to this code of ethics. The journal recognizes the right of authors to appeal editorial decisions. Publishers will not change their decision in accepting or rejecting articles, unless extraordinary circumstances or irregularities are detected. Any change in the editorial board members will not affect decisions already made, except for unusual cases where serious circumstances converge.

### Relations with evaluators

*Tecnura* makes available to reviewers a guide to what is expected from them. Reviewers' identity is protected at all times, ensuring anonymity.

### Peer review process

*Tecnura* ensures that material submitted for publication will be considered private and confidential issue while being reviewed (double blind).

### Claims

*Tecnura* is committed to respond quickly to complaints and ensure that dissatisfied claimant can process all

complaints. In any case, if applicants fail to satisfy their claims, the journal considers that they have the right to raise their protests to other instances.

### Promoting Academic Integrity

*Tecnura* ensures that the published material conforms to internationally accepted ethical standards.

### Protection of individual data

*Tecnura* guarantees the confidentiality of individual information (e.g. participant teachers and/or students as collaborators or subjects of study in the presented research).

### Tracking malpractice

*Tecnura* accepts the obligation to act accordingly in case of suspected malpractice or misconduct. This obligation extends both to publish and unpublished documents. The editors not only reject manuscripts with doubts about possible misconduct, but they are considered ethically obligated to report suspected cases of misconduct. From the journal every reasonable effort is made to ensure that works submitted for evaluation are rigorous and ethically appropriate.

### Integrity and academic rigour

Whenever evidence that a published work contains significant misstatements, misleading or distorted statements, it must be corrected immediately.

In case of any work with fraudulent content is detected, it will be removed as soon as it is known, and immediately informing both readers and indexing systems.

Practices that are considered unacceptable and as such will be reported: simultaneous sending of the same work to various journals, duplicate publication with irrelevant changes or paraphrase of the same work, or the artificial fragmentation of a work in several articles.

### Relations with owners and journal editors

The relation between editors, publishers and owners will be subject to the principle of editorial independence. *Tecnura* will ensure that articles are published based on their quality and suitability for readers, and not for an economic or political gain. In this sense, the fact that the journal is not governed by economic interests, and defends the ideal of universal and free access to knowledge, provides that independence.

### Conflict of interest

*Tecnura* will establish the necessary mechanisms to avoid or resolve potential conflicts of interest between authors, reviewers and/or the editorial board itself.

### Complaints / allegations

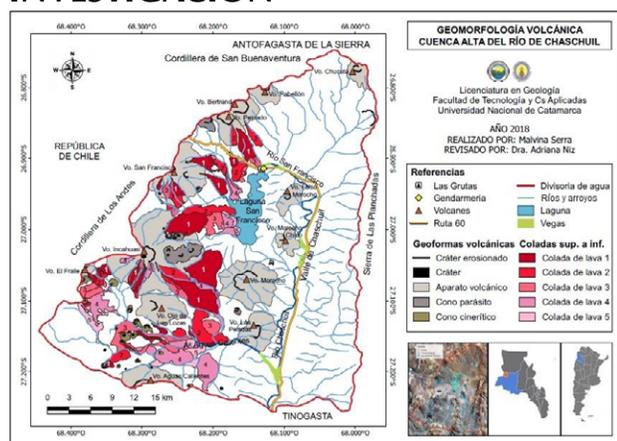
Any author, reader, reviewer or editor may refer their complaints to the competent authorities.

# Contenido

EDITORIAL

10

## INVESTIGACIÓN

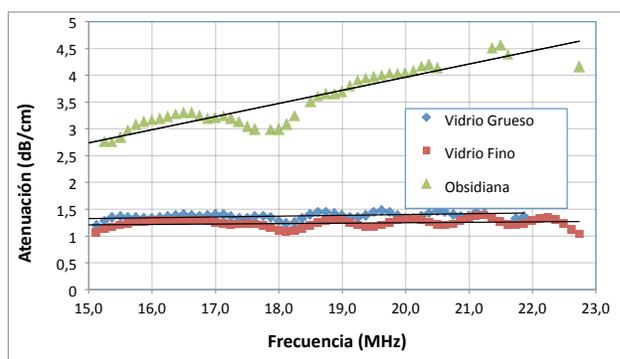


### Teledetección aplicada al mapeo geomorfológico de los volcanes de la cuenca alta del río Chaschuil, provincia de Catamarca, Argentina

13

Remote sensing applied to the geomorphological mapping of the volcanoes of the upper Chaschuil river basin in the province of Catamarca, Argentina

MALVINA SERRA, CARLOS GABRIEL HERRERA, ADRIANA EDIHT NIZ

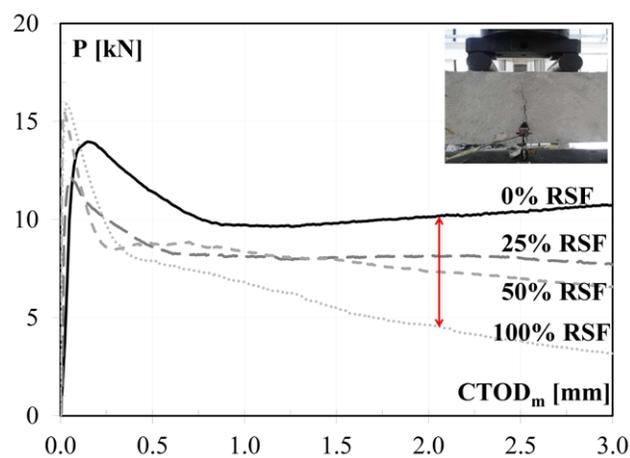


### Técnicas de ultrasonido para la caracterización de vidrios volcánicos

27

Ultrasonic techniques applied to the characterization of volcanic glass

DIEGO ALEJANDRO COWES, MARÍA LAURA SALGÁN, JUAN IGNACIO MIEZA, MARTÍN PEDRO GÓMEZ



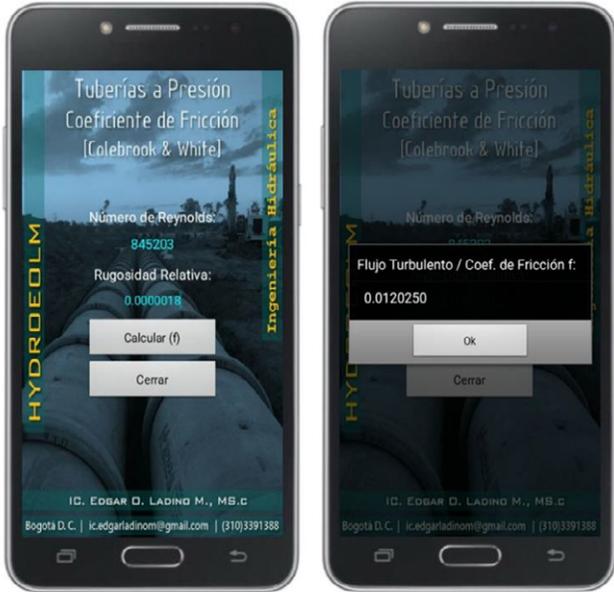
### Uso de materiales reciclados en compuestos cementicios

38

Using recycled materials in cementitious composites

HERNÁN XARGAY, MARIANELA RIPANI, ANTONIO CAGGIANO, PAULA FOLINO, ENZO MARTINELLI

**ESTUDIO DE CASO**



**Desempeño de un material granular estabilizado con cemento cuando se aplica carga a compresión** 59  
 Performance of a granular material stabilized with cement when compressive loading is applied

EDGAR HUMBERTO SÁNCHEZ COTTE, GLEIDYS MARÍA TORRES CHUECO, RODRIGO ELÍAS ESQUIVEL RAMÍREZ

**Darcy-Weisbach resistance coefficient determination using Newton-Raphson approach for android 4.0** 52

Determinación del coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach mediante la utilización del método de aproximación Newton-Raphson para aplicaciones Android 4.0

EDGAR ORLANDO LADINO MORENO, CÉSAR AUGUSTO GARCÍA UBAQUE, MARÍA CAMILA GARCÍA VACA

**Instrucciones para los autores** 72  
**Instructions for authors** 80

## EDITORIAL

---

El patrón de asentamiento sobre el territorio de las poblaciones en Colombia, se ha caracterizada por una estructura urbana con carácter de urbanización difusa, generada por la cultura del agua, que de forma consecuente se ha volcado sobre los ríos. A causa del crecimiento acelerado, la espontánea apropiación del territorio, la planificación lenta y la falta de cultura medioambiental; las características que constituían las cuencas de los principales cuerpos de agua del país, hoy representan una amenaza para la población urbana que se encuentra asentada en sus zonas de influencia, y se han convertido en uno de los mayores focos de desechos de las poblaciones aledañas, perdiendo en muchos casos, la calidad del agua y la vida vegetal a su alrededor.

Los efectos de esta problemática que se han identificado son: La amenaza ambiental ocasionada por los diferentes desechos y vertimientos de aguas servidas que son arrojados a las cuencas, la deficiencia sanitaria y la baja cobertura de servicios públicos en muchos casos, las necesidades básicas insatisfechas, la baja calidad y cantidad de espacio público y equipamientos destinados al desarrollo cultural, la escasez de suelo urbanizable y el deterioro de las áreas consolidadas.

Se puede afirmar que es imperativo como parte del desarrollo de una cultura ciudadana, crear una conciencia colectiva que se articule con las políticas ambientales que se han desarrollado a lo largo de las últimas décadas. La cultura del desarrollo sostenible está ligada a la configuración del espacio urbano, a la conformación e integración con lo social y lo cultural que parte de entender la realidad de las poblaciones urbanas y sus dinámicas, ligada a estos dos aspectos.

Todos los esfuerzos en materia de investigación en esta problemática, deben contribuir al desarrollo de políticas, programas, proyectos y estrategias que se orienten a la intervención de nuestras cuencas. Aspectos tan relevantes como la prevención de desastres en asentamientos urbanos aledaños a estos ríos y cuerpos de agua, deben ser parte de una estrategia articulada que debe comprometer a diversas entidades y grupos de interés, en busca de soluciones que conlleven a la toma de decisiones en materia de ordenamiento territorial, soluciones de vivienda, espacio público, cultura, desarrollo económico, y productividad entre otros; acorde a las posibilidades de vocación de uso del suelo en cada caso particular.

En un ámbito de realidad ambiental alternativo, la pobreza de las cuencas hidrográficas tiene por oposición las opciones de calidad de vida de la población y la viabilidad eco sistemática de la naturaleza; Las teorías de planificación del Desarrollo Sustentable aluden a la puesta en marcha de políticas, objetivos y estrategia con la finalidad de transformar una situación dada en términos de una realidad deseada y posible.

Avanzar en la construcción de un modelo de desarrollo ambientalmente sostenible, además de las necesarias adecuaciones normativas y administrativas del estado, implica la tarea de convencer a los sectores sociales, económicos y políticos de la conveniencia de modificar procesos relacionados con la producción, involucrar valores tradicionalmente no considerados en los beneficios económicos y aceptar que en la toma de decisiones los factores ambientales, extraños hasta hace poco al mundo del poder, deben ser tomados en cuenta en procura de mantener vigentes las posibilidades de una vida digna para las futuras generaciones.

**CÉSAR AUGUSTO GARCÍA-UBAQUE**  
Director

## EDITORIAL

---

The accelerated urban growth of Bogotá, added to the difficulties of access to land due to scarcity and cost, constitutes a public problem that requires attention and response from the State.

The phenomenon of scarcity of available land in the midst of a model of free real estate market leads to its price rising, especially in central areas of the city, because of the economic dynamics generated around connectivity, such as communication, roads, and networks, among others. Therefore, the demand (both from government and population) has moved towards the periphery of the cities, causing segregation and exclusion phenomena against the poor population.

Failures in the government's response to offer housing to the population with fewer resources, as well as insufficient and fragmented financing, lead to the growing quantitative housing deficit. This situation, added to the absence of control mechanisms, increases the conditions that favor the emergence of illegal urbanization processes and pirate developers, which leads to greater exclusion and social vulnerability.

The process of land habilitation and land management in Colombia is the responsibility of the state entities and is linked to the possibility of developing integral urban projects. That is, those that generate housing solutions and include the provision of public services, education, and recreational areas, and improve the quality of life of the population. Although in this way the consolidation of an exclusionary and segregated city model is counteracted, this process faces a series of technical, administrative, and regulatory obstacles; but *its greatest difficulty lies in the creation of a land policy that links housing policies with a long-term vision that guides the orderly development of cities.*

There are several reasons why the very nature of urbanism generates inequities. First, it is necessary to take into account the tensions between appropriation and use of the land generated by its unique and specific location. Second, the characteristics of a distorted market, produced by low regulation in the midst of a free market economy. And third, there are cases in which the regulations of a project laid out in the Territorial Ordering Plan (POT in Spanish) benefit some sectors of the population more than others, or it can drastically affect some to achieve collective benefits in a community more extensive.

From the analysis of this problem it is possible to identify some factors that point towards the need to improve urban planning and management processes, especially the deficiencies evidenced in the regularization of the ownership of public and private lands. In addition to preventing the absence of a policy of creating land banks in urban areas, which leads to a non-comprehensive and in many cases inefficient public management in the processes of purchase and land clearance.

In this context, the need arises to generate different mechanisms of public intervention that allow government authorities to respond to the housing problem, promoting actions that optimize the application of land management instruments; These are elements "sine qua non" of any housing policy and key components of urban and regional planning. However, beyond improving current instruments or proposing new land management instruments, it is necessary to reflect on other aspects. For example, *its nature*, or how to articulate the public policy of land as part of a public housing policy that is geared to low-income population categories. Likewise, it is fundamental to devise integral solutions that respond to a broad and not partial or immediate approach to the country's housing policy.

**CÉSAR AUGUSTO GARCÍA-UBAQUE**  
Director





## Teledetección aplicada al mapeo geomorfológico de los volcanes de la cuenca alta del río Chaschuil, provincia de Catamarca, Argentina

### Remote sensing applied to the geomorphological mapping of the volcanoes of the upper Chaschuil river basin in the province of Catamarca, Argentina

Malvina Serra<sup>1</sup>, Carlos Gabriel Herrera<sup>2</sup>, Adriana Ediht Niz<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 3 de septiembre de 2018

**Fecha de aceptación:** 14 de febrero de 2019

**Cómo citar:** Serra, M., Herrera, C.G. y Niz, A.E. (2019). Teledetección aplicada al mapeo geomorfológico de los volcanes de la cuenca alta del río Chaschuil, provincia de Catamarca, Argentina. *Tecnura*, 23(60), 13-26. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.14642>

#### RESUMEN

**Contexto:** La cuenca alta del río Chaschuil se encuentra en las provincias geomorfológicas de cordillera Frontal y sistema de Famatina, se extiende desde el límite superior de la cuenca, a los 26° 45' 6,35" de latitud S y 68° 2'22 15" de longitud O, hasta el volcán Aguas Calientes, a los 27° 13' 25,81" de latitud S y 68° 19'5 48" de longitud O. La zona se inserta en el Cinturón de Fuego del Pacífico, que se caracteriza por concentrar algunas zonas de subducción más importantes del mundo, donde se genera una intensa actividad sísmica y volcánica.

**Método:** A través de operaciones estadísticas y numéricas aplicadas sobre los datos de las matrices que componen una imagen satelital, se generó la cartografía geomorfológica volcánica. Para dicho análisis, se utilizó el *software* libre *SoPI 3.0*, en el

que se procesaron las imágenes satelitales Landsat 7 y 8, de los años 2002 y 2015. La cartografía fue elaborada en el *software* libre *QGIS 3.2.2*, con el apoyo del *software* libre *Google Earth Pro*.

**Resultados:** Los mejores resultados del procesamiento digital se dieron en las bandas de rango visible y mediante distintas combinaciones de bandas en RGB. Se describen 13 aparatos volcánicos principales, altamente erosionados, con lavas pahoehoe asociadas; y erupciones secundarias, con lavas rugosas tipo aa sobrepuestas a las lavas más fluidas.

**Conclusiones:** La aplicación del procesamiento digital de imágenes satelitales es una herramienta óptima para el estudio de estructuras volcánicas, que permite su delimitación y clasificación.

**Palabras clave:** estructuras volcánicas, Landsat, procesamiento digital.

<sup>1</sup> Licenciada en Geología. Investigadora del Instituto de Monitoreo y Control de la Degradación Geoambiental (IMCoDeG). Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca. San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina. Contacto: [malvinaserra@gmail.com](mailto:malvinaserra@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7127-7427>

<sup>2</sup> Ingeniero Civil. Magíster en Docencia Universitaria de Disciplinas Tecnológicas. Profesor Titular Cátedra Álgebra. Departamento de Formación Básica. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca. San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina. Contacto: [cgherrera@tecnoc.unca.edu.ar](mailto:cgherrera@tecnoc.unca.edu.ar) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3292-4251>

<sup>3</sup> Licenciada en Geología. Doctora en Geología. Representante para Sudamérica en IUGS-GEM. Asesor sénior de la Unión Árabe de Geociencias (ArabGU). Directora del Instituto de Monitoreo y Control de la Degradación Geoambiental (IMCoDeG). Profesor Titular Cátedra Geomorfológica. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca. San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina. Contacto: [aniz@tecnoc.unca.edu.ar](mailto:aniz@tecnoc.unca.edu.ar) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3598-7111>

## ABSTRACT

**Context:** The upper basin of the Chaschuil river is found in the geomorphological provinces of the Cordillera Frontal and the Famatina System; it extends from the upper limit of the basin ( $26^{\circ}45'6.35''$  S– $68^{\circ}2'22.15''$  O) to the Aguas Calientes volcano ( $27^{\circ}13'25,81''$  S– $68^{\circ}19'5.48''$  O). The zone is inserted in the Pacific Ring of Fire, which is characterized by concentrating some of the most important subduction zones in the world, where intense seismic and volcanic activity is generated.

**Method:** The volcanic geomorphological cartography was generated by statistical and numerical operations applied on the matrix data that make up the satellite image. For this analysis, the free software SOPI 3.0 was used to process the Landsat 7 and 8

satellite images of the years 2002 and 2015. The cartography was prepared using the free software QGIS 3.2.2 and Google Earth Pro.

**Results:** The best results of digital processing were given in the visible bands and by different combinations of bands in RGB. Thirteen main volcanic systems, highly eroded and with associated pahoehoe lavas, are described, as well as secondary eruptions with rugged aa-type lavas superimposed on the more fluid lavas.

**Conclusions:** The application of digital satellite image processing is an optimal tool for the study of volcanic structures, which allows their delimitation and classification.

**Keywords:** volcanic structures, Landsat, digital processing.

## INTRODUCCIÓN

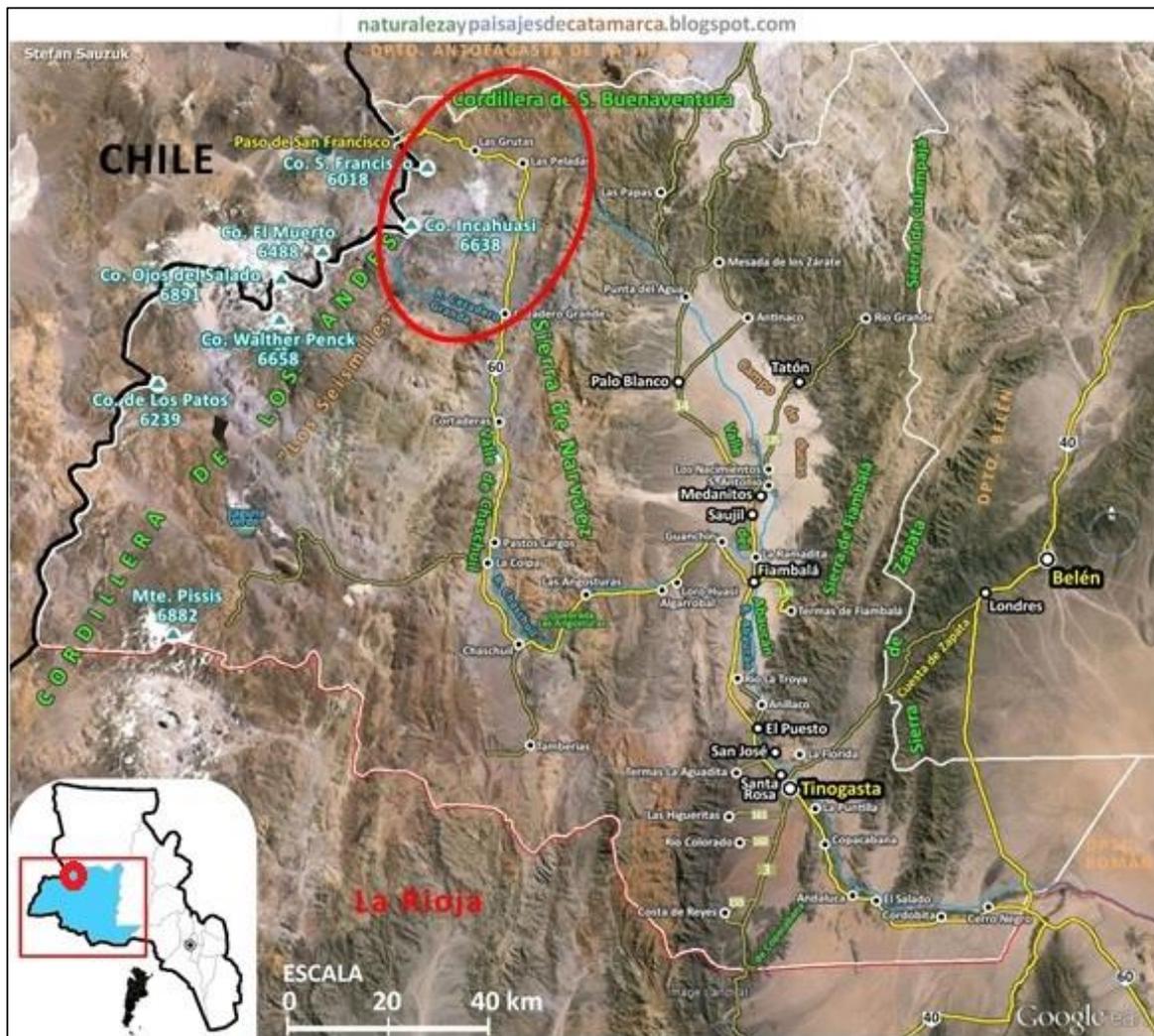
Las geoformas que se realizaron son típicas del ambiente volcánico, en el que se diferenciaron coladas de lava debidas a diferentes pulsos de efusiones volcánicas, teniendo en cuenta color y textura, tipo de estructuras volcánicas, litología, diseño de drenaje y demás rasgos de la geomorfología volcánica de la zona a estudiar. Este procesamiento digital de las imágenes satelitales permitió diferenciar las coberturas para realizar la cartografía geomorfológica correspondiente del área de estudio.

El clima de la zona del valle de Chaschuil es semiárido frío, temperaturas nocturnas inferiores a  $0^{\circ}$  C durante todo el año y gran amplitud térmica diaria; por encima de los 4500 m s.n.m. presenta evidencias de hielos permanentes, de tipo glaciar y nieves, glaciares de escombros, suelos congelados, *permafrost*, y en el área pedemontana domina la actividad eólica, tanto de acumulación como de deflación. Se sitúa al sur de la Puna austral, en el marco de la región de cordillera Frontal, y su relieve es típico de esta provincia geológica.

El área se ubica en el noroeste del departamento Tinogasta, al oeste de la provincia de Catamarca, dista 350 km de la capital catamarqueña. Como se observa en la figura 1, es un valle longitudinal que se extiende al oeste de Fiambalá, cabecera del distrito homónimo, y al que se puede acceder desde Tinogasta por la Ruta Nacional N°. 60, hasta llegar al paso de San Francisco, que conecta Catamarca con la República de Chile.

La zona de estudio se extiende desde el límite superior de la cuenca del río Chaschuil, a los  $26^{\circ} 45' 6,35''$  de latitud S y  $68^{\circ} 2'22 15''$  de longitud O (punto A), hasta el volcán Aguas Calientes a los  $27^{\circ} 13' 25,81''$  de latitud S y  $68^{\circ} 19'5 48''$  de longitud O (punto B), considerado para esta investigación el sector sombreado en rosado en la figura 2, que corresponde a la cuenca alta del río Chaschuil.

El área se inserta en el Cinturón de Fuego del Pacífico, que se caracteriza por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo, donde se genera una intensa actividad sísmica y volcánica. Cuenta con sistemas montañosos superiores a los 6000 m s.n.m. en el sistema



**Figura 1.** Ubicación y vías de acceso de la zona de estudio. Fiambalá, Catamarca, Argentina

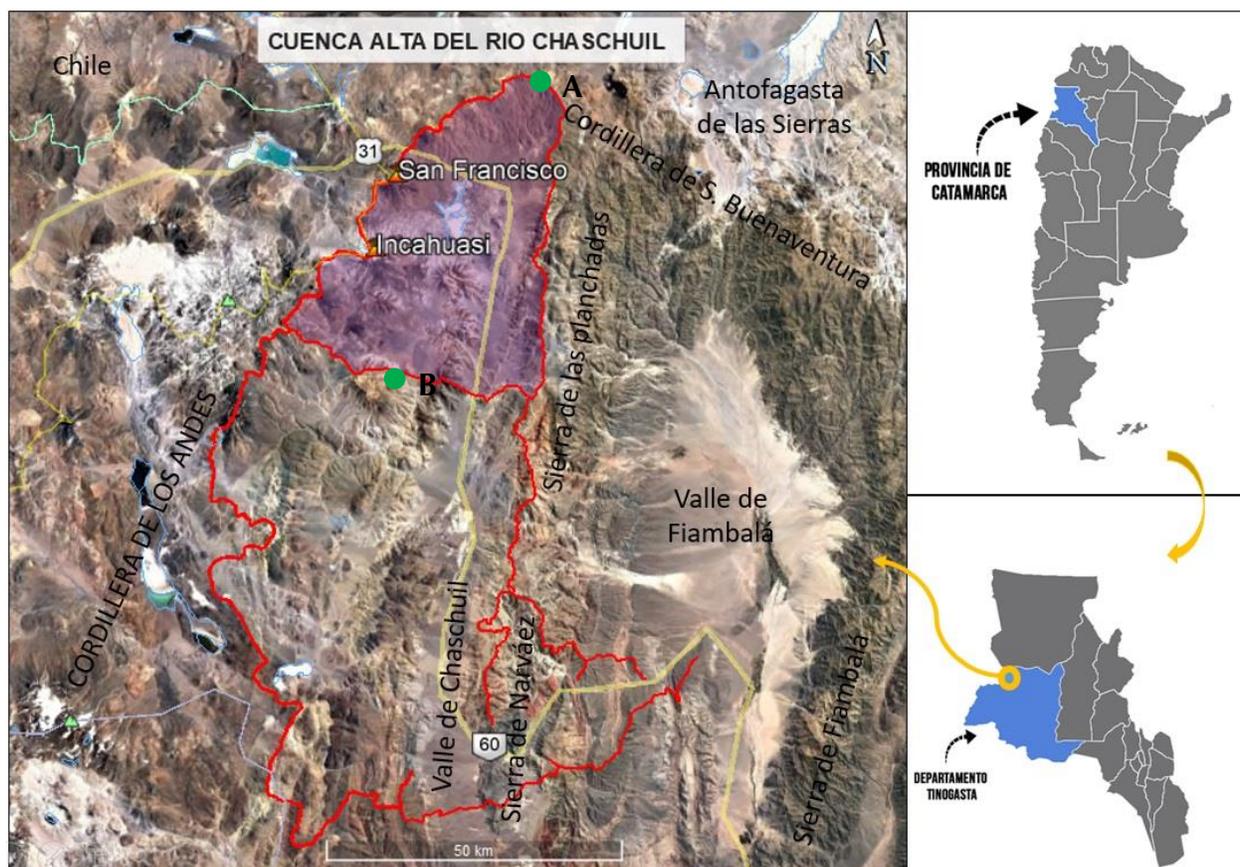
**Fuente:** modificado de Sauzuk (s.f.).

andino, como lo son, los volcanes San Francisco e Incahuasi, y con estructuras volcánicas que superan los 5000 m s.n.m., como Bertrand, Pabellón, Chucula, Ojo de las Lozas, Morocho, etc.

Seggiaro (2006) particulariza a la región con una compleja evolución tectónica, ya que a la estructuración andina típica compresiva, de rumbo aproximadamente longitudinal, se le ha sobrepuesto una dinámica transversal oblicua, con rumbo aproximadamente noroeste-sudeste a oeste-este, con un importante componente

transcurrente. El primero ha sido responsable de la formación de valles tectónicos longitudinales, con dirección norte-sur y el segundo ha controlado la integración entre las diferentes cuencas endorreicas preexistentes y el desarrollo del volcanismo con posterioridad a la Fase Quéchuica, lo que provoca una alineación en la mayor parte de los aparatos volcánicos.

El objetivo del presente trabajo fue definir y describir la geomorfología volcánica, a través del procesamiento digital de imágenes satelitales, en la



**Figura 2.** Croquis de la ubicación del área de estudio: cuenca alta del río Chaschuil. Fiambalá, Catamarca, Argentina

**Fuente:** elaboración propia.

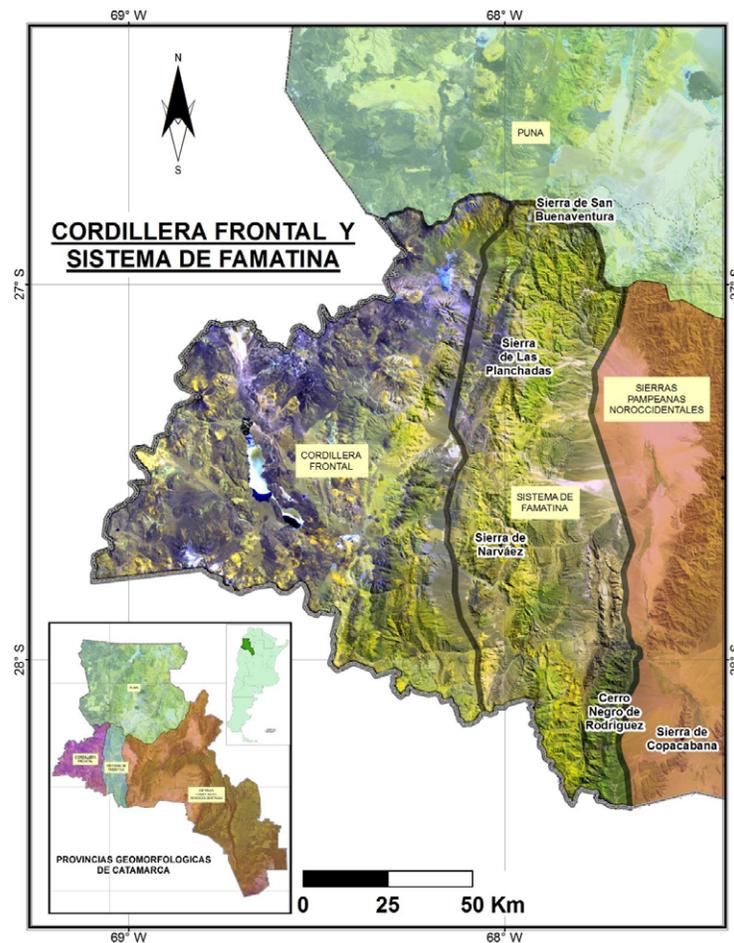
cuenca alta del río Chaschuil, localidad de Fiambalá, para realizar la cartografía correspondiente y analizar la evolución de este ambiente.

### Región y asociación geomorfológica de la Cordillera Frontal

Las Asociaciones Geomorfológicas se caracterizan por la recurrencia de elementos morfogenéticos endógenos y un mesoclima característico (Sayago, 1982). La Asociación Geomorfológica de la Cordillera Frontal (figura 3), en general, presenta un paisaje accidentado, definido por la presencia de relictos de estratovolcanes, fuertemente erosionados, que coexisten con los edificios volcánicos más

altos que conforman el techo del mundo; en las áreas deprimidas se observa la formación de depósitos pedemontanos, de tipo abanicos y conos aluviales, algunos niveles de glaciares de erosión. Las geoformas debidas a la acción glacial más comunes son glaciares de escombros en las laderas de los volcanes con mayor acumulación de nieve.

En esta región se encuentran las nacientes de los afluentes principales del río Chaschuil y Guanchín –que a su vez es un afluente muy importante del río Abaucán–, como los ríos Cazadero Grande, Las Lozas, San Francisco, Las Peladas; en general el avenamiento está pobremente jerarquizado, el aporte hídrico proviene principalmente del deshielo y son frecuentes las surgencias naturales o vegas (Tezón,



**Figura 3.** Región y Asociación Geomorfológica de la Cordillera Frontal, área de estudio delimitada con un óvalo rojo

**Fuente:** Niz y Savio (2017).

1963). El conjunto conforma el valle de Chaschuil, el más representativo de esta región, situado por encima de los 3000 m s.n.m. (Niz y Savio, 2017).

## Volcanes

Un volcán es una montaña que ha surgido por acumulación de productos emitidos desde el interior de la Tierra. Generalmente su forma es cónica y está construido alrededor del foco de emisión conectado con reservorios de roca fundida y gases, los cuales al ser expulsados contribuyen a su formación. Los fenómenos volcánicos, a diferencia de los emplazamientos de las rocas plutónicas, son manifestaciones en superficie de un evento subterráneo, y

se caracterizan por su extrema rapidez. Los volcanes son la expresión morfológica superficial de un conjunto de fenómenos que se desencadenan durante la génesis, ascenso y erupción de magmas, con lo que se pueden generar formas positivas o negativas, dependiendo de la naturaleza de las erupciones y los procesos tectónicos, gravitatorios y erosivos sin y poseruptivos (Martí y Araña, 1993).

El término *activo* significa que el ser humano ha sido testigo ocular al menos de una erupción, es decir, cuando ha tenido una erupción en un lapso de años. El límite es arbitrario, aunque se considera un buen criterio el Holoceno (unos 10.000 años).

La mayoría de los volcanes presentan largos periodos entre una erupción y otra. Se dice entonces que

el volcán está *dormido*; si no ha presentado actividad en tiempos históricos, está *extinto*. Estos términos son relativos, ya que un volcán que no ha presentado actividad en los últimos 5000 años podría entrar en erupción, al igual que uno que ha estado inactivo durante los últimos 25.000 años. En términos geológicos hay edificios que han sido activos durante 20 Ma, por tanto, el límite sería el Mioceno (unos 12 Ma). Por otro lado, se considera que existe una erupción cuando hay un registro documentado.

En el área de estudio, si se analiza la dinámica de formación, teniendo en cuenta su ubicación y el ambiente tectónico en el cual se encuentra, sabiendo además que se trata de un vulcanismo basáltico continental, el proceso comienza y está condicionado a la geometría del plano de subducción, debido a que cuanto mayor es el ángulo ( $>25$ ) se genera mayor fricción, lo que a su vez produce la fusión de la loza subductada, que al provocar fuertes gradientes térmicos se transforma a un estado semilíquido conocido como magma, este se acumula en dichos reservorios, y puede permanecer allí por más de un millón de años, hasta que las presiones son tales que la cámara magmática ya no puede contenerlo, y se libera, en forma fluida o explosiva, hasta llegar a la superficie en forma de lava y generar los aparatos volcánicos.

Posteriormente, a través del segundo proceso, de disminución brusca de gradiente de presión, permite explicar cómo se produjeron las erupciones en este sector, asociados a fallas profundas que conectan con la superficie sus lavas de composición básica; así, la fase volátil (fase estromboliana) es la causante de la emisión de material piroclástico durante la erupción.

## Estratovolcán

Un stratovolcán es un tipo de volcán cónico y de gran altura. Como su nombre indica, está compuesto por múltiples estratos o capas de lava endurecida, que alterna con capas de piroclastos (lapilli y cenizas surgidos por una alternancia de épocas de actividad explosiva y de corrientes de

lava fluida). Estos volcanes, caracterizados por un perfil escarpado y erupciones periódicas y explosivas, son los aparatos volcánicos principales que se encuentran en el área de estudio. Su erupción es del tipo fisural o hawaiana, con fases estrombolianas que son las que originan los conos de escoria.

En el caso de la zona de estudio, esta fase eruptiva estromboliana da origen a los edificios volcánicos que pueden estar constituidos por un único cono de escoria y una única colada; cuando es así se denominan *volcanes monogénicos*, de acuerdo con Llambías (2001).

## Cono cinerítico

Se trata de una acumulación de escoria o cenizas, es decir materiales arrojados a poca distancia desde una chimenea, denominados por esta razón *centralizados*.

Se ha encontrado en la zona de estudio, una característica común a este vulcanismo basáltico, debido a su alto contenido en hierro, la coloración roja de muchas de las coladas y restos de lavas de las erupciones secundarias ha resultado ser interesante para su análisis.

Llambías (2009) aclara que, en primer lugar, este no se debe a un interperismo sino a una cuestión de enfriamiento del volcán. Explica que esta variación de las tonalidades de negro a color rojo se debe al grado de oxidación de las partículas microscópicas de hierro incluidas en el vidrio, reacción que tiene por efecto virar su coloración negruzca de origen, al rojo.

Russo (2010) identifica el mineral opaco de color negro como magnetita o ilmenita, por la elevada proporción de hierro, que causa el color oscuro de la roca y así mismo de la costra superior de la teración a modo de herrumbre (limonita).

Un caso particular es el cono desbocado o en herradura, donde el cono está abierto de un lado por un ensanchamiento del cráter. No es preciso atribuir esta disimetría ni a una explosión ni a una abertura de brecha debida a un derrame continuo de lava durante la erupción, sino más bien a un

derrame continuo de lava durante la erupción que no ha permitido que las escorias se depositaran en el lado por donde transcurría la lava. Tales desbordamientos suponen una erupción corta con una actividad del tipo estromboliano y una emisión de lavas abundantes y fluidas. Llambías (2009) habla de conos aportillados, porque tienen forma de herradura debido a que la parte que falta ha sido arrastrada por la lava. Dentro del área se han encontrado numerosos ejemplos de ellos y son frecuentes en Antofagasta de la Sierra.

### Coladas de lava

En primer lugar, es necesario aclarar la diferencia entre *colada* y *lava*; la primera corresponde al cuerpo de rocas resultante del enfriamiento de la lava, y la segunda se refiere al material fundido que fluye por la superficie.

A medida que la lava se enfría y se inmoviliza o libera gases expansivos y se vuelve espumosa, su viscosidad aumenta y el movimiento se vuelve *perezoso*. Por tanto, las distancias que recorre dependen de su fluidez, además condicionan su movilidad factores como: la temperatura (los basaltos son de mayor temperatura), el contenido de gases (es mayor en lavas ácidas) y la composición (porcentaje de sílice). En la figura 4 se observa la diferencia entre coladas según estos factores. Las

lavas basálticas tienden a fluir libremente a lo largo de grandes distancias incluso por pendientes suaves antes de detenerse. El tamaño de las coladas depende del material emitido y de su viscosidad, siendo las erupciones de composición básica las de mayor superficie.

Según su aspecto superficial las coladas pueden ser:

- *Pahoehoe* o roya lava o lavas cordadas.
- *aa*, *block* lavas o lavas en bloque o malpaís.
- *Pillowlavas* o lavas almohadilladas.

### METODOLOGÍA

El trabajo comprendió tres etapas, que incluyeron tareas de gabinete y trabajos de campo complementarios: en la primera etapa se desarrollaron tareas de gabinete de recopilación y generación de información base; en la segunda, se llevaron a cabo trabajos de control de campo; y, por último, en la tercera etapa se realizó el procesamiento e interpretación de la información obtenida en las etapas previas.

En este estudio se utilizaron imágenes satelitales Landsat 7 y 8, correspondientes a los años 2002 y 2015. Para la obtención de imágenes satelitales se recurrió a las plataformas de descarga de imágenes USGS y CONAE, donde se obtuvieron imágenes del satélite Landsat (PATH-ROW = 232-079) adecuadas para cumplir con los objetivos de este trabajo.



**Figura 4.** Aspecto superficial de las coladas de lava de la zona de estudio. Lavas tipo pahoehoe (izquierda) – lavas tipo aa (derecha)

**Fuente:** elaboración propia.

Para el procesamiento digital de las imágenes obtenidas de la zona de estudio, se utilizó el *software* libre *SoPI 3.0*. Con la ayuda de este programa se realizó un recorte del área alrededor de los volcanes Incahuasi y San Francisco, georreferenciación, apilado de bandas, composición de color y clasificación no supervisada.

Posteriormente, se realizó un modelo digital de elevación (MDE) que permitió visualizar el relieve de las estructuras volcánicas principales, utilizando el *software Global Mapper*. Por último, con los resultados del procesamiento digital de las imágenes Landsat, se realizó la delimitación de las geoformas identificadas, mediante el *software* libre *QGIS 3.2.2*, en el que se insertó una imagen de alta resolución descargada de SAS.Planet. En QGIS se digitalizó la información y se elaboró la cartografía según la metodología ITC. El aspecto analítico del sistema ITC no solo es consistente con las principales tendencias de las leyendas existentes, sino que es universalmente aplicable para mapear en todas las escalas (Verstappen, 1983).

## Preprocesamiento

En el caso de las imágenes Landsat, estas correcciones ya estaban resueltas, por lo que no fue necesario realizar para cada imagen una corrección geométrica y radiométrica. Aun así, se rectificó esta información mediante la georreferenciación de una imagen y con los puntos de control tomados en campo con GPS (sistema de posicionamiento global). El análisis anterior corroboró que las imágenes utilizadas se encontraban correctamente georreferenciadas y se procedió a transformar las coordenadas al sistema POSGAR 94 (Gauss Kruger – faja 2), con el *software SoPI 3.0*.

## Procesamiento digital

Para la diferenciación de geoformas debidas a procesos volcánicos, se realizaron firmas espectrales, composiciones en falso color y una clasificación digital no supervisada.

*Firmas espectrales.* Para obtener la composición de color adecuada para el tipo de cobertura que se deseaba caracterizar, se elaboraron en primer lugar las firmas espectrales correspondientes a nieve, agua y roca, que permitieron diferenciar las coberturas según su respuesta espectral.

*Composición de color.* Se asignaron las bandas (longitudes de onda) a los tres canales disponibles R-G-B (rojo-verde-azul). Dado que el ojo distingue mucho mejor en tonos de rojo, es más eficiente visualizar la banda de mayor interés en el canal rojo. Por ello, en primer lugar, para diferenciar el hielo/nieve de la roca, colocamos el infrarrojo de onda corta (1750 nm) asociado al comportamiento del suelo, en el canal rojo; luego en orden de prioridad el infrarrojo cercano (865 nm), en el canal verde; y el verde (655 nm) al canal azul. Esta combinación se denomina *falso color real* (542). Para el estudio de la geomorfología y diferenciación de pulsos de lava, el mejor realce se observó en la combinación falso color 751. Para esta combinación, se asignó el infrarrojo de onda corta 2 (SWIR 2), al canal rojo; el infrarrojo de onda corta (1750 nm), al canal verde; y el azul, al canal azul.

*Clasificación digital no supervisada.* Los píxeles de la imagen fueron agrupados en conglomerados o *clusters* (clases), en función del valor de DN, asumiendo que sus características espectrales eran homogéneas; para lo cual se recurrió a la técnica K-Means. Posteriormente se asignó cada una de estas clases a componentes ambientales observados en el terreno como nieve, rocas, agua. Se hizo la clasificación no supervisada con 3 clases en 6 iteraciones, ya que se deseaba diferenciar nieve, rocas (distintos tipos de rocas) y agua; es decir, tres tipos de uso y cobertura. Esta clasificación permitió únicamente separar usos y coberturas muy disímiles entre sí, como los que se observaron en la zona investigada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el estudio de la geomorfología y diferenciación de pulsos de lava, el mejor realce se observó en la combinación de bandas falso color 751 para

las imágenes de verano de 2002 (figura 5) y para las imágenes de verano de 2015 con la combinación de bandas 762. El contraste de colores que se observa en la roca desnuda facilitó su diferenciación y permitió delimitar estructuras, coladas de lava y geoformas. Así mismo, las distintas tonalidades de verde/amarillo observables con esta combinación permiten discriminar qué coladas pertenecen a los aparatos volcánicos principales y cuáles a erupciones secundarias, ya que estas últimas muestran colores más claros por su composición ácida.

### Resultados cartográficos

La cartografía fue exportada en tamaño A4 a escala 1:250.000 en coordenadas geográficas. En la figura 6 se muestra el mapa realizado, que permitió delimitar geoformas volcánicas y la superposición de coladas de lava.

### Distribución y nombres de los principales volcanes de la zona de estudio

Los volcanes en la cuenca alta del río Chaschuil se encuentran distribuidos de dos maneras diferentes, según sean aparatos volcánicos principales o erupciones secundarias. Los primeros fueron numerados con la ayuda del MDE 3D, que permite

apreciar los aparatos volcánicos. La numeración corrida va de 1 a 13; inicia al norte, en el volcán Chucula, y sigue con los volcanes que conforman el límite oeste de la cuenca hasta el volcán Aguas Calientes, donde continúa el conteo hacia el centro de la cuenca hasta el volcán Falso Morocho. No se observó la presencia de volcanes al este del valle de Chaschuil.

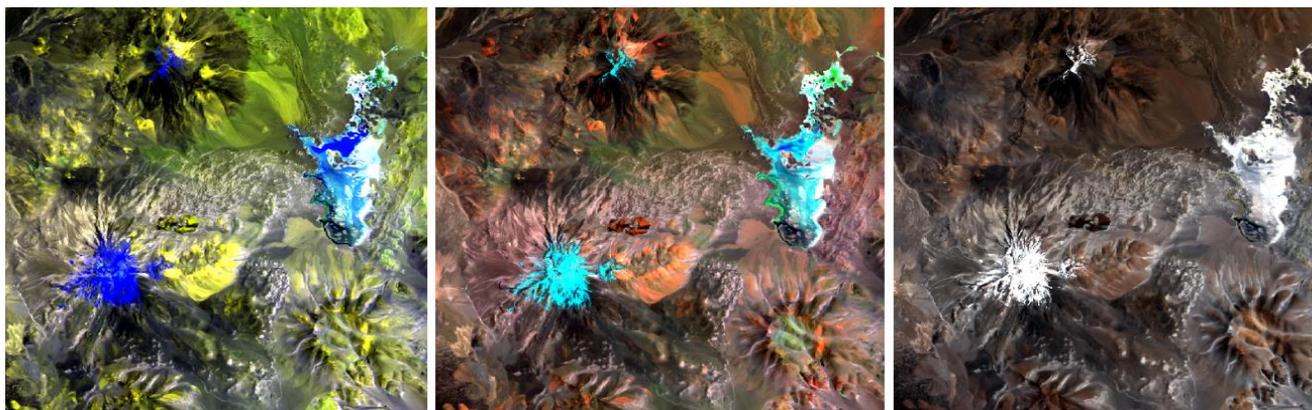
Para las erupciones secundarias, se ubican según lineamientos en sentido aproximadamente E-O, en el sector suroeste de la cuenca, donde conforman los *volcanes monogénicos*. También se mencionan en este apartado los conos parásitos.

Para una mejor organización del presente trabajo se va a dividir la descripción de los volcanes según sean principales o secundarios.

### Aparatos volcánicos principales

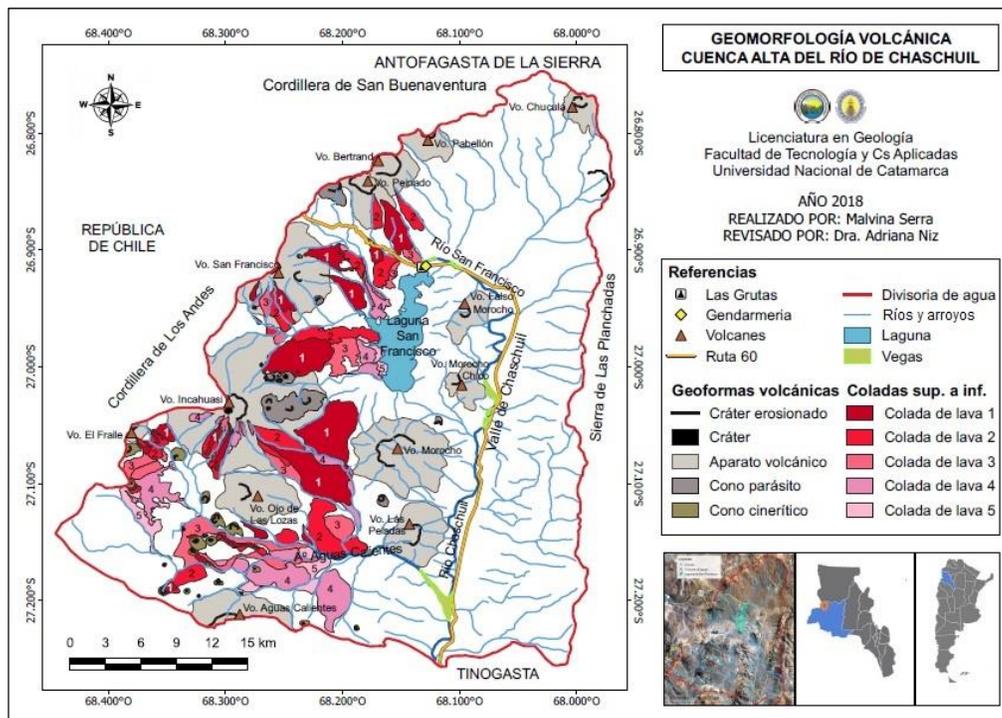
Se han encontrado dentro del área la mayoría de las estructuras típicas del vulcanismo básico continental del tipo fisural con fases estrombolianas; allí se identifican coladas de lava aa, *pahoehoe*, conos, conos parásitos, bombas volcánicas, lapilli, conos cineríticos, cráter de volcanes con lagunas interiores, cráteres erosionados, etc.

En la zona de estudio los fenómenos erosivos son más lentos, generando geoformas comunes



**Figura 5.** Distintas combinaciones de banda para la diferenciación de geoformas y litología volcánica en una imagen Landsat 7. Izquierda: TM 751; centro: TM 742; derecha: TM 321

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 6.** Mapa de geomorfología volcánica de la cuenca alta del río Chaschuil

**Fuente:** elaboración propia.

a estas regiones áridas. Estamos ante una morfogénesis larga, porque opera sobre construcciones volcánicas relativamente antiguas que no han sido perturbadas por nuevos paroxismos (es decir, nuevos periodos de actividad). Esas formas heredadas determinan el relieve volcánico. El modelado que actúa en estas rocas fue y es causado por procesos exógenos que van desfigurando las formas propiamente volcánicas y elaborando relieves morfoclimáticos (Russo, 2010).

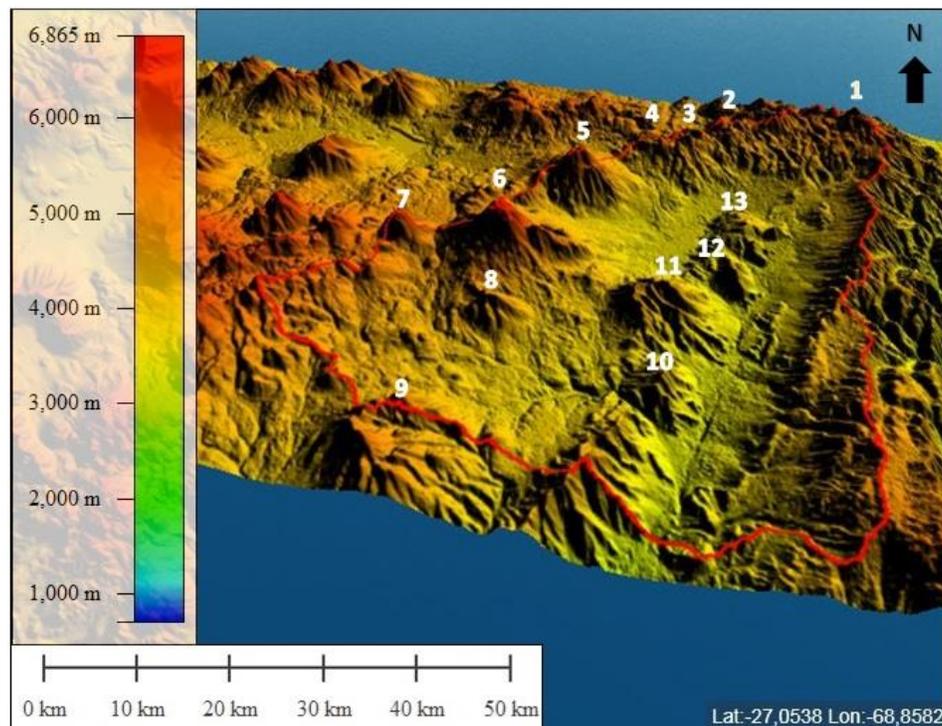
Como se mencionó, en la figura 7 se han registrado un total de 13 focos efusivos principales en el área investigada, de los cuales se han diferenciado sus conos, cráteres y coladas de lavas asociadas.

Los aparatos volcánicos están orientados dentro del cuadrante noroeste-sudoeste y están relacionados principalmente con fracturas. Si bien, en la zona de estudio no se encuentran volcanes en actividad, observar hoy los vestigios de antiguas erupciones permite recrear el ambiente volcánico

que dominó en épocas geológicas recientes el paisaje volcánico del Paso de San Francisco.

Al nor-noroeste de la cuenca se encuentran los volcanes Chucula (1), Pabellón (2), Bertrand (3) y Peinado (4). Estos poseen características similares por lo cual fueron agrupados. Son estratovolcanes de más de 5000 m s.n.m., presentan un cráter y cono altamente erosionado y sus coladas de lava son casi imperceptibles. El drenaje que desciende por sus laderas es radial y a la altura del Nick termina perdiéndose a través de cárcavas, que en algunos casos exponen ignimbritas y son evidencia de la neotectónica que actúa en la cuenca.

En el centro-oeste se encuentran los tres volcanes de mayor altura del área estudiada: Nevado de San Francisco (5), Incahuasi (6) y Nevado El Fraile (7), que constituyen el límite internacional con la República de Chile. Son estratovolcanes erosionados, en los que se distinguen entre las geomorfos volcánicas: cono, cráter y coladas *pahoehoe*. Además,



**Figura 7.** Modelo digital de elevación 3D (MDE). Identificación de aparatos volcánicos principales

**Fuente:** elaboración propia.

tienen numerosos conos parásitos que emitieron pulsos de lava tipo aa sobre coladas basálticas más antiguas. En las laderas y cumbres de estos volcanes, que superan los 6000 m s.n.m., hay vestigios de geformas de un ambiente glaciar y periglaciar antiguo, se pueden describir circos glaciares, morrenas, *drumlins*, umbrales, glaciares de escombros, lagunas de deshielo, etc. Así mismo, en el modelo actual predomina la acción eólica, que acumula depósitos de arena en las depresiones de las coladas y en los conos parásitos principalmente.

Por último, en el sector sur-central de la cuenca alta del río Chaschuil se agrupan los volcanes Ojo de las Lozas (8), Aguas Calientes (9), Las Peladas (10), Morocho (11), Morocho Chico (12) y Falso Morocho (13). Poseen entre 4000 y 5000 m s.n.m. y son los menos desarrollados de la zona de estudio, prácticamente no se distinguen ni su cráter ni su cono, y las coladas de lava fueron erosionadas totalmente.

Los volcanes del área de estudio están asociados a un vulcanismo fisural con fases estromboliánas. Geomorfológicamente, el área se caracteriza por una cuenca terminal endorreica, típica de la Puna y Puna transicional, con amplias mesetas volcánicas y volcanes coronando el paisaje. La zona está conformada por aparatos volcánicos de gran altura y extensas coladas que cubren una vasta superficie. Las mesetas volcánicas corresponden a antiguas coladas, ya que se observa un grado de disección fluvial muy alta, lo que indicaría su antigüedad al compararlas con las superficies volcánicas contiguas de excelente conservación.

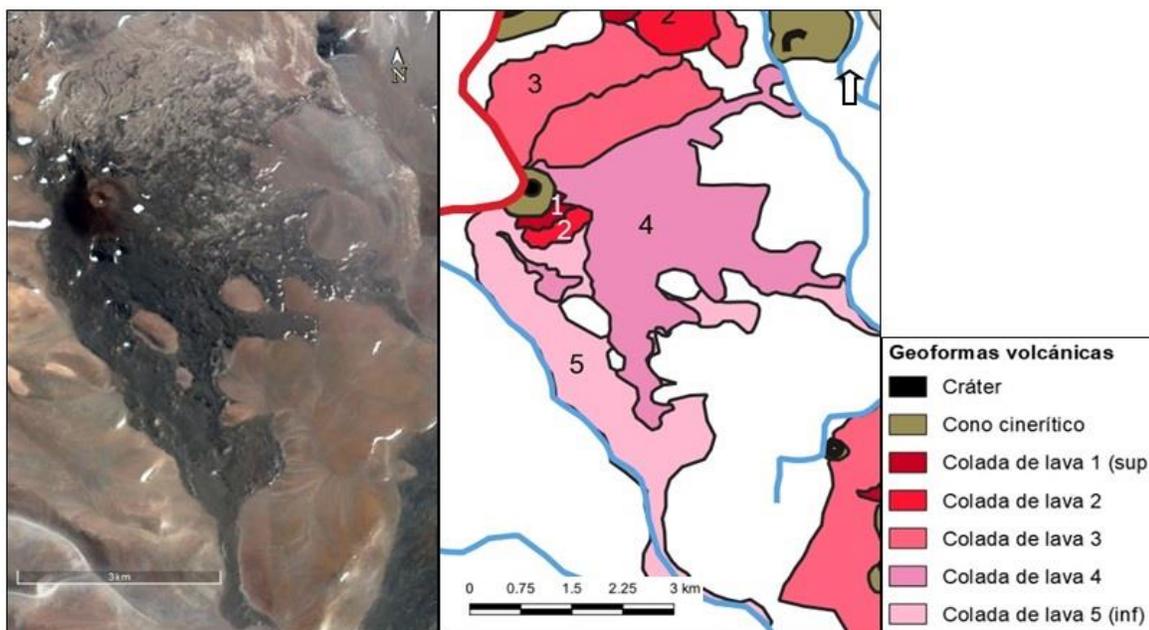
### Conos cineríticos

En el sector suroeste de la cuenca se ubican a lo largo de lineamientos aproximadamente de dirección este-oeste, volcanes monogénicos de coloración más oscura que los principales (por presencia

de hierro). Se distingue para estas efusiones, conos y cráteres definidos y coladas de lava más rugosas de tipo aa, que demuestran la evolución del magmatismo en el área hacia magmas más ácidos. Debido a que estas efusiones se encuentran mejor conservadas, fue posible diferenciar, con ayuda de imágenes satelitales, distintos pulsos de lava, discriminándose en la figura 8 hasta 5 emisiones superpuestas.

### Cono parásito

Al igual que en los volcanes monogénicos, su coloración es oscura debido a la presencia de hierro y sus coladas de lava son de tipo aa, son las últimas manifestaciones derivadas de los volcanes principales, ubicadas en los conos muy erosionados y sobre coladas de tipo *pahoehoe*, como se observa en la figura 9.



**Figura 8.** Vista en planta de un volcán secundario ubicado en el sector sur de la cuenca. Las coladas de lava fueron mapeadas en colores rojos-rosados, correspondiendo las más claras a las coladas más antiguas

Fuente: elaboración propia.



**Figura 9.** Distintas perspectivas de un cono parasito del volcán San Francisco

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

En el área de estudio, si se analiza la dinámica de formación, teniendo en cuenta su ubicación y el ambiente tectónico en el cual se encuentra y sabiendo que se trata de un vulcanismo basáltico continental, el proceso comienza y está condicionado a la geometría del plano de subducción, debido a que cuanto mayor es el ángulo ( $>25$ ) se genera mayor fricción, lo que a su vez produce la fusión de la loza subductada, que al provocar fuertes gradientes térmicos se transforma a un estado semilíquido conocido como *magma*. Este se acumula en dichos reservorios, y puede permanecer allí por más de un millón de años, hasta que las presiones son tales que la cámara magmática ya no puede contenerlo, y se libera, de forma fluida o bien explosiva, hasta llegar a la superficie como lava, y formar los aparatos volcánicos.

Es evidente que la periodicidad de las erupciones se manifiesta en el sector estudiado, y permite plantear la hipótesis de que una gran cantidad de pulsos de emisión de lava han sido erupcionados durante las efusiones de los volcanes.

Aunque los magmas son mucho más viscosos que el agua, fluyen pendiente abajo, se concentran en canales y se ven detenidos por barreras topográficas que los obligan a adoptar superficies más o menos horizontales. Esta viscosidad tiene un límite elástico definido, pues las lavas se detienen al cesar la erupción, a diferencia del agua, que continúa su descenso pendiente abajo, aun cuando se interrumpa su abastecimiento.

Tal es el caso de los volcanes del área de estudio, siendo del tipo fisural o hawaiana con fases estrombolianas que son las que originan los conos de escoria.

Para los volcanes de la zona de estudio, el grado de explosividad es uno (1); en la escala, este valor es casi despreciable, la columna eruptiva de esta última no excede los 1000 metros. El grado de dispersión de las bombas volcánicas es un indicador de la explosividad dentro de estos grandes volcanes.

En el caso de la zona de este trabajo, esta fase eruptiva estromboliana construye los edificios volcánicos que pueden estar constituidos por un único cono de escoria y una única colada, cuando es así se denominan *volcanes monogénicos*.

Las geoformas volcánicas identificadas se ubican en el centro y oeste de la cuenca. Se describen 13 aparatos volcánicos principales, altamente erosionados y con lavas *pahoehoe* asociadas; y erupciones secundarias más recientes ubicadas a lo largo de lineamientos E-O, con lavas rugosas tipo aa sobrepuestas a las lavas más fluidas provenientes de los grandes estratovolcanes.

La aplicación del procesamiento digital de imágenes satelitales es una herramienta óptima para el estudio de estructuras volcánicas, lo que facilita su delimitación y clasificación.

Los mejores resultados del procesamiento de imágenes satelitales se dieron en las bandas del visible y mediante distintas combinaciones de bandas en RGB.

Para el estudio de la geomorfología y diferenciación de pulsos de lava, el mejor realce se observó en la combinación falso color 751 para las imágenes de 2002, y para las imágenes de 2015 con la combinación de bandas 762.

## RECOMENDACIONES

Si bien se han diferenciado en campo y a través del procesamiento de imágenes satelitales distintos niveles de coladas de lava, y en vista de que se presentan diversas litologías y estructuras volcánicas se recomienda mayores estudios para definir sus características petroestratigráficas. En este trabajo, de acuerdo con las combinaciones de banda y análisis visual realizado, se definen coladas básicas provenientes de erupciones de los estratovolcanes y coladas ácidas provenientes de erupciones secundarias.

Por último, este trabajo constituye un aporte a la propuesta que se está formalizando desde IM-CoDeG, para incluir el valle de Chaschuil en las nominaciones para ser declarado Parque Nacional de Argentina.

## FINANCIAMIENTO

El presente trabajo de investigación fue realizado en el marco de las Becas de Estímulo a las Vocaciones Científicas–CIN 2016/7, que se encuadran en el proyecto “Caracterización geológica-geomorfológica y valoración de riesgos geoambientales en el área glaciario y periglaciario del valle de Chaschuil- Fiambalá- Catamarca”, desarrollado en el Instituto de Monitoreo y Control de la Degradación Geoambiental- IMCoDeG.

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Monitoreo y Control de la Degradación Geoambiental- IMCoDeG, donde se realizó este trabajo, y a la Agrupación de Montaña Calchaquí, por permitir concretar las campañas de campo.

## REFERENCIAS

Llambías, E.J. (2001). *Geología de los cuerpos ígneos* (No. 552.3 LLA). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán.

<https://doi.org/10.25085/rsea.780101>

Llambías, E.J. (2009). *Volcanes: nacimiento, estructura, dinámica*. 1a. ed. Buenos Aires: Vázquez-Manzini Ed.

Martí J. y Araña V. (1993). *La volcanología actual*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Niz, A. y Savio, M. (2017) “Geomorfología general de la provincia de Catamarca”. En C. Muruaga y

P. Grosse (eds.), *Relatorio Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA* (pp. 804-828). XX Congreso Geológico Argentino, San Miguel de Tucumán, Argentina.

<https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i7/111937>

Russo, V. (2010). *Caracterización y clasificación de las unidades geomorfológicas del ambiente volcánico de la cuenca media del río punilla. Antofagasta de La Sierra–Catamarca*. [Tesis de grado]. Licenciatura en Geología, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca, Argentina.

<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-05>

Sauzuk, S. (s.f.). Cortaderas, departamento Tinogasta. [En línea]. *Naturaleza y Paisajes de Catamarca*. Recuperado de

<http://naturalezaypaisajesdecataamarca.blogspot.com.ar/2014/11/Cortaderas-Tinogasta.html>

Sayago, J.M. (1982). Las unidades geomorfológicas como base para la evaluación integrada del paisaje natural. *Revista Geológica Lilloana*, XVI(1), pp. 169-180.

Seggiaro, R.E. (2006). Hoja Geológica 2769-II- Paso de San Francisco. *Boletín*, 294, 1-62. Buenos Aires: Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina–1:250.000.

Tezón, R.V. (1963). *Texto explicativo del mapa hidrogeológica de la República Argentina*. Buenos Aires: Dirección Nacional de Geología y Minería.

Verstappen, H.T. (1983). *Applied geomorphology: geomorphological surveys for environmental development*. Amsterdam: Elsevier.





## Técnicas de ultrasonido para la caracterización de vidrios volcánicos

### Ultrasonic techniques applied to the characterization of volcanic glass

Diego Alejandro Cowes<sup>1</sup>, María Laura Salgán<sup>2</sup>, Juan Ignacio Mieza<sup>3</sup>, Martín Pedro Gómez<sup>4</sup>

**Fecha de recepción:** 3 de octubre de 2018

**Fecha de aceptación:** 14 de febrero de 2019

**Cómo citar:** Cowes, D.A., Salgán, M.L., Mieza, J.I. y Gómez, M.P. (2019). Técnicas de ultrasonido para la caracterización de vidrios volcánicos. *Tecnura*, 23(60), 27-37. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.14928>

#### Resumen

**Contexto:** La caracterización geoquímica de materiales arqueológicos de obsidiana o vidrio volcánico, utilizado en el pasado para la confección de herramientas líticas, permite trazar su procedencia geológica e inferir formas de interacción y rangos de movilidad de antiguas poblaciones humanas. La caracterización de la composición geoquímica de la obsidiana por *análisis de activación neutrónica* permite determinar con un buen grado de certidumbre su procedencia; sin embargo, es una técnica costosa y destructiva, por lo que no es recomendable para piezas arqueológicas. Otras técnicas más accesibles como la fluorescencia de rayos X o la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente han sido utilizadas con éxito para esta aplicación pero con un mayor nivel de incertidumbre. En este trabajo se busca asistir al problema por medio del uso de otras técnicas no destructivas que pudieran ser aplicables al patrimonio arqueológico.

**Método:** Se exploraron las propiedades mecánicas de una muestra de obsidiana a través de métodos de ultrasonido. Se evaluaron la velocidad de fase y atenuación de ondas longitudinales, y se cuantificó la densidad de las muestras por *picnometría de gases*, que posibilita determinar los módulos elásticos dinámicos. Además, se repitieron las mismas mediciones en probetas de vidrio de manufactura industrial.

**Resultados:** Se observó que la velocidad, la densidad y el módulo longitudinal son mayores para la muestra de vidrio industrial que para la muestra de obsidiana. Por otro lado, la atenuación resultó ser mayor para el caso de la obsidiana y se observó una mayor dependencia con la frecuencia.

**Conclusiones:** Los resultados obtenidos demuestran la capacidad del método para distinguir entre materiales con composición química diferente, por lo que sería viable para ser aplicado a estudios arqueológicos. Además, las diferencias observadas en la atenuación muestran que el método también es

- <sup>1</sup> Ingeniero de sonido, magíster en Ciencia y Tecnología de los Materiales. Comisión Nacional de Energía Atómica. Docente de la Universidad Nacional de Tres de Febrero. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Contacto: [diegocowes@cnea.gov.ar](mailto:diegocowes@cnea.gov.ar) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6051-4335>
- <sup>2</sup> Licenciada en Antropología, doctora en Ciencias Naturales. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - Instituto de Evolución, Ecología Histórica y Ambiente, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de San Rafael. Docente de IEF. Malargüe, Mendoza, Argentina. Contacto: [lsalgan@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:lsalgan@mendoza-conicet.gob.ar) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4741-0280>
- <sup>3</sup> Ingeniero electromecánico, magíster en Ciencia y Tecnología de los Materiales, doctor en Ciencia y Tecnología de los Materiales. Comisión Nacional de Energía Atómica. Docente de la Universidad Nacional de Tres de Febrero y de la Universidad Nacional de San Martín. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Contacto: [mieza@cnea.gov.ar](mailto:mieza@cnea.gov.ar) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4082-7251>
- <sup>4</sup> Licenciado en Física, magíster en Ciencia y Tecnología de los Materiales, doctor en Ciencia y Tecnología de los Materiales. Comisión Nacional de Energía Atómica. Docente de la Universidad Tecnológica Nacional Regional Delta y de la Universidad Nacional de San Martín. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Contacto: [mpgomez@cnea.gov.ar](mailto:mpgomez@cnea.gov.ar) ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9578-2399>

sensible a la microestructura del material, por lo que aportaría información no accesible mediante técnicas convencionales de arqueometría.

**Palabras Clave:** arqueología, obsidiana, picnometría, procedencia, pulso-eco, ultrasonido.

### Abstract

**Context:** The geochemical characterization of archeological materials of obsidian or volcanic glass (used in the past for the preparation of lithic tools) allows to trace origin and infer forms of interaction and ranges of mobility of ancient human populations. The characterization of the geochemical composition of obsidian by analysis of Neutron Activation allows to determine with a good degree of certainty its origin; however, it is a costly and destructive technique, not recommended for archeological pieces. Other more accessible techniques, such as X Ray Fluorescence or Mass Spectrometry with inductively coupled plasma have been used successfully for this application but with a higher level of uncertainty. This work seeks to provide solutions through the use other non-destructive techniques that may be applicable to archeological heritage.

**Method:** The mechanical properties of an obsidian sample were explored through ultrasound methods. The phase velocity and the attenuation of longitudinal waves were measured, and the density of the samples was quantified with gas pycnometry, which makes it possible to determine the dynamic elastic modules. Additionally, the same measurements were repeated on glass samples of industrial manufacture.

**Results:** It was observed that the speed, density, and longitudinal modulus were higher for the industrial glass sample than for the obsidian sample. Conversely, the attenuation was greater in the case of obsidian, and a greater dependence on frequency was observed.

**Conclusions:** The results obtained demonstrate the ability of the method to distinguish between materials with different chemical composition; thus, it would be useful in archeological studies. Moreover, the differences observed in the attenuation show that the method is sensitive to the microstructure of the material, so it would provide information not accessible by conventional archaeometry techniques.

**Keywords:** Archeology, Obsidian, Pycnometry, Provenance, Pulse-echo, Ultrasound.

## INTRODUCCIÓN

Las herramientas de piedra constituyen el recurso natural más utilizado en la historia de los grupos humanos para realizar tareas básicas, como cazar, cortar, raspar, desbastar, y organizar refugios, entre otros (Odell, 2004). Desde el momento de la fabricación, uso y descarte de la herramienta, hasta su posterior hallazgo y estudio por la arqueología, la mayoría de las propiedades físicas y químicas de las materias primas se mantienen invariantes a los procesos tafonómicos. El estudio de las materias primas brinda valiosa información para establecer la procedencia geológica de la roca y su abundancia en el paisaje, en algunos casos con un buen grado de certeza. En el caso de la obsidiana, su abastecimiento para la manufactura de

herramientas, se dio de distintas maneras, desde su recolección local en los ambientes recurrentemente ocupados por los grupos humanos, hasta la utilización de sistemas complejos de comercio e interacción que implicaban traslados y distancias de cientos de kilómetros entre los yacimientos arqueológicos y sus fuentes naturales. Por esto, la distribución geográfica de las piezas arqueológicas confeccionadas en obsidiana y el estudio actual de su procedencia permiten conocer diferentes formas de movilidad, grados de interacción y comercio entre las poblaciones humanas en el pasado (Odell, 2004; Shackey, 1998).

La obsidiana puede categorizarse como un vidrio natural de origen ígneo y textura vítrea y no cristalina (Tarbuck y Lutgens, 2005). Es un sólido amorfo que se forma cuando el magma altamente

viscoso posee alto contenido de silicio y aluminio, se enfría rápidamente, y el proceso de cristalización se ve obstruido (Glascock, 2002). Generalmente su color es negro, gris, marrón o rojizo, con una tonalidad bandeada. Debido a su estructura atómica desordenada, es físicamente amorfa e isotrópica, de fractura concoide. Esta es una de las principales razones por las que sirve de materia prima para hacer herramientas, ya que al carecer de orientaciones privilegiadas para su corte, se puede fragmentar en diferentes direcciones, generando un borde tenaz y cortante. Algunos tipos de obsidiana presentan inclusiones cristalinas que perjudican sus propiedades de fractura produciendo herramientas de baja calidad.

La composición típica de las obsidianas es de 66-75 %  $\text{SiO}_2$ , 10-15 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 3-5 %  $\text{Na}_2\text{O}$ , 2-5 %  $\text{K}_2\text{O}$  y 1-5%  $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$  y elementos traza con concentraciones menores al 1 % (Glascock, 2002). La mayoría de las fuentes de obsidiana son químicamente homogéneas con variaciones del orden del 1 % o menores. Sin embargo, diferentes fuentes tienen distintas composiciones como consecuencia de las rocas madre que fueron fundidas y por cambios particulares de cada caso que se producen en el magma antes de la erupción. Aunque los elementos principales en la obsidiana están restringidos a un rango acotado de composiciones, la abundancia de elementos traza puede diferir en órdenes de magnitud entre distintas fuentes. Si la variación entre fuentes es mayor que la variación dentro de una fuente, la procedencia de la obsidiana utilizada en las piezas puede ser establecida con éxito.

Las técnicas de fluorescencia de rayos X (XRF) y análisis por activación neutrónica (NAA) han sido las más utilizadas por la arqueometría. Para el análisis por activación neutrónica, las principales ventajas residen en que los neutrones térmicos son penetrantes y además permite la medición de alrededor de 30 elementos con buena precisión (<2,5 %). La principal desventaja del método consiste en que una porción de la muestra es destruida, lo cual es indeseable si se trabaja con

patrimonio arqueológico. Además, este método requiere un reactor nuclear, por lo que es costoso. La fluorescencia de rayos X tiene la ventaja de que requiere relativamente poca preparación de la muestra, y la destrucción del artefacto es evitada. El análisis es rápido, puede realizarse *in situ* y el costo es bajo (Glascock, 2002; Salgán, Gil y Neme, 2014; Salgán *et al.*, 2015). Sin embargo, solo se pueden medir en el orden de 10 elementos, la superficie de medición debe ser plana, y puede entregar resultados inconclusos si la muestra es pequeña, delgada o de forma irregular. A su vez, la técnica solo analiza la superficie del material. De esta manera es posible cometer errores al asignar piezas arqueológicas a fuentes líticas.

En este contexto sería de utilidad contar con otras técnicas no destructivas, y de bajo costo que pudieran aportar nuevas variables para disminuir la incertidumbre al asignar fuentes de origen a artefactos arqueológicos de obsidiana. En particular, las ondas elásticas permiten determinar las constantes de rigidez de los sólidos, ya que la velocidad de propagación de aquellas está dada por las propiedades mecánicas. El método ultrasónico de pulso eco se ha utilizado con éxito para estudiar la influencia de la composición química sobre las constantes elásticas dinámicas en vidrio industrial (cuya composición es similar a la obsidiana) observándose buena correlación entre dichas variables (Kilinc, 2016). Por otro lado, el estudio de la atenuación ultrasónica en vidrio ha mostrado picos de absorción cuyas características y posición dependen de la composición del vidrio y la frecuencia de la onda aplicada (Sidkey *et al.*, 1997).

Tsougou y Dabard (2010) utilizaron la técnica de ultrasonido como parte fundamental del análisis estadístico multivariado para la clasificación de piedras de acuerdo con sus propiedades estructurales y mineralógicas. A partir de esto obtuvieron la distribución regional de la materia prima lítica utilizada por grupos humanos durante el periodo Mesolítico y Neolítico en el macizo Armoricano (Tsougou, 2009). Además, se evaluó la influencia de los parámetros mecánicos en la selección,

fabricación y uso de las herramientas de piedra prehistóricas en busca de información acerca de la elección de los tipos de herramientas, evolución tecnológica y la distribución territorial de grupos humanos (Tsobgou y Dabard, 2010). Se observó que las principales propiedades que se correlacionan con la elección de materiales son la isotropía y la fragilidad, en el caso del Mesolítico, y dureza del cuerpo de la herramienta y del filo, durante el Neolítico.

En otros ejemplos se empleó ultrasonido como método complementario a ensayos de fractomecánica en obsidiana. En particular se estudiaron el comportamiento de microfractura (Husien, 2004), la dureza del filo (McPherron *et al.*, 2014), y la elasticidad e isotropía (Prost y Chatellier, 1986). De esta manera se pudo caracterizar la calidad de las distintas fuentes en función de su capacidad de producir herramientas. Sin embargo, la fractomecánica implica la destrucción de la muestra por lo que es aplicable a la caracterización de fuentes, pero no a piezas arqueológicas.

El ultrasonido también ha sido utilizado por la geofísica y geología para caracterizar obsidianas, ya que este dato es útil para desarrollar modelos de propagación de ondas sísmicas (Woeber, Katz y Ahrens, 1963; Suito, Miyoshi, Sasakura, Fujisawa, 1992; Anderson y Schreiber, 1996; Sato, Ito y Aizawa, 2004). Si bien esta disciplina no aporta conocimiento de carácter antropológico, constituye un punto para comparación de resultados.

En este trabajo se analizó la viabilidad de técnicas ultrasónicas con el fin de aportar nuevas variables para disminuir la incertidumbre al asignar artefactos de obsidiana a las fuentes de origen, ya que son de naturaleza no destructiva y son útiles para caracterizar el comportamiento elástico mecánico de los materiales. Técnicas que no cuentan con antecedentes para la arqueología argentina. Para esto se abordaron ensayos preliminares en muestras de obsidiana y de vidrio común para establecer si el método es lo suficientemente sensible como para distinguir entre dichos materiales.

## MARCO TEÓRICO

### Constantes elásticas

Las propiedades mecánicas de un material se pueden caracterizar a través de su tensor de constantes elásticas  $C_{ijkl}$ , el cual relaciona la tensión y la deformación en régimen lineal y se expresa a través de la ley de Hooke generalizada, ecuación (1) (Cheeke, 2012).

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl}\epsilon_{kl} \quad (1)$$

El mismo tiene 81 valores los cuales, por simetría en los tensores de tensión y deformación, se reducen a 36. La condición de preservación de la energía de deformación reduce dicho tensor a 21 constantes. En el caso de que el sólido tenga las mismas propiedades independientemente de la dirección (isotropía lineal) implica que dichas constantes se pueden reducir a solo 2 independientes. A partir de estas se definen otros parámetros como el primer parámetro de Lamé  $\lambda$  (ver ecuación (2)), el módulo de elasticidad transversal  $m$  o  $G$  (ver ecuación (3)), el módulo de compresibilidad  $K$ , el módulo de Young  $E$ , el módulo de elasticidad longitudinal  $M$ , y el coeficiente de Poisson  $\nu$ . Entre estos, dos parámetros cualesquiera describen completamente las propiedades elásticas de los sólidos linealmente isotrópicos como se muestra en la ecuación (4).

$$C_{11} = \lambda + 2\mu \quad (2)$$

$$C_{12} = \lambda \quad (3)$$

$$\sigma = 2\mu\epsilon + \lambda tr(\epsilon)I \quad (4)$$

Donde  $I$  es la matriz identidad y  $tr()$  es la función traza.

## Ondas elásticas

Existen distintos tipos de técnicas para medir las propiedades elásticas de un sólido, y las podemos clasificar en estáticas y dinámicas. Los ensayos estáticos consisten en medir directamente la fuerza aplicada y la deformación que se produce durante pruebas mecánicas. Entre estos métodos se encuentran la flexión de cuatro puntos y la nanoindentación. Las técnicas dinámicas presentan la ventaja que pueden utilizar una mayor variedad de tipos de muestras en tamaño y forma, con gran precisión y en un amplio rango de temperatura. Entre los métodos dinámicos se destacan los de resonancia y los de pulsos. Estos últimos consisten en introducir una perturbación en el material y a partir del tiempo que tarda en recorrer su espesor, se determina la velocidad de onda y al relacionarla con la densidad permite determinar módulos elásticos. En este trabajo se utilizaron métodos dinámicos de pulsos ultrasónicos por su naturaleza no destructiva.

La ecuación general de onda para el movimiento de una partícula de material perfectamente elástico, de tamaño infinitesimal y para desplazamientos de primer orden está dada por la ecuación (5).

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = C \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (5)$$

En el interior de un sólido isotrópico se pueden propagar dos tipos de ondas acústicas: longitudinales (P) y transversales (S). La onda longitudinal es una perturbación ocasionada por una tensión normal, donde el desplazamiento de las partículas del material ocurre en la misma dirección de propagación de la perturbación. Las ondas transversales son ocasionadas por tensiones de cizallamiento y el desplazamiento de las partículas ocurre en el plano perpendicular a la propagación. A partir de la ecuación (5) es posible relacionar las

velocidades de los modos P y S con las constantes elásticas como se muestra en las ecuaciones (6) y (7).

$$M = \rho V_l^2 \quad (6)$$

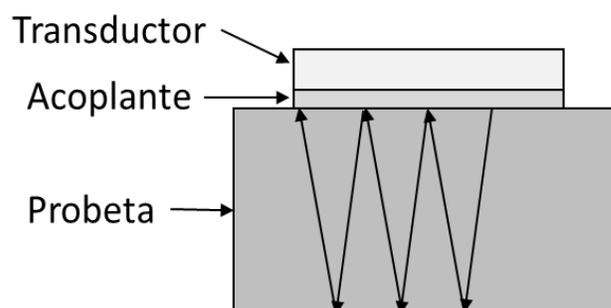
$$\mu = \rho V_s^2 \quad (7)$$

De esta forma a partir de la velocidad de ondas longitudinales, la velocidad de ondas transversales y la densidad se caracteriza el comportamiento elástico de un sólido isotrópico.

## METODOLOGÍA

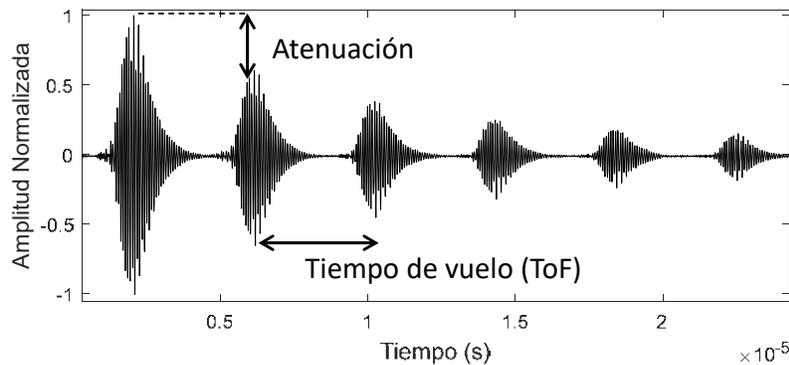
### Pulso eco

Para determinar la velocidad del sonido se implementó la técnica de pulso-eco que consiste en colocar un transductor piezoeléctrico sobre el material, e introducir una perturbación mecánica que se propaga en forma de onda. Esta onda viaja hasta la cara opuesta de la pieza (caras planas) donde se refleja y vuelve hacia el transductor que lo transforma en señal eléctrica. En la figura 1 se incluye un diagrama de la medición y en la figura 2 se observa un tren de ecos obtenido por esta técnica. Otra técnica viable para este tipo de ensayos es el ultrasonido por transmisión (Quintero Ortiz, Cruz-Hernández y Peña-Santos, 2014).



**Figura 1.** Esquema de medición de pulso-eco

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 2.** Tren de ecos obtenido por pulso-eco

**Fuente:** elaboración propia.

A partir de la diferencia de tiempo que hay entre dos ecos sucesivos (*time of flight*) y el espesor de la probeta, se calcula la velocidad como se muestra en la ecuación (8); y a partir del decaimiento relativo se calcula el coeficiente de atenuación representado en la exponencial decreciente de la solución de la ecuación de onda (ver ecuación (9)).

$$V = \frac{2d}{\text{ToF}} \quad (8)$$

$$A(z, t) = A_0 e^{-\alpha z} e^{i(\omega t - kz)} \quad (9)$$

Donde,  $A_0$  es la amplitud inicial,  $\omega$  es la frecuencia angular,  $\alpha$  es el coeficiente de atenuación,  $t$  es el tiempo,  $k$  es el número de onda y  $z$  es la posición.

Más detalles del método utilizado pueden encontrarse en Cowes (2018) y Papadakis (1973).

## Picnometría

La picnometría de gases es una de las técnicas más precisas para medir volumen a partir del principio de desplazamiento de Arquímedes y la ley de Boyle de expansión de gases. En lugar de líquido, se emplea un gas inerte ya que penetra en los poros más pequeños y elimina la influencia

de fenómenos químicos y físicos superficiales. El helio es el gas inerte utilizado por excelencia. La técnica consiste en introducir la muestra en un recipiente de volumen conocido para luego ser presurizado a una presión determinada. Una vez que la presión se estabiliza y se registra, se abre una válvula que permite la expansión del gas hacia otro volumen conocido. Cuando se estabiliza el sistema, se calcula la caída de presión y a partir de esta se obtiene el volumen de la muestra.

## Preparación de muestras

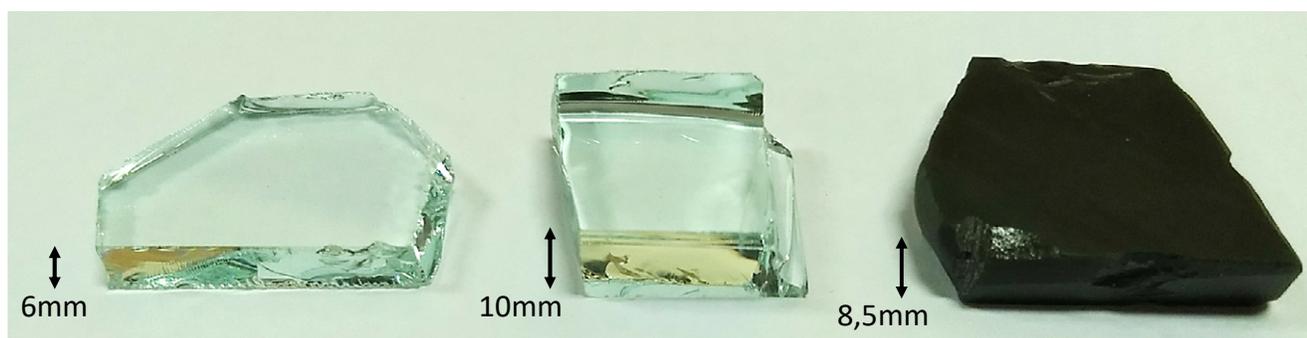
Se preparó una probeta de obsidiana a partir de un fragmento natural obtenido de la fuente laguna del Maule, ubicada próxima al límite internacional entre Argentina y Chile, en la cordillera de los Andes. Los estudios arqueológicos realizados hasta el momento dan cuenta de que la fuente laguna del Maule fue utilizada en ambos flancos de los Andes, en los últimos ca. 8000 años antes del presente (a.p.) (Giesso *et al.*, 2011; Salgán, Gil y Neme, 2012). Su composición química se fue caracterizada por XRF e NAA como parte de diferentes proyectos de investigación (Seelenfreud *et al.*, 1996; Neme y Gil, 2008; Giesso *et al.*, 2011; Cortegoso *et al.*, 2012). Para llevar adelante el presente ensayo, se realizó un corte con sierra diamantada, y se pulió a caras paralelas mediante un tornillo de pulido para tal fin. Se obtuvo una muestra a caras

paralelas con bordes irregulares, pero las dimensiones son tales que la onda no interactúa con dichos bordes. A su vez, se obtuvieron muestras de vidrio común de dos espesores distintos, 6 y 10 mm, para evaluar si la técnica es capaz de diferenciar entre los materiales. El vidrio no fue pulido ya que el acabado superficial y el paralelismo eran suficientemente buenos para los ensayos realizados. Las probetas se muestran en la figura 3.

En la tabla 1 se incluye la comparación de composición de óxidos entre vidrio común y dos tipos de obsidiana. Estos datos son de referencia ya que la composición de la obsidiana utilizada en este trabajo está expresada en elementos y no resulta idónea para este fin.

## Mediciones

El espesor de las muestras fue obtenido por un micrómetro digital calibrado cuya incertidumbre es de  $\pm 1$  mm. Luego se obtuvo la densidad midiendo la masa en una balanza de dos dígitos decimales y el volumen en el picnómetro de gases de alta precisión micromeritics AccuPyc II 1340 con helio. Por último, se realizaron los ensayos de pulso-eco con el equipo generador y amplificador de pulsos Matec 7700 y el inserto 760v con el sensor Matec AD-30c a una frecuencia central de 20 MHz. Las señales fueron acondicionadas y digitalizadas por un osciloscopio digital PicoScope 4227 y posteriormente fueron procesadas en MATLAB.



**Figura 3.** Probetas. De izquierda a derecha: vidrio delgado, vidrio grueso, obsidiana de laguna del Maule

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 1.** Composición en óxidos de vidrio y obsidianas de referencia

Composición de óxidos (% en peso)	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
Vidrio (Bretschneider y Drexler, 2001)	66-75	10-20	5-15	0-5	0-5	≤0.03	0-6
Obsidiana, Nevada, EE. UU. (Husien, 2004)	79,3	4,1	0,4	12,4	4,0	1,5	0,1
Obsidiana, Wada Togue, Japón (Suito <i>et al.</i> , 1992)	76,2	2,8	1,0	12,6	4,2	0,7	0,2

**Fuente:** elaboración propia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se incluyen los resultados de las mediciones. El espesor, el tiempo de vuelo, la masa y el volumen son magnitudes medidas, mientras que la velocidad longitudinal, la densidad y el módulo longitudinal son magnitudes calculadas y se

diferencian en negrita. Estas últimas, al ser propiedades intensivas permiten caracterizar al material y pueden ser utilizadas para distinguir entre materiales. Se observa que, dentro de los intervalos de confianza, las magnitudes obtenidas para ambos vidrios se solapan, es decir que son equivalentes. Para todos los parámetros, la muestra delgada

presenta mayor incertidumbre que la gruesa, es decir que la última tiene una geometría más favorable para este tipo de ensayos. Por otro lado, la muestra de obsidiana, siendo vidrio de otra composición, presenta valores menores en todos los parámetros intensivos, aun considerando la incertidumbre. A partir de esto se deduce que el método sería útil para distinguir entre tipos de amorfos cuando la variación de composición es considerable. A partir de esto, se evidencian dos líneas de acción para la continuación de este trabajo. En primer lugar, tanto tensiones residuales como anisotropía de solidificación podrían variar las propiedades mecánicas dentro una misma fuente, por lo que se requiere realizar un mayor número de mediciones para establecer la variabilidad de parámetros dentro de una misma fuente. Por otro lado, la variación de composición entre obsidianas de distintas fuentes se estima que es menor que entre vidrio y obsidiana de acuerdo a lo presentado en la tabla 1, por ende, debe repetirse este proceso para distintas fuentes. Si la variabilidad dentro de una fuente es menor que entre fuentes entonces los parámetros medidos podrían ser útiles para determinar la procedencia de artefactos líticos de origen arqueológico. Por otro lado, sería útil incluir mediciones con ondas transversales para aportar un mayor número de parámetros y lograr una mejor caracterización

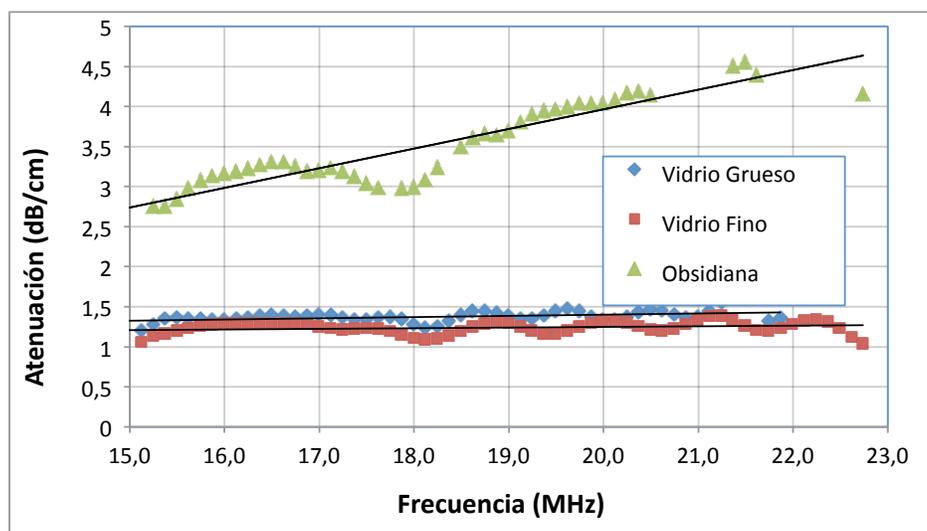
mecánica. Posteriormente los parámetros podrían ser estudiados por análisis de componentes principales con el fin de reducir la dimensionalidad del conjunto de datos (Rueda-Bayonal *et al.*, 2016).

La atenuación de ondas longitudinales se presenta en la figura 4. En primera instancia se observa que dentro del intervalo de confianza del método (Cowes, 2018) la atenuación para las probetas de vidrio se solaparía, por lo que es indistinta. Por otro lado, en el rango de frecuencias de medición, se observa una mayor atenuación para la obsidiana que para los vidrios, probablemente debido a la presencia de dispersores acústicos constituidos por discontinuidades microestructurales. A su vez la dependencia de la atenuación con la frecuencia es mayor para la obsidiana que para los vidrios y esto puede estar en relación con el tamaño de los dispersores y la longitud de onda utilizada. Este parámetro puede resultar útil para determinar la procedencia de obsidianas, ya que la atenuación dominada por la microestructura puede ser independiente de la composición química, pero aun así característica de una fuente en particular. Sería pertinente contrastar estos resultados con análisis micrográficos de los mineraloides; también, sería viable incluir análisis por elementos finitos para simular la propagación en el sólido (Ramos-Cañón, Prada-Sarmiento y Vega-Posada, 2016).

**Tabla 2.** Resultados de las mediciones

Muestra	Vidrio común delgado	Vidrio común grueso	Obsidiana (laguna del Maule)
Espesor [µm]	5874 (1)	9882 (1)	8502 (1)
Tiempo de vuelo [µs]	2,020 (,001)	3,397 (,001)	2,941 (,001)
Velocidad longitudinal [m/s]	5816 (3,0)	5817 (1,8)	5782 (2,1)
Masa [g]	7,87 (,01)	10,46 (,01)	13,13 (,01)
Volumen [cm <sup>3</sup> ]	3,158 (,008)	4,184 (,004)	5,545 (,002)
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	2,492 (,007)	2,500 (,004)	2,368 (,002)
Módulo longitudinal M [Gpa]	84,3 (,3)	84,6 (,1)	79,2 (,1)

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 4.** Atenuación de ondas longitudinales en función de la frecuencia

**Fuente:** elaboración propia.

## CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se realizaron mediciones en una muestra natural de obsidiana con el fin de caracterizar su comportamiento mecánico elástico y de aportar variables a los estudios de procedencia de bienes arqueológicos. Se realizaron mediciones de ultrasonido por pulso-eco con ondas longitudinales a partir de las cuales se obtuvieron el tiempo de vuelo y la atenuación. A su vez, se midieron el espesor y la masa de las probetas, y se determinó el volumen por la técnica de picnometría de gases de alta precisión. Todas las mediciones también se realizaron sobre muestras de vidrio para establecer la capacidad del método de distinguir entre estos amorfos con diferente composición química. Se observó que los parámetros obtenidos presentan diferencias significativas entre los diferentes materiales por lo que se concluye que el método logra dicha distinción. Para continuar esta línea de investigación es necesario caracterizar la variabilidad dentro de una misma fuente y posteriormente entre fuentes. Además, se observó que la atenuación para obsidianas resulta mayor que para el vidrio, y se estima que esto responde a características

microestructurales que no son directamente dependientes de la composición química. Por tanto, este parámetro podría aportar información novedosa, no accesible mediante técnicas geoquímicas, y complementaria para los estudios de procedencia arqueológicos o de autenticidad de piezas de museos. Por otro lado, sería útil incluir mediciones con ondas transversales para acceder a un mayor número de parámetros. A su vez, si se corrobora la capacidad del método de distinguir entre fuentes, será necesario adaptarlo para ser aplicado en piezas arqueológicas que, por lo general, no presentan caras paralelas. Esto podría lograrse a través de la focalización del haz u otra técnica análoga.

## FINANCIAMIENTO

Investigación asociada al proyecto International Centre of Earth Sciences (ICES), y fue avalada y financiada por la Comisión Nacional de Energía Atómica.

Parte de esta investigación fue realizada gracias a los fondos aportados por Conicet y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de Argentina (PICT 2014-3270).

## REFERENCIAS

- Anderson, O.L. y Schreiber, E. (1966). *Measurement of P and S Sound Velocities Under Pressure on Laboratory Models of the Earth's Mantle*. Annual Summary Report. Palisades, Nueva York: Lamont Geological Observatory, Columbia University.
- Bretschneider, J. y Drexler, H. (2001). *Soda-lime-silicate glass composition*. Patente US6218323B1. Estados Unidos.
- Cheeke, J.D.N. (2012). *Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves*. Boca Ratón: CRC Press.
- Cortegoso, V., Neme, G., Giesso, M., Durán, V. y Gil, A. (2012). El uso de la obsidiana en el sur de Mendoza. En A. Gil y G. Neme (eds.), *Paleoecología humana en el sur de Mendoza* (pp. 180-211). Buenos Aires: Sociedad Argentina de Antropología.  
<https://doi.org/10.4067/s0718-10432004002800004>
- Cowes, D.A. (2018). *Técnicas de ultrasonido para la determinación del contenido de H en aleaciones de Zr*. [Tesis de maestría]. Maestría en Ciencia y Tecnología de Materiales, Instituto Sabato, UNSAM, Argentina.  
<https://doi.org/10.17227/ted.num28-1079>
- Giesso, M., Durán, V., Neme, G., Glascock, M.D., Cortegoso, V., Gil, A. y Sanhuesa, L. (2011). A study of obsidian source usage in the central Andes of Argentina and Chile. *Archaeometry*, 53(1), 1–21.  
<https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2010.00555.x>
- Glascock, M.D. (2002). Obsidian provenance research in the Americas. *Accounts of Chemical Research*, 35(8), 611-617.  
<https://doi.org/10.1021/ar010041f>
- Husien, M.S. (2004). *Fracture behavior and mechanical characterization of obsidian: naturally occurring glass*. [Bachelor of science thesis]. Bahir Dar University, Ethiopia.
- Kilinc, E. (2006). *Mechanical and structural properties of soda lime silica glasses as a function of composition*. [Ph. D. Thesis]. The University of Sheffield, Faculty of Engineering, Department of Materials Science and Engineering. England.
- McPherron, S.P., Braun, D., Dogandžić, T., Archer, W., Desta, D. y Lin, S.C. (2014). An experimental assessment of the influences on edge damage to lithic artifacts: A consideration of edge angle, substrate grain size, raw material properties, and exposed face. *Journal of Archaeological Science*, 49, 70-82.  
<https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.04.003>
- Neme, G. y Gil, A. (2008). Biogeografía humana en los Andes Meridionales: tendencias arqueológicas en el sur de Mendoza. *Chungará*, 40, 5-18.
- Odell, G. (2004). Manuals in Archaeological Method, Theory, and Technique. En E. Orser and B. Schiffer (eds.), *Lithics Analysis* (pp. 175-218). Nueva York: Springer Science+Business Media.
- Papadakis, E.P. (1973). The measurement of small changes in ultrasonic velocity and attenuation. *CRC Critical Reviews in Solid State Sciences*, 3(4), 373-418.  
<https://doi.org/10.1080/10408437308244869>
- Prost, D.C. y Chatellier, J. (1986). Contribution méthodologique à l'analyse quantitative des propriétés mécaniques des roches fragiles élastiques. *Revue d'Archéométrie*, 10, 69-74.  
<https://doi.org/10.3406/arsci.1986.1228>
- Quintero-Ortiz, L.A., Cruz-Hernández, R.A. y Peña-Santos, D.Y. (2014). Efecto del contenido de agua sobre la resistencia y la velocidad de pulso ultrasónico del concreto. *Tecnura*, 18(42), 103-113.  
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.4.a08>
- Ramos-Cañón, A.M., Prada-Sarmiento, L.F. y Vega-Posada, C.A. (2016). Análisis de elementos finitos con un continuo elástico lineal tipo Cosserat. *Tecnura*, 20(50), 43-53.
- Rueda-Bayona<sup>1</sup>, J.G., Elles-Pérez, C.J., Sánchez-Cotte, E.H., González-Ariza, A.L. y Rivillas-Ospina, G.D. (2016). Identificación de patrones de variabilidad climática a partir de análisis de componentes principales, Fourier y clúster k-medias. *Tecnura*, 20(50), 55-68.
- Salgán, M.L., Gil, A. y Neme, G. (2012). Obsidianas en La Payunia (sur de Mendoza, Argentina): patrones de distribución e implicancias en la ocupación regional. *Magallania*, 40(1), 263-277.  
<https://doi.org/10.4067/s0718-22442012000100015>
- Salgán, M.L., Gil, A. y Neme, G. (2014). Movilidad, aprovisionamiento y uso de obsidiana en El Payén,

- sur de la provincia de Mendoza, Argentina. *Comechingonia*, 18(1), 33-50.  
<https://doi.org/10.4067/s0718-10432004002800004>
- Salgán, L., Garvey, R., Neme, G., Gil, A., Giesso, M., Glascock, M.D. y Durán, V. (2015). Las Cargas: Characterization and Prehistoric Use of a Southern Andean Obsidian Source. *Geoarchaeology: An International Journal*, 0, 1-12.  
<https://doi.org/10.1002/gea.21502>
- Sato, H., Ito, K. y Aizawa, Y. (2004). Simultaneous velocity and attenuation measurements applicable to various solids at high pressures and temperatures up to 1200 °C. *Meas. Sci. Technol.*, 15, 1787–1793.  
<https://doi.org/10.1088/0957-0233/15/9/016>
- Seelenfreund, A., Rees, C., Bird, R., Bailey, G., Bárcena, R. y Durán, V. (1996). Trace element analysis of obsidian sources and artifacts of Central Chile (Maule River Basin) and Western Argentina (Colorado River). *Latin American Antiquity*, 7, 7-20.  
<https://doi.org/10.2307/3537011>
- Sidkey, M.A., Mallawany, R.E., Nakhla, R.I. y El-Moneim, A. Abd. (1997). Ultrasonic Attenuation at Low Temperature of TeO<sub>2</sub>-V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. *Glasses. Phys. Stat. Sol.*, 159, 397.  
[https://doi.org/10.1002/1521-396x\(199702\)159:2<397::aid-pssa397>3.0.co;2-0](https://doi.org/10.1002/1521-396x(199702)159:2<397::aid-pssa397>3.0.co;2-0)
- Suito, K., Miyoshi, M., Sasakura, T. y Fujisawa, H. (1992). Elastic properties of obsidian, vitreous SiO<sub>2</sub>, and vitreous GeO<sub>2</sub> under high pressure up to 6 Gpa. *Geophysical Monograph Series*, 67, 219-225.  
<https://doi.org/10.1029/gm067p0219>
- Tarback, E.J. y Lutgens, F.K. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la Geología física*. 8a. ed. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Tsobgou, R. A. (2009). Mapping Mesolithic and Neolithic cultures behaviours and interactions with nature and properties of rocks in Western France. *Journal of Archaeological Science*, 36, 1615–1625.  
<https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.03.024>
- Tsobgou, A.R. y Dabard, M.P. (2010). Petrographical, Structural, and Mechanical Analysis of Armorican Phtanites: A Key Raw Material for the Mesolithic in Western France. *Geoarchaeology: An International Journal*, 25(3), 327–351.  
<https://doi.org/10.1002/gea.20310>
- Woeber, A.F., Katz, S. y Ahrens, T.J. (1963). Elasticity of selected rocks and minerals. *Geophysics*, 28(4), 658-663.  
<https://doi.org/10.1190/1.1439242>





## Uso de materiales reciclados en compuestos cementicios

### Using recycled materials in cementitious composites

Hernán Xargay<sup>1</sup>, Marianela Ripani<sup>2</sup>, Antonio Caggiano<sup>3</sup>, Paula Folino<sup>4</sup>, Enzo Martinelli<sup>5</sup>

**Fecha de recepción:** 6 de octubre de 2018

**Fecha de aceptación:** 14 de febrero de 2019

**Cómo citar:** Xargay, H., Ripani, M., Caggiano, A., Folino, P. y Martinelli, E. (2019). Uso de materiales reciclados en compuestos cementicios. *Tecnura*, 23(60), 38-51. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.14697>

#### Resumen

**Contexto:** La producción de hormigón se caracteriza por una importante demanda de energía y materias primas, emitiendo grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI). Asimismo, la construcción, mantenimiento y demolición de edificios genera enormes cuantías de residuos que requieren costosos y ambientalmente sensibles procedimientos de disposición final. Por tanto, en la actualidad se están investigando diversas soluciones para reducir el impacto ambiental de los procesos asociados al ciclo de vida del hormigón.

**Metodología:** Se estudiaron, mediante ensayos experimentales, las propiedades físicas y mecánicas de los siguientes materiales sustentables: hormigón con agregados reciclados, hormigón con reemplazo parcial de cemento Portland por cenizas volantes y compuestos cementicios reforzados con fibras recicladas.

**Resultados:** El uso de agregados gruesos reciclados degradó las características mecánicas del hormigón

debido a su mayor porosidad y capacidad de absorción de agua. Sin embargo, su combinación con cenizas volantes mostró un efecto sinérgico, mitigando las consecuencias adversas mencionadas. La respuesta posfisuración del hormigón reforzado con fibras de acero recicladas se caracterizó por una menor tenacidad y ductilidad respecto a los compuestos con fibras industriales. Específicamente, las mezclas con fibras recicladas mostraron una etapa de ablandamiento más pronunciada. Esto reveló una eficiencia menor de las fibras recicladas con respecto a las industriales.

**Conclusiones:** Los resultados experimentales demostraron que la incorporación de materiales reciclados condujo a un deterioro en el comportamiento físico y mecánico-resistente de los compuestos analizados. No obstante, las propiedades resultantes superaron los valores mínimos recomendados para su aplicación como materiales estructurales.

**Palabras clave:** compuestos cementicios, hormigón, fibras, reciclado, sustentabilidad.

<sup>1</sup> Ingeniero civil, especialista en Ingeniería del Petróleo y Derivados. Docente en LMNI, INTECIN, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. Investigador en Departamento ICES, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Buenos Aires, Argentina. Contacto: [hxargay@fi.uba.ar](mailto:hxargay@fi.uba.ar) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2403-5155>

<sup>2</sup> Ingeniera civil, doctora en Ingeniería. Docente en LMNI, INTECIN, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. Contacto: [mripani@fi.uba.ar](mailto:mripani@fi.uba.ar) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9088-6030>

<sup>3</sup> Ingeniero civil, doctor en Ingeniería. Docente en LMNI, INTECIN, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. Estudiante posdoctoral en Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Technische Universität Darmstadt. Darmstadt, Alemania. Contacto: [acaggiano@fi.uba.ar](mailto:acaggiano@fi.uba.ar) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1027-2520>

<sup>4</sup> Ingeniera civil, doctora en Ingeniería. Docente en LMNI, INTECIN, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. Contacto: [pfolino@fi.uba.ar](mailto:pfolino@fi.uba.ar) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5508-0755>

<sup>5</sup> Ingeniero civil, doctor en Ingeniería. Docente en Università di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile. Fisciano, Italia. Contacto: [e.martinelli@unisa.it](mailto:e.martinelli@unisa.it) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3572-7528>

## Abstract

**Context:** Concrete production is characterized by a significant demand of energy and raw materials, and by emitting large amounts of greenhouse gases (GHG). Moreover, the processes of construction, maintenance, and demolition of buildings generate huge quantities of waste that require costly and environmentally sensitive disposal procedures. Therefore, several solutions are being investigated to reduce the environmental impact of the processes associated with the life cycle of concrete.

**Methodology:** Through experimental tests, the physical and mechanical properties of three sustainable concrete mixtures were studied: concrete with recycled aggregates, concrete with partial replacement of Portland cement by fly ash, and cementitious composites reinforced with recycled fibers.

**Results:** The use of coarse recycled aggregates degraded the mechanical characteristics of the concrete

due to their greater porosity and water absorption capacity. However, the mixture made out of recycled aggregates and fly ash showed a synergistic effect, mitigating the adverse consequences mentioned. The post-cracking response of concrete reinforced with recycled steel fibers was characterized by a lower tenacity and ductility compared to composites with industrial fibers. Specifically, mixtures with recycled fibers showed a more pronounced softening stage. This revealed a lower efficiency of recycled fibers compared to industrial fibers.

**Conclusions:** The experimental results showed that the incorporation of recycled materials led to a deterioration in the physical and mechanical behavior of the analyzed composites. However, the resulting properties exceeded the recommended minimum values required for their application as structural materials.

**Keywords:** cementitious composites, concrete, fibers, recycling, sustainability.

---

## INTRODUCCIÓN

Según su definición original y más citada, el *desarrollo sostenible* debería “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (World Commission on Environment and Development, 1987). Por tanto, la industria de la construcción está enfrentando el gran desafío de hacer que sus procesos sean más sustentables. El sector de la construcción de edificios y la fabricación de cemento son responsables de una parte significativa de las emisiones y de la demanda de materias primas a nivel mundial. En efecto, el 40 % de las emisiones globales de GEI antropogénicas y el 40 % de las materias primas se atribuyen a la industria de la construcción, mientras que la producción anual global de hormigón se aproxima a 25 gigatoneladas, es decir, 3,8 toneladas por persona por año (Gursel, Masanet, Horvath y Stadel, 2014). Por otra parte, la generación de residuos de demolición requiere cada vez más capacidad de rellenos de disposición final y esto, especialmente en algunos

países, implica un impacto considerable en el medio ambiente (Robayo-Salazar *et al.*, 2015). Debido a las enormes cifras mencionadas, cualquier acción capaz de reducir tanto las emisiones de GEI como la demanda de materias primas puede producir potencialmente un efecto global significativo en el ambiente. En este sentido, reciclar hormigón o reusar residuos de otros orígenes en el hormigón para transformarlos en *materias primas secundarias sostenibles* son soluciones apropiadas para responder a los requisitos anteriores y lograr una mayor sostenibilidad en la industria de la construcción.

En los últimos años, se han investigado y desarrollado diversas alternativas para la producción de *hormigones de bajo carbono* (*low carbon concrete*, LCC), denominación que define a aquellos hormigones elaborados mediante la selección de constituyentes y procedimientos orientados a reducir la huella de carbono y la demanda de materias primas naturales (Villegas-Flores y Parapinski Santos, 2013). En este trabajo se estudiarán particularmente los LCC elaborados con: agregados gruesos reciclados, mezclas cementicias que

contienen adiciones de subproductos industriales y compuestos con fibras de acero provenientes de neumáticos reciclados.

En el *hormigón con agregados reciclados* (*recycled aggregate concrete*, RAC) los agregados gruesos naturales son parcial o totalmente sustituidos por agregados reciclados, obtenidos a partir de la selección, trituración y procesamiento del hormigón de desecho. Esta formulación presenta dos grandes ventajas: por un lado, su uso ayuda a preservar las fuentes de agregados naturales y consecuentemente a reducir el impacto ambiental asociado con su explotación, y por otro, permite reducir la cantidad de escombros. Estos últimos provienen de distintas fuentes, entre las que pueden mencionarse: demoliciones, sobrantes de la construcción de obras, y catástrofes, como por ejemplo, las provocadas por sismos de gran magnitud. Las propiedades de los agregados juegan un papel fundamental en el comportamiento de RAC en estado fresco y endurecido, tanto en términos reológicos, de respuesta mecánica, como en su durabilidad a largo plazo. Los agregados reciclados obtenidos a partir de la trituración de hormigón (*recycled concrete aggregates*, RCA) presentan una mayor porosidad que los agregados naturales debido a que habitualmente una capa del mortero original permanece adherida al agregado reciclado luego del proceso de trituración. Esta capa modifica las propiedades de la zona de transición o interface, con una fuerte incidencia sobre el mecanismo de falla de RAC (Ripani, Etse y Vrech, 2017). Si bien son muchos los factores que inciden sobre las propiedades de RAC, resulta fundamental el porcentaje de reemplazo (R) de agregados naturales. En la actualidad, algunas guías internacionales de diseño tienen en cuenta la utilización de agregados reciclados (ACI 555-R01, 2001; 121-DRG RILEM TC, 1994). En general, se recomienda limitar a valores bajos el porcentaje de reemplazo de agregados naturales por agregados reciclados (alrededor del 30 %) y en estas condiciones, se acepta el uso de ese hormigón para fines estructurales. La utilización de RAC en porcentajes bajos

de reemplazo ya es una realidad en muchos países, incluyendo a Argentina, a pesar de que los códigos de diseño estructural nacionales no han sido actualizados debidamente para tener en cuenta la incidencia de estos nuevos componentes en el comportamiento global de la mezcla.

Como se mencionara anteriormente, otra alternativa sustentable consiste en la incorporación de materiales cementicios suplementarios en la mezcla que, en general, son subproductos de procesos industriales. Su empleo es deseable no exclusivamente desde el punto de vista de la conservación del medio ambiente y de la energía, sino también por los beneficios que pueden ofrecer al hormigón. Se los puede utilizar como adición o como sustitución parcial del cemento Portland. Algunos ejemplos de materiales cementicios suplementarios son las cenizas volantes, la escoria granulada de alto horno, el humo de sílice y las puzolanas naturales. Específicamente, las cenizas volantes (*Fly Ash*, FA) se obtienen como residuo de la combustión del carbón en plantas generadoras de electricidad.

Finalmente, el otro tipo de compuesto que se presenta en este trabajo es el hormigón reforzado con fibras, concretamente, con fibras de acero provenientes del reciclado de neumáticos de desecho. En este sentido, es ampliamente conocido que el hormigón se caracteriza por poseer una considerable resistencia a la compresión, sin embargo, cuando dominan los mecanismos de falla por tracción presenta muy baja resistencia y ductilidad. Por tanto, incrementar la tenacidad del hormigón conduciría a mejorar su comportamiento resistente global. De hecho, agregar una pequeña fracción (generalmente del orden de 0,5 % al 1,0 % en volumen) de fibras cortas es una forma efectiva de mejorar la tenacidad del compuesto y obtener un material al que, en general, se lo denomina *compuesto cementicio reforzado con fibras* (*fiber-reinforced cementitious composite*, FRCC) o, en particular, *hormigón reforzado con fibras* (*fiber-reinforced concrete*, FRC). En cuanto al tipo de fibras, se han utilizado de diversos materiales tales como acero, vidrio, celulosa natural, carbono,

polipropileno, entre otros (ACI-544.1-96, 1996). A propósito de los LCC, resulta atractiva la reutilización de las fibras de acero provenientes de neumáticos usados, ya que su eliminación se ha convertido en un gran problema en la gestión de residuos y su creciente cantidad constituye una grave amenaza para el medio ambiente y la salud humana. En efecto, la Directiva del Consejo 1999/31/CE de la Comisión Europea sobre rellenos sanitarios de residuos (EU-Directive 1999/31/EC, 1999) estableció que, desde 2003, ya no pueden ser dispuestos en ellos los neumáticos enteros usados y, a partir de 2006, tampoco en estado triturado. Por consiguiente, existe una fuerte motivación para reciclar estos residuos ya que pueden convertirse en una fuente de materias primas secundarias: las fibras recicladas obtenidas del refuerzo interno de acero se pueden usar en sustitución de las fibras industriales para producir FRC ecosustentable.

En síntesis, en este artículo se describen las actividades experimentales realizadas sobre el estudio del comportamiento de los LCC, que fueron desarrolladas en el marco de los proyectos de investigación denominados “Environmentally-friendly solutions for Concrete with Recycled and natural components” (EnCoRe, FP7-PEOPLE-IRSES-2011) y “Sustainability-driven international/intersectoral Partnership for Education and Research in modeling next generation CONCRETE” (SUPERCONCRETE, H2020-MSCA-RISE-2014).

## METODOLOGÍA

En esta sección se describen los materiales utilizados y los procedimientos experimentales llevados a cabo para cada tipo de LCC analizado.

### Agregados reciclados en el hormigón

El programa experimental desarrollado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires para caracterizar mecánicamente a los RAC incluyó, entre otros, ensayos a compresión uniaxial y triaxial con tres niveles de confinamiento. Inicialmente, se diseñó y elaboró un hormigón de referencia con una resistencia a la compresión de 35 MPa. Se utilizaron agregados gruesos triturados de origen granítico y con tamaño máximo nominal de 19 mm, y como agregados finos, una combinación de arena fina de río y arena de trituración. Una vez finalizados los ensayos mecánicos previstos sobre las probetas elaboradas con este hormigón, se trituraron los especímenes, y los agregados gruesos obtenidos de este proceso fueron posteriormente reutilizados para la producción de RAC con la misma dosificación original (figura 1). Se descartaron todos los agregados reciclados más finos que el tamiz de 4,75 mm de abertura (Palacio-León, Chávez-Porras y Velásquez-Castiblanco, 2017). Adicionalmente, se consideraron tres porcentajes de reemplazo (R) de agregados gruesos



(a)



(b)

**Figura 1.** (a) Agregados gruesos graníticos usados para el hormigón de referencia y (b) RCA obtenido luego del proceso de trituración del mismo hormigón

**Fuente:** elaboración propia.

naturales por reciclados. En este sentido, se denominó NAC al hormigón sin agregados reciclados, y R30 %, R60 % y R100 % a los RAC con un valor R de 30 %, 60 % y 100 %, respectivamente. En la tabla 1 se aprecia la disminución tanto de la consistencia como de la densidad de las mezclas en estado fresco a medida que se incrementa el nivel de reemplazo R (Folino y Xargay, 2014).

### Reemplazo de cemento Portland por cenizas volantes

La actividad descrita en este párrafo se desarrolló en la Università degli Studi di Salerno y tuvo por objetivo profundizar el conocimiento sobre el comportamiento mecánico y la durabilidad de los

hormigones fabricados con RCA y FA, y su posible aplicación con fines estructurales. Para ello, a partir de una composición de hormigón de referencia se diseñaron 12 mezclas, reemplazando parte de los constituyentes ordinarios (es decir, cemento, arena y agregados gruesos) por FA y RCA. Algunas de las características mecánicas evaluadas fueron la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción indirecta, mientras que la durabilidad se examinó mediante la determinación de la permeabilidad al agua, la profundidad de carbonatación y el ingreso de iones de cloruro (Martinelli, Koenders y Caggiano, 2013; Lima *et al.*, 2013; Pepe, Koenders, Faella y Martinelli, 2014).

Las tablas 2 y 3 brindan información fundamental de los agregados empleados en la campaña.

**Tabla 1.** Resultados de ensayos físicos en estado fresco de las mezclas estudiadas

	NAC	R30 %	R60 %	R100 %
Asentamiento [mm]	180	170	80	55
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	2420	2385	2382	2346

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 2.** Aspecto de los agregados naturales y reciclados clasificados según sus fracciones granulométricas

Tipo de agregado	Arena (0-2mm)	N1 (2-10mm)	N2 (10-20mm)	N3 (20-31,5mm)
Naturales				
Reciclados				

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 3.** Características físicas de los agregados

Tipo	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Absorción de agua [%]			
		Arena (0-2mm)	N1 (2-10mm)	N2 (10-20mm)	N3 (20-31,5mm)
Natural	2690	1,20	0,70	0,50	0,30
Reciclado	2369	12,20	6,00	3,00	1,80

**Fuente:** elaboración propia.

Además, la primera columna de la tabla 4 informa un código que denota la mezcla y proporciona datos clave sobre el tipo de agregados y el contenido de cenizas volantes.

En particular, el agregado natural se denota con la letra N; mientras que con R se indica la presencia de un porcentaje dado de agregados reciclados (30, 60 o 100 %). Adicionalmente, una primera letra indica el nivel de contenido de cenizas volantes (L, para contenido bajo de 80 kg/m<sup>3</sup>; M, para medio de 220 kg/m<sup>3</sup>, y H, para alto de 255 kg/m<sup>3</sup>). La mezcla de referencia fue la N, diseñada únicamente con agregados naturales según EN 206-1 (2006) para una clase de exposición XC2 y de resistencia C25/30. Para esta mezcla de referencia se utilizó la cantidad mínima de cemento sugerida por la norma europea mencionada, igual a 280 kg/m<sup>3</sup>. También de la tabla 4, se puede observar que la densidad de los RAC fue siempre menor que la de los hormigones elaborados con agregados naturales. Esto se debe a que los RCA poseen mayor porosidad y, por ende, menor densidad que los naturales (ídem tabla 1).

## Incorporación de fibras de acero recicladas en el hormigón

A continuación, se describen las acciones realizadas con el propósito de estudiar el comportamiento mecánico de FRC elaborado con fibras de acero industriales y recicladas, estas últimas recuperadas de neumáticos de desecho. Para este fin, se prepararon especímenes de diferentes mezclas, caracterizadas por contener un mismo volumen de fibras pero en diferentes proporciones de fibras industriales y recicladas, y fueron evaluados tanto a compresión como a flexión. Más específicamente, se partió de una mezcla de FRC de referencia con 0,5 % en volumen de fibras de acero industriales (*industrial steel fibers*, ISF), es decir 40 kg/m<sup>3</sup>, y se prepararon tres mezclas más reemplazando el 25 %, 50 % y 100 % de dichas fibras con una cantidad igual de fibras recicladas (*recycled steel fibers*, RSF). De este modo, el comportamiento mecánico del hormigón reforzado solo con ISF fue comparado con el hormigón con un híbrido de fibras de acero (industriales y recicladas) y

**Tabla 4.** Composición de las mezclas evaluadas

Mezcla	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	NA [%]	NA [kg/m <sup>3</sup> ]	RCA [%]	RCA [kg/m <sup>3</sup> ]	Agua [kg/m <sup>3</sup> ]	Fly Ash [kg/m <sup>3</sup> ]	CEM I 42,5R [kg/m <sup>3</sup> ]
N	2414	100	1970	0	0	164,0	—	280
LN	2384	100	1890	0	0	164,0	80	250
LR30	2325	70	1323	30	500	171,9	80	250
LR60	2273	40	750	60	1005	188,2	80	250
LR100	2255	0	0	100	1665	259,6	80	250
MN	2336	100	1705	0	0	161,3	220	250
MR30	2283	70	1195	30	450	167,8	220	250
MR60	2239	40	685	60	905	179,0	220	250
MR100	2219	0	0	100	1500	248,8	220	250
HN	2321	100	1705	0	0	161,3	255	200
HR30	2268	70	1195	30	450	167,8	255	200
HR60	2209	40	675	60	900	178,7	255	200
HR100	2204	0	0	100	1500	248,8	255	200

**Fuente:** elaboración propia.

también con el hormigón reforzado solo con RSF, con el objetivo de determinar la factibilidad de su uso como material estructural (Caggiano, Xargay y Martinelli, 2015; Caggiano *et al.*, 2017; Martinelli, Caggiano y Xargay, 2015).

Las fibras de acero recicladas empleadas en este estudio (figura 2a) fueron suministradas por una empresa dedicada a recolectar y reciclar neumáticos usados. Se realizó una caracterización geométrica detallada en un grupo de aproximadamente 2000 RSF muestreadas al azar. De acuerdo con dichas mediciones, el diámetro promedio de las fibras oscilaba entre 0,11 y 1,64 mm, caracterizado por un valor medio de 0,27 mm. El valor medio de la proyección de la longitud de las fibras fue de 12 mm y el 47 % de las longitudes de fibra medidas se

encontró entre 9 y 15 mm. Por otra parte, en este estudio se consideraron las fibras industriales Wirand FS7 con ganchos en los extremos (figura 2b), que en lo siguiente serán genéricamente referidas como ISF. Sus principales propiedades geométricas y mecánicas son: longitud de la fibra 33 mm, diámetro de la fibra 0,55 mm, relación de esbeltez (longitud característica/diámetro) 60 y resistencia a la tracción 1200 MPa.

Se realizaron ensayos a tracción por flexión en cuatro puntos con el objetivo de caracterizar el comportamiento posfisuración de las muestras de FRC. Estas pruebas se ejecutaron de acuerdo con lo establecido por la norma (UNI-11039-2, 2003). En la figura 3 se puede apreciar el esquema experimental con la instrumentación de un espécimen.



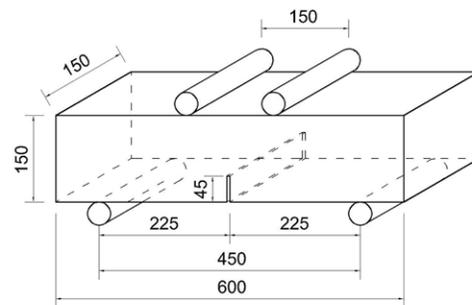
(a)



(b)

**Figura 2.** Fibras de acero (a) recicladas e (b) industriales

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 3.** Configuración general del ensayo a flexión en cuatro puntos con viga entallada

**Fuente:** elaboración propia.

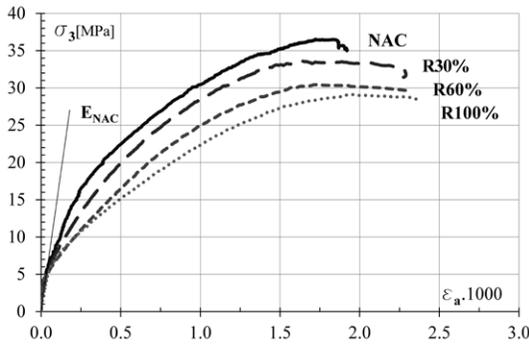
## RESULTADOS

A continuación, se presentan separadamente los principales resultados alcanzados en el desarrollo de las campañas experimentales.

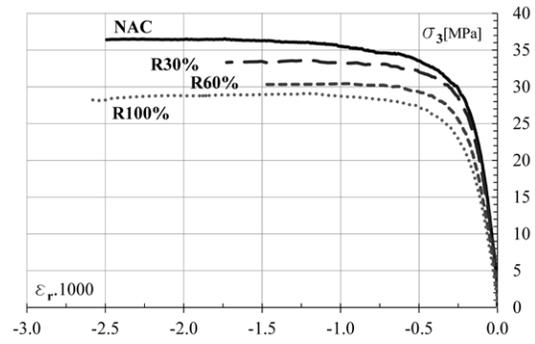
### Agregados reciclados en el hormigón

En este apartado, se resumen los resultados obtenidos de la evaluación mecánica de los hormigones elaborados con agregados gruesos reciclados. En la figura 4 se presentan las curvas tensión vs

deformación del ensayo de compresión uniaxial, donde puede observarse que tanto la resistencia a compresión ( $\sigma_3$ ) como el módulo de Young (E) disminuyeron al aumentar el reemplazo R de agregados. En la figura 5 se resumen los resultados de las pruebas triaxiales, donde se aprecia que el confinamiento mejoró considerablemente la resistencia a la compresión y que con el incremento de R el hormigón fue ligeramente más sensible al confinamiento. En resumen, el uso de hormigón triturado como reemplazo de los agregados de origen natural modificó las propiedades



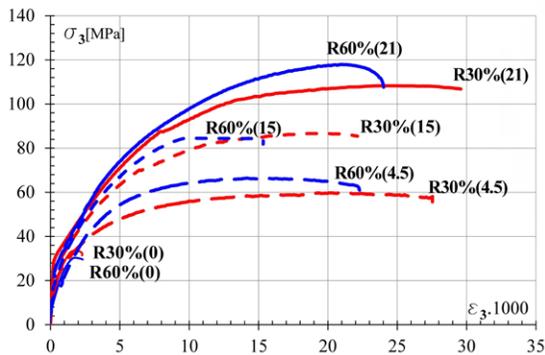
(a)



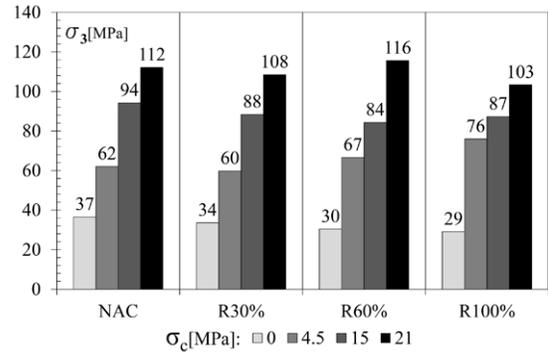
(b)

**Figura 4.** Resultados de compresión uniaxial en RAC: curvas medias completas de (a) tensión  $\sigma_3$  vs. deformación axial  $\epsilon_a$ ; (b) tensión  $\sigma_3$  vs. deformación radial  $\epsilon_r$

Fuente: elaboración propia.



(a)



(b)

**Figura 5.** Resultados de compresión triaxial en RAC: (a) curvas medias completas de tensión  $\sigma_3$  vs. deformación axial  $\epsilon_a$  para R30 % y R60 %; (b) evolución de tensión pico  $\sigma_3$  según el confinamiento  $\sigma_c$  aplicado

Fuente: elaboración propia.

fundamentales de la mezcla de referencia. Se debe destacar la degradación de su resistencia y rigidez debido a la mayor porosidad y capacidad de absorción de agua de los agregados reciclados.

### Reemplazo de cemento Portland por cenizas volantes

En cuanto a la incorporación de cenizas volantes en la mezcla cementicia, se estudió su incidencia en las propiedades físico-mecánicas del hormigón resultante. En la figura 6 se muestran los resultados de resistencia a compresión uniaxial para cada tipo de mezcla a distintas edades. Se puede observar que la

sustitución del agregado natural por los reciclados disminuyó la resistencia a la compresión para cada edad de curado. No obstante, la sustitución parcial del cemento Portland por FA generó un incremento de la resistencia para edades mayores a 60 días.

En la figura 7 se puede apreciar la evolución de la resistencia a compresión uniaxial en función del porcentaje de reemplazo de agregados reciclados, para distintos contenidos de cenizas volantes. Se distingue claramente la influencia simultánea del uso de distintos porcentajes de RCA y de FA, sobre la resistencia a compresión uniaxial del RAC. En dicha figura, se muestra el valor adimensional  $f_c^R/f_c$ , siendo este la relación entre la resistencia a

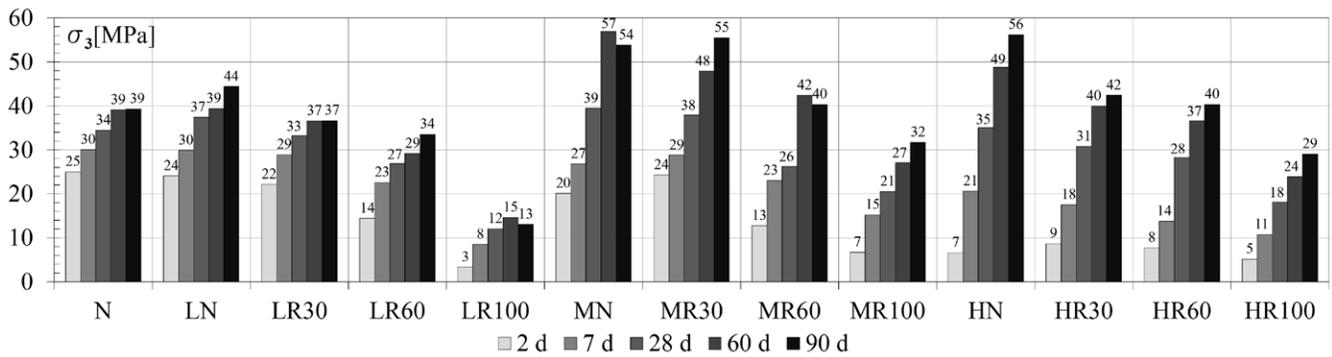


Figura 6. Variación temporal de la resistencia a compresión uniaxial

Fuente: elaboración propia.

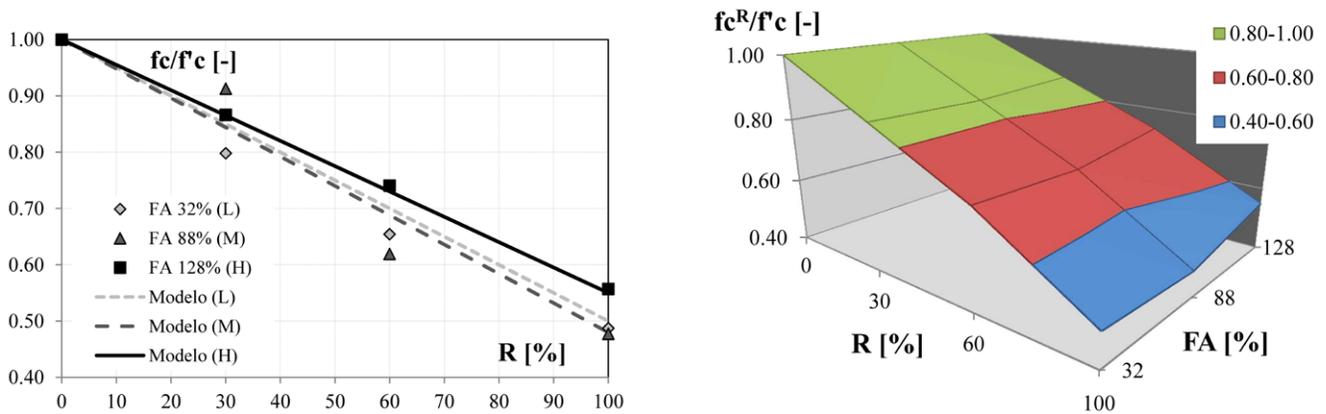


Figura 7. Evolución de la resistencia a compresión uniaxial  $f_c$  para distintos porcentajes de FA y R

Fuente: elaboración propia.

compresión ( $f_c$ ) de las mezclas con componentes reciclados, respecto al valor de la resistencia a compresión de la mezcla patrón ( $f'_c$ ). Asimismo, los valores experimentales  $f_c/f'_c$  se detallan en la tabla 5. Puede observarse que conforme aumenta el contenido de RCA, disminuye  $f_c$ . Contrariamente, la resistencia a compresión uniaxial aumenta con el contenido de FA. El comportamiento mecánico previamente descrito puede ajustarse con suficiente exactitud a través de relaciones lineales, como se muestra en la figura 7. En la tabla 5 se presentan las pendientes de esas rectas, llamadas  $\alpha_R$ , calibradas a partir de los resultados experimentales para un valor FA dado. Cuanto mayor es el contenido de FA, menor resulta  $\alpha_R$ .

**Tabla 5.** Relaciones  $f_c/f'_c$  y pendientes  $\alpha_R$  para distintos contenidos de FA y RCA.

R [%]	Resistencia a compresión relativa ( $f_c/f'_c$ )		
	FA 32 % (L) $\alpha_R = 5,0 \%$	FA 88 % (M) $\alpha_R = 5,2 \%$	FA 128 % (H) $\alpha_R = 4,5 \%$
0	1,00	1,00	1,00
30	0,85	0,84	0,87
60	0,70	0,69	0,73
100	0,50	0,48	0,55

**Fuente:** elaboración propia.

En lo que respecta a las características asociadas a la durabilidad, como es conocido, la permeabilidad del hormigón se rige principalmente por las características de la pasta más que por las de los agregados. Por tanto, la presencia de FA en el hormigón redujo la permeabilidad del material compuesto debido a que refina la microestructura de la pasta, compensando el aumento esperado de la porosidad por la presencia de RCA. Las mezclas de hormigón con cantidades más altas de FA mostraron la menor permeabilidad al agua. Por su parte, la penetración de iones de cloruro se ve incrementada por la presencia de RCA en el hormigón, pero, al mismo tiempo, el uso de FA la disminuye. La profundidad de la carbonatación se controla principalmente por las características de

la pasta: es mayor para valores más altos de la relación efectiva de agua/aglomerantes.

Los resultados destacaron que el comportamiento mecánico y de durabilidad más deficiente del hormigón producido con agregados reciclados –inducido por la alta porosidad de los RCA– se puede correlacionar con la mayor proporción de relación agua/aglomerantes que se deriva de los procedimientos estándar adoptados para la dosificación de hormigón estructural. Además, el aumento porcentual de los agregados reciclados ha sido perjudicial en términos de trabajabilidad del hormigón en estado fresco, aun incorporando mayores cantidades de aditivos fluidificantes. También se han investigado muestras de hormigón con contenidos de cemento menores y con cenizas volantes mayores que los límites establecidos por las actuales normas europeas. Si bien estos hormigones han mostrado propiedades mecánicas y físicas más pobres, aún es factible aceptar una ampliación de dichos límites y debería implementarse en las futuras versiones de los estándares mundiales, como un impulso adicional hacia la producción de hormigones estructurales más sostenibles. En síntesis, los resultados obtenidos revelan que el uso combinado RCA y FA puede lograr un efecto sinérgico en términos de las propiedades físicas y mecánicas más relevantes del hormigón, mitigando las consecuencias desfavorables del uso de estos agregados. Las mezclas producidas con incluso una gran cantidad de RCA y FA muestran resultados aceptables para su aplicación como hormigón estructural.

### Incorporación de fibras de acero recicladas en el hormigón

A continuación se detallan los resultados de los ensayos mecánicos realizados en hormigones reforzados con fibras de acero recicladas. En la tabla 6 se resumen los valores pico medios obtenidos de las pruebas a compresión en muestras cúbicas de hormigón simple (PC) y de FRC. No se observaron diferencias significativas entre los especímenes sin refuerzo y los de FRC, esto significa que dicha

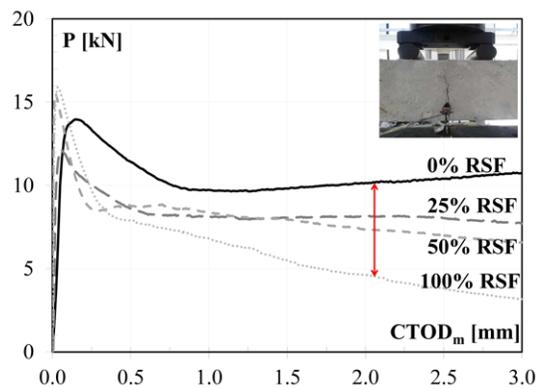
resistencia se encuentra principalmente controlada por las propiedades de la matriz cementicia.

**Tabla 6.** Resultados de los ensayos a compresión uniaxial en cubos  $f'_c$  y densidades

Mezcla	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]		f'c a 28 días [MPa]	
	PC	SFRC	PC	SFRC
REFERENCIA	2371		42,59	
RSFRC 0-05	2376	2413	40,57	39,01
RSFRC 25-05	2428	2435	36,42	36,52
RSFRC 50-05	2459	2450	36,89	36,74
RSFRC 100-05	2446	2491	36,69	37,37

**Fuente:** elaboración propia.

La figura 8 muestra las curvas experimentales de la carga vertical (P) en función de los desplazamientos de abertura de la punta de fisura ( $CTOD_m$ , mean value of two Crack Tip Opening Displacements measured) registrados en los ensayos a tracción por flexión en cuatro puntos. En la figura 9 se observa el aspecto de las superficies completamente fracturadas de las vigas y la distribución de las fibras, luego de finalizar los ensayos a flexión. Por su parte, en la figura 10 se presentan comparativamente tres parámetros característicos establecidos por la norma (UNI-11039-2, 2003), que describen la respuesta del material compuesto luego de la fisuración. Estos se definen como la resistencia a la primera fisuración ( $f_{IF}$ ) y dos resistencias



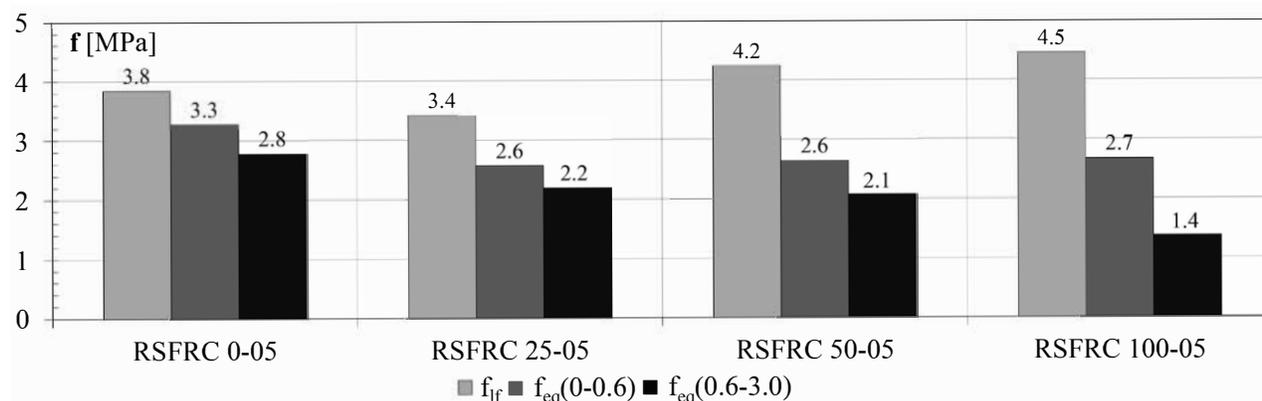
**Figura 8.** Resultados de ensayos a flexión en cuatro puntos: curvas de carga vertical P vs. CTOD<sub>m</sub>

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 9.** Detalle de distribución de fibras en especímenes luego de ser ensayados

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 10.** Parámetros característicos medios del ensayo a flexión en cuatro puntos: resistencia a la primera fisuración,  $f_{1f}$ , y resistencias equivalentes posfisuración,  $f_{eq}(0-0.6)$  y  $f_{eq}(0.6-3.0)$

**Fuente:** elaboración propia.

equivalentes post-fisuración: la primera  $f_{eq(0-0.6)}$  corresponde a un CTOD que varía entre  $CTOD_0$  y  $CTOD_0 + 0,6$  mm y es relevante para el estado límite de servicio, mientras que el segundo  $f_{eq(0.6-3.0)}$  se refiere a un CTOD que varía entre  $CTOD_0 + 0,6$  y  $CTOD_0 + 3,0$  mm, y es representativo del estado límite último.  $CTOD_0$  representa el CTOD correspondiente a la carga máxima de la muestra de hormigón simple, es decir, sin fibras.

El efecto del reemplazo de ISF por RSF se puede comprender mediante el análisis las curvas presentadas. La respuesta posfisuración de los especímenes FRC reforzados solo con ISF se caracterizó por una tenacidad y ductilidad muy significativa. En cambio, las muestras con una mayor cantidad de RSF en sustitución de ISF mostraron generalmente una etapa de ablandamiento más pronunciada luego del pico de carga. Esto señala una eficiencia menor de las fibras recicladas con respecto a las industriales, que están diseñadas específicamente para mostrar una excelente interacción con la matriz. En particular, las fibras recicladas no son rectas, no tienen ganchos de anclaje y tienen relaciones de esbeltez más bajas.

Los resultados confirmaron la prometedora aplicación del hormigón reforzado con fibras de acero recicladas de neumáticos usados. Las propiedades resultantes superaron los valores mínimos

reglamentarios exigidos para su uso como material estructural. Sin embargo, la evidencia experimental demuestra que las fibras industriales no pueden ser reemplazadas por una cantidad igual de fibras recicladas sin derivar en un deterioro de la respuesta a la tracción pospico del compuesto.

## CONCLUSIONES

En este trabajo, se presentó una síntesis de las actividades científicas realizadas en el contexto de los proyectos EnCoRe y SUPERCONCRETE, que trataron el concepto, la caracterización material y aplicación estructural de compuestos ecosustentables, elaborados con diversos tipos de componentes reciclados o naturales. Los proyectos han abarcado desde el uso clásico de materias primas secundarias como sustitutos del cemento, por ejemplo, cenizas volantes, así como también consolidar tecnologías emergentes, como el uso de agregados de hormigón reciclado de residuos de demolición y fibras de acero del reciclado de neumáticos. Se han identificado novedosas líneas de investigación en los efectos sinérgicos provocados por el uso simultáneo de más de un componente reciclado.

Por último y como corolario de las actividades desarrolladas, se ha establecido y difundido una base conceptual científica para el uso de estos

materiales *verdes* y tecnologías asociadas en el sector de la construcción. Esta ha sido una exitosa experiencia internacional, basada en el intercambio académico, donde la investigación aplicada en ingeniería hizo su aporte específico para impulsar un desarrollo económico y social sostenible. En el futuro se deberán intensificar los esfuerzos dirigidos a incrementar la sustentabilidad de la industria de la construcción, con énfasis en ampliar las regulaciones existentes para incorporar estos nuevos materiales. De hecho, este marco regula inevitablemente la posibilidad de expandir su uso en los sectores de la construcción y la ingeniería civil.

## FINANCIAMIENTO

Las investigaciones presentadas en este trabajo se desarrollaron en el marco de los proyectos EnCoRe (FP7-PEOPLE-2011-IRSES, No. 295283, 2012-2014, <https://cordis.europa.eu/project/rcn/102094/factsheet/es>) y SUPERCONCRETE (H2020-MSCA-RISE-2014, No.645704, 2015-2019, <https://cordis.europa.eu/project/rcn/194367/es>) financiados por la Comisión Europea.

## REFERENCIAS

121-DRG RILEM TC (1994). Specification for concrete with recycled aggregates. *Materials and Structures*, 27(173), 557-559.

ACI 555-R01 (2001). *Removal and reuse of hardened concrete. Reporte del ACI Committee 555*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.

ACI-544.1-96 (1996). *State-of-the-art report on fiber reinforced concrete. Reporte del ACI Committee 544*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.

Barros, J., Ferrara, L. y Martinelli, E. (2017). *Recent Advances on Green Concrete for Structural Purposes. The Contribution of the EU-FP7 Project EnCoRe*. Milano: Springer.

Caggiano, A., Folino, P., Lima, C., Martinelli, E. y Pepe, M. (2017). On the mechanical response of Hybrid

Fiber Reinforced Concrete with Recycled and Industrial Steel Fibers. *Construction and Building Materials*, 147, 286-295.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.160>

Caggiano, A., Xargay, H. y Martinelli, E. (2015). Experimental and numerical characterization of the bond behavior of steel fibers recovered from waste tires embedded in cementitious matrices. *Cem. Concr. Compos.*, 62, 146-155.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.04.015>

EU-Directive 1999/31/EC. (1999). *Council of 26 April 1999 on the landfill of waste* (pp. 1-19). Off. J. Eur. Union L182.

Folino, P. y Xargay, H. (2014). Recycled aggregate concrete – Mechanical behavior under uniaxial and triaxial compression. *Construction and Building Materials*, 56, 21-31.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.073>

Gursel, A., Masanet, E., Horvath, A. y Stadel, A. (2014). Life-cycle inventory analysis of concrete production: a critical review. *Cement and Concrete Composites*, 51, 38-48.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.03.005>

Lima, C., Caggiano, A., Faella, C., Martinelli E., M.P. y Realfonzo, R. (2013). Physical properties and mechanical behavior of concrete made with recycled aggregates and fly ash. *Construction and Building Materials*, 47, 547-559.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.051>

Martinelli, E., Caggiano, A. y Xargay, H. (2015). An experimental study on the post-cracking behaviour of Hybrid Industrial/Recycled Steel Fibre-Reinforced Concrete. *Construction and Building Materials*, 94, 290-298.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.007>

Martinelli, E., Koenders, E. y Caggiano, A. (2013). A numerical recipe for modelling hydration and heat flow in hardening concrete. *Cem. Concr. Compos.*, 40, 48-58.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.06.001>

Palacio-León, Ó., Chávez-Porras, Á. y Velásquez-Castiblanco, Y.L. (septiembre de 2017). Evaluación y comparación del análisis granulométrico obtenido

de agregados naturales y reciclados. *Tecnura*, 21(53), 96-106.

<https://doi.org/10.14483/22487638.8195>

Pepe, M., Koenders, E., Faella, C. y Martinelli, E. (2014). Structural concrete made with recycled aggregates: Hydration process and compressive strength models. *Mech. Res. Commun.*, 58, 139-145.

<https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2014.02.001>

Ripani, M., Etse, G. y Vrech, S. (2017). Recycled aggregate concrete: Localized failure assessment in thermodynamically consistent non-local plasticity framework. *Computers and Structures*, 178, 47-57.

<https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2016.08.007>

Robayo-Salazar, R.A., Matthey-Centeno, P.E., Silva-Urrego, Y.F., Burgos-Galindo, D.M. y Arjona, S. (Junio de 2015). Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia

su gestión, manejo y aprovechamiento. *Tecnura*, 19(44), 157-170.

<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.2.a12>

UNI-11039-2. (2003). *Steel fibre reinforced concrete— Test method to determine the first crack strength and ductility indexes*. Milán, Italia: UNI Editions.

Villegas-Flores, N. y Parapinski dos Santos, A. C. (Diciembre de 2013). Análisis de indicadores para determinar el grado de sostenibilidad en concretos especiales. *Tecnura*, 17(38), 12-25.

<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2013.4.a01>

World Commission on Environment and Development (1987). *WCED Our common future*. Oxford: Oxford University Press.





## Darcy-Weisbach resistance coefficient determination using Newton-Raphson approach for android 4.0

### Determinación del coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach mediante la utilización del método de aproximación Newton-Raphson para aplicaciones Android 4.0

Edgar Orlando Ladino Moreno<sup>1</sup>, César Augusto García Ubaque<sup>2</sup>, María Camila García Vaca<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 15 de agosto de 2018

**Fecha de aceptación:** 14 de febrero de 2019

**Cómo citar:** Ladino M., E.O, García U., C.A. y García V., M.C. (2019). Darcy-Weisbach resistance coefficient determination using Newton-Raphson approach for android 4.0. *Tecnura*, 23(60), 52-58. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.14929>

#### Abstract

**Context:** The article presents the friction coefficient calculation for pressure pipes, from Newton-Raphson numerical method, under JavaScript source code for Android 4.0 or higher.

**Methodology:** The code development is based on Colebrook-White model for turbulent flows. The app also establishes the friction coefficient for laminar flows from the Poiseuille equation and determines the range for the enter flow in a transition zone (unstable flow). An algorithm of successive approximations was implemented for non-linear equation solution based on the relative roughness and Reynolds number.

**Results:** In the Newton-Raphson method, if the initial value moves away from zero or presents different inflection points, the probability of divergence of the method increases significantly. To overcome this anomaly, a friction coefficient equal to 0.015 was proposed as initial (seed) value; thereby we guarantee the convergence for turbulent flows with an

approximation of 0.0000001. The values calculated by the app were calibrated with the Excel analysis tool (Goal Seek).

**Conclusion:** The app is available for free in Google Play Store, and is a tool to support educational processes and the professional field.

**Keywords:** Android, coefficient of friction, Colebrook-White, Darcy-Weisbach, head losses in pipes, JavaScript code, Newton-Raphson, numerical methods.

#### Resumen

**Contexto:** El artículo presenta el cálculo de coeficiente de fricción para tubos de presión, utilizando el método numérico Newton-Raphson, usando código JavaScript para Android 4.0 o superior.

**Metodología:** El desarrollo del Código está basado en el modelo de Colebrook-White para flujos turbulentos. La aplicación también establece el coeficiente de fricción para flujos laminares utilizando la ecuación de Poiseuille, y determina el rango de flujo

<sup>1</sup> Civil Engineer, Topographic Engineer, MsC Civil Engineering. Associated Professor Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D. C. Contact: [edgar.ladino@unimilitar.edu.co](mailto:edgar.ladino@unimilitar.edu.co). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7770-452X>.

<sup>2</sup> Civil Engineer, MsC Civil Engineering, PhD in Engineering. Associated Professor Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D. C. Contact: [cagarcaiu@udistrital.edu.co](mailto:cagarcaiu@udistrital.edu.co). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3332-1666>.

<sup>3</sup> Chemical Engineer, MsC Chemical Engineering. Colombia, Bogotá D. C. Contact: [mgarciav@ucatolica.edu.co](mailto:mgarciav@ucatolica.edu.co). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1382-7387>.

de entrada en zona de transición (flujo inestable). Se implementó un algoritmo de aproximaciones sucesivas para solución de ecuaciones no lineales basado en la rugosidad relativa y en el número de Reynolds.

**Resultados:** En el método de Newton-Raphson, la probabilidad de divergencia aumenta considerablemente si el valor inicial es diferente de cero o presenta distintos puntos de inflexión. Para superar esta anomalía, se propone un coeficiente de fricción de 0.015 como valor inicial (valor semilla). De esta manera se

garantiza la convergencia de flujos turbulentos con aproximación de 0.0000001. Los valores calculados por la aplicación fueron calibrados utilizando la herramienta de análisis de Excel© (Goal Seek).

**Conclusión:** La aplicación está disponible en Google Play Store y es gratuita. Es una herramienta para apoyar procesos educativos y trabajos en sector productivo.

**Palabras clave:** *Android, coeficiente de fricción, Colebrook-White, Darcy-Weisbach, tuberías, JavaScript, Newton-Raphson, métodos numéricos.*

## INTRODUCTION

In the last decade, the development of apps for mobile devices on Android platform, along with the increase of processing velocity and storage capacity, have originated user- service oriented technologies. This is especially evident in the case of specialized user needs. An increase of software development for mobile devices to solve specific problems in business (*m-business*), marketplace (*m-commerce*), and education (*m-learning*) has been observed (Gasca, Camargo, & Medina, 2013) (Yin, Weng, & Chu, 2012).

Educative Software Engineering (ESE) classifies these computational tools into algorithms and heuristics. Algorithms pose different systematic processes that lead the student to a determined answer. On the other hand, heuristic tools lead to appropriation of knowledge by means of experimentation and autonomous discovering. Synergies between both algorithmic and heuristic tools produce the intelligent tutorial systems development (Galvis A., 1992).

Therefore, the aim of this paper is to present the development of a mobile app in Android platform that calculate Darcy's friction factor, to be used as a tool in both learning and professional processes. JavaScript source code for Android v. 4.0 or higher was used. Poiseuille model was used for laminar flow cases, and Colebrook-White model for turbulent flow cases. Transition zone between the two

types of developed flow regimen, where flow present an unstable behavior, was also calculated.

### Friction coefficient

According to regulation for potable water and basic sanitation (RAS 2017), hydraulic calculation for pressured systems in Colombia must be effectuated using Darcy-Weisbach 1845 model. It is a widely known empiric equation that determines load loss due to energy dissipation in the form of friction. This friction is the result of the interaction between fluid and its conducting structure, or pipeline (equation (1)).

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (1)$$

Where,  $h_f$ : load loss (m);  $f$ : friction coefficient;  $L$ : pipe length (m);  $D$ : pipe diameter (m);  $V$ : flow velocity (m/s);  $g$  gravity acceleration (m/s<sup>2</sup>).

There are numerous models to calculate Darcy's friction coefficient, or friction factor. Most of them are empirical models limited to the range of experimentation in which they were formulated, such as Moody equation. Another example is Swamee-Jain general equation. It presents satisfactory results for most flow conditions, except for smooth turbulent flow, in which a correction factor is necessary (Andrade, 2001).

However, Colebrook-White model has been widely preferred due to its precision within turbulent

conditions. Since it is a non-explicit expression, its solution requires the use of numeric methods. In this work, we used Newton-Raphson method for optimizing point integration (equation (2)).

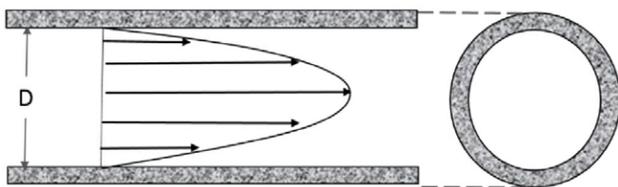
$$\frac{1}{\sqrt{f}} + 2 \log \left[ \frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{f}} \right] = 0 \quad (2)$$

Where,  $f$ : Friction coefficient;  $e$ : pipe rugosity (m);  $D$ : pipe diameter (m);  $R_e$ : Reynolds Number.

## Laminar Flow

Laminar Flow is determined by values of Reynolds number below 2300. It is known that under this flow condition, viscous forces are significant in comparison to inertial forces, and therefore the fluid moves in an overlapping form with independent layers. In this case, the system behaves according to the Newton equation for viscous fluids. (Saldarriaga, 2007).

In figure 1, we see the typical velocity distribution of a laminar flow inside a cylindrical pipe. The highest velocity is reached in the center of the tube, and the lowest flow velocities are found in the surface of the pipe, where the fluid is in direct contact with the solid walls. The result of this phenomenon is a parabolic velocity profile. (Saldarriaga, 2007).



**Figure 1.** Laminar flow scheme

**Source:** own work

In the condition of a laminar flow, and therefore a Reynolds Number below 2300, friction coefficient may be calculated from Poiseuille equation (equation (3)).

$$f = \frac{64}{R_e} \quad (3)$$

According to Reynolds' early experiments, for values between 2300 and 4000, approximately, the flow undergoes a transitional behavior. Because of that, this range of values of Reynolds Number is known as the Transition Zone. In this case, neither laminar or turbulent flow are well defined, and thus friction factor cannot be calculated (equation (4)).

$$2300 < R_e < 4000 \quad (4)$$

## Turbulent Flow

Turbulent flow may be defined as a vectorial chaos; in it we find continuous mixture conditions, due to vortex rupture. (Sotelo, 1997). Despite this widely observed phenomenon, recent studies have found vortex behavioral patterns in turbulent systems, which may defy the paradigms of turbulence according to current notions. In fact, tests to model disorganized and complex turbulent flow conditions into series of somehow organized movement patterns, known as "coherent structures", have been made with mixed results. (Dennis, 2015).

## Newton-Raphson Method

Newton-Raphson method optimizes the Newton point integration method by defining a more robust convergence equation. Convergence will exist if the difference of absolute value of calculated values in two successive iterations decreases while the number of iterations ( $n$ ) increases (Quinta & Villalobos, 2005). The algorithm has been generalized in numerous forms to solve non-linear problems, equation systems, non-linear differential, and integral equations (Díaz & Benítez, 1998). However, if the function is not differentiable and presents discontinuity in the calculation interval, the Newton-Raphson method will not converge. In such cases, it will be necessary to apply another numeric method to find the root of the non-linear equation. Newton-Raphson method requires an initial assumed value  $f_0$  (seed value) (equation (5)).

$$f_{n+1} = f_n - \frac{f(f_n)}{f'(f_n)} \quad (5)$$

Now, in the problem of calculating the friction factor, Colebrook-White equation becomes the function, as noted below (equation (6)).

$$f(f) = \frac{1}{\sqrt{f}} + 2 \log \left[ \frac{e}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right] = 0 \quad (6)$$

And, the first derivative becomes (equation (7)).

$$f'(f) = -\frac{1}{2}f^{-1.5} + \frac{2 \left[ \frac{-2.51}{2Re} f^{-1.5} \right] \log(e)}{\left[ \frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right]} \quad (7)$$

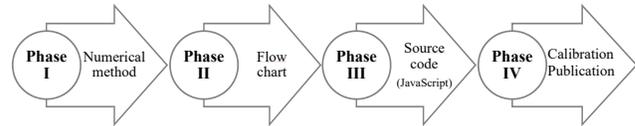
Therefore, Newton-Rapson convergence equation will become (equation (8)).

$$f_{n+1} = f_n - \frac{\frac{1}{\sqrt{f_n}} + 2 \log \left[ \frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f_n}} \right]}{-\frac{1}{2}f_n^{-1.5} + \frac{2 \left[ \frac{-2.51}{2Re} f_n^{-1.5} \right] \log(e)}{\left[ \frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f_n}} \right]}} \quad (8)$$

## METHODOLOGY

In this work, we followed four main methodological steps (figure 2): (1) to define the numeric method to solve Colebrook-White equation in the Turbulent Flow condition, (2) to establish the flow diagram of the app’s iterative process, (3) to develop the source

code in JavaScript, and (4) to calibrate resulting calculations with Goal Seek function in Excel.



**Figure 2.** methodological steps followed during the development of the app.

**Source:** own work.

Source code was developed using JavaScript. Once the solution converges, the result appears in a separated window on the screen. The relative rugosity and Reynold Number, which are both dimensionless.

In figure 3, we present the flow diagram of the iterative process the app follows to calculate Darcy’s friction factor.

## RESULTS

Resulting calculations for Darcy’s friction factor were calibrated by comparing them to solutions calculated through the Goal Seek function in Excel. In table 1, we present the comparison between various calculation with different input data.

**Table 1.** App Calibration

Initial constant parameters				Iteration (Excel)		App (JavaScript)	Relative Error
Cinematic viscosity [m2/s]	Diameter [m]	e/D	Reynolds Number	Friction Coefficient f	Objective Function	Friction Coefficient f	
0.00000114	0.0254	0.0059055	9556.3253	0.0389467	0.00000	0.0389467	0.00000
0.00000180	0.2500	0.0006400	340884.62	0.0188204	0.00000	0.0188203	0.00001
0.00000200	0.3000	0.0005667	194386.05	0.0191998	0.00000	0.0191999	-0.00001
0.00000520	0.3500	0.0005143	37004.337	0.0238461	0.00000	0.0238461	0.00000
0.00000240	0.4000	0.0004750	1178097.2	0.0169594	0.00000	0.0169594	0.00000
0.00000750	0.4500	0.0004444	689186.89	0.0170454	0.00000	0.0170453	0.00001
0.00000650	0.5000	0.0003000	135934.3	0.0186149	0.00000	0.0186149	0.00000
0.00000740	0.5500	0.0002909	1464024.6	0.0153622	0.00000	0.0153622	0.00000
0.00000410	2.0000	0.0000850	24596372	0.0117060	0.00000	0.0117060	0.00000
0.00000530	3.0000	0.0000500	30008137	0.0106547	0.00000	0.0106547	0.00000
0.00000850	4.0000	0.0000400	20845391	0.0103238	0.00000	0.0103238	0.00000

**Source:** own work.

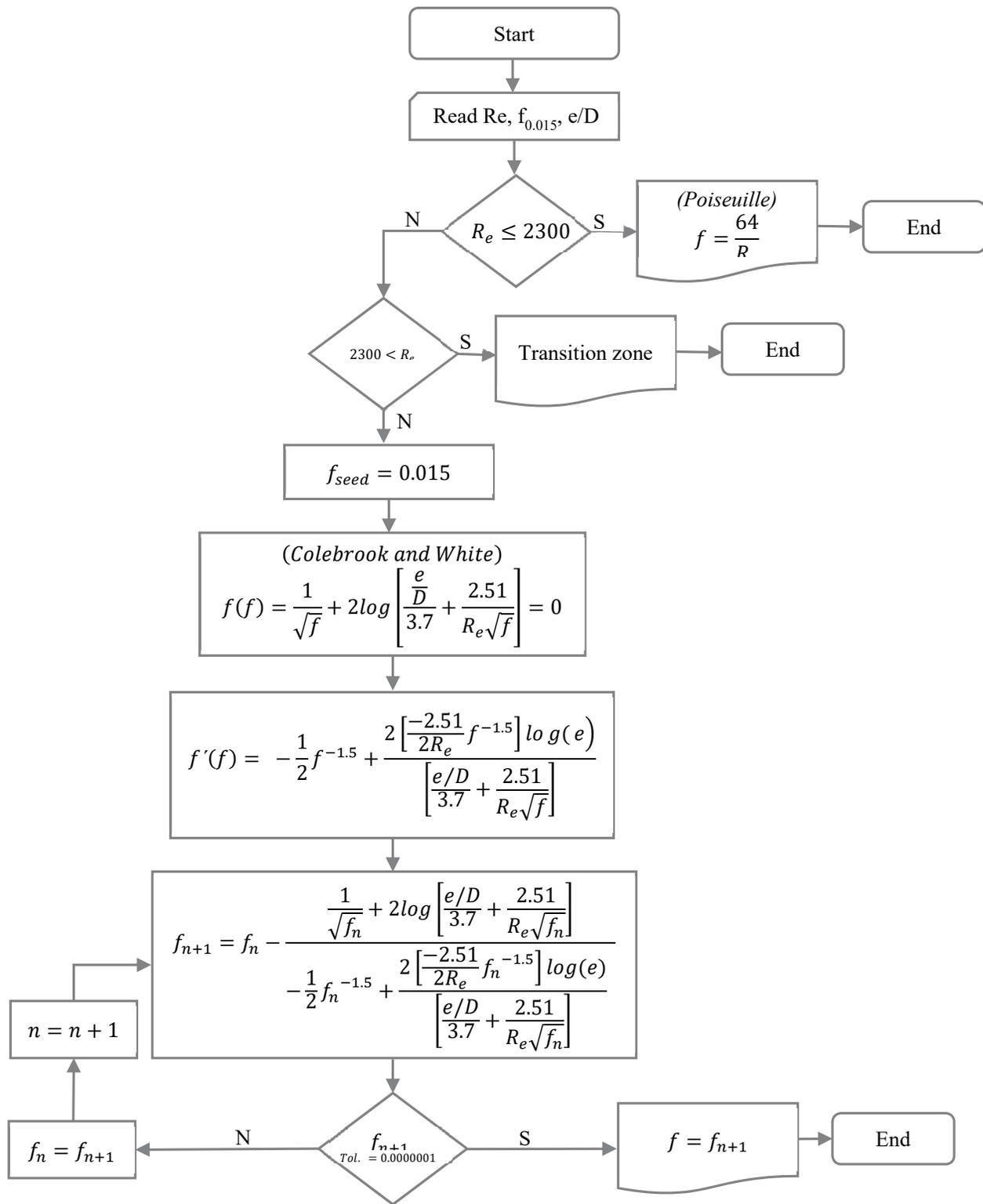


Figure 3. App Flow Diagram

Source: own work.

### Laminar flow conditions

The relative rugosity of a pipe is 0.0000015. If the Reynolds Number is 1550, the app conduces the calculation of friction coefficient using Poiseuille model for Laminar Flow. Therefore, the result will be  $f = 0,0412903$ , as shown in figure 4.

### Transition zone flow conditions

If the relative rugosity of the pipe is 0.0000045 and the Reynolds Number is 3456, the flow is in the transition zone, so the app will indicate exactly that as shown in figure 5.

### Turbulent flow conditions

If the relative rugosity of a pipe is 0.0000018 and the Reynolds Number is 845203, the app will use Newton-Raphson method to solve Colebrook-White equation and calculate the friction coefficient. Seed value is already determined to  $f = 0.015$ . the result is  $f = 0,0120250$ , as shown in figure 6.

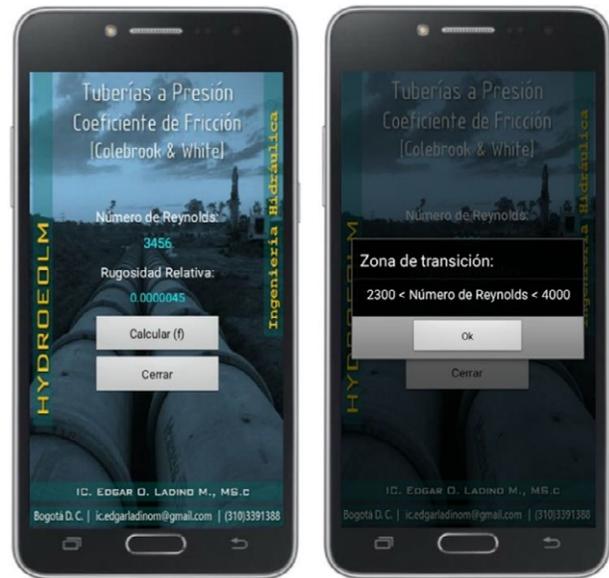


Figure 5. Unstable flow (Friction coefficient app)

Source: own work.

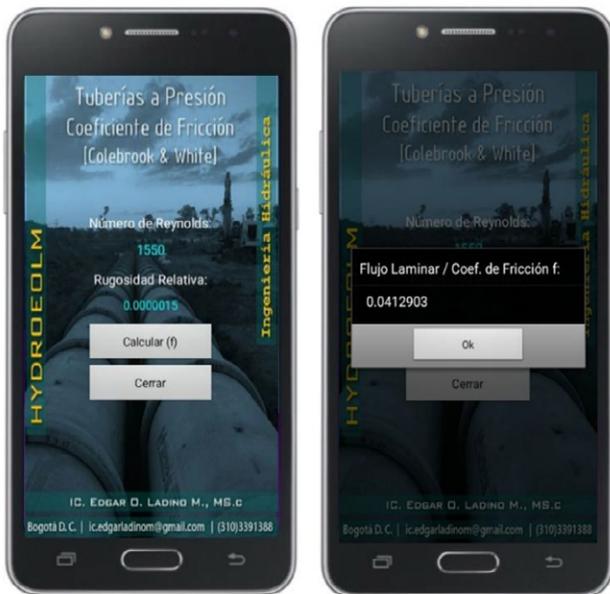


Figure 4. Laminar flow (Friction coefficient app)

Source: own work.

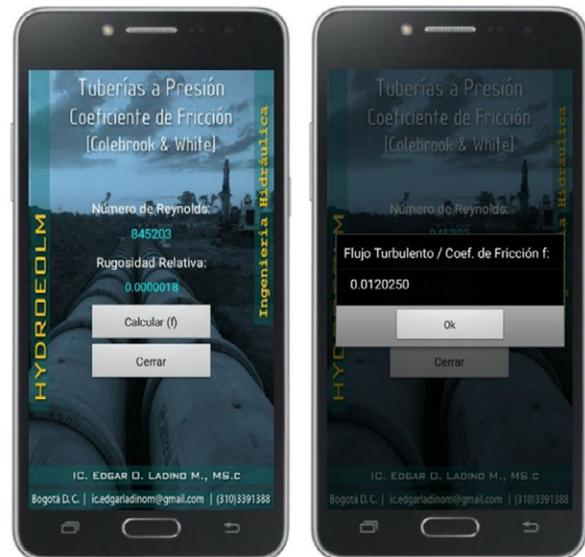


Figure 6. Turbulent Flow (Friction coefficient app)

Source: own work.

The solution for turbulent flow conditions is coherent with the one obtained by the Goal Seek function, shown in the table 2.

**Table 2.** Friction Coefficient calculation through Excel goal seek

Iter.	$f_{n+1}$	$f(f_n)$	$f'(f_n)$	Newton Raphson
1	0.015	-1.04844577	-300.5490240419	0.011511565
2	0.011511565	0.21978769	-441.9012112595	0.012008933
3	0.012008933	0.00668876	-415.4650626663	0.012025033
4	0.012025033	0.00000653	-414.6543258936	0.012025048
5	0.012025048	0.00000000	-414.6535341883	0.012025048
6	0.012025048	0.00000000	-414.6535341876	0.012025048
7	0.012025048	0.00000000	-414.6535341876	0.012025048
8	0.012025048	0.00000000	-414.6535341876	0.0120250

Source: own work

## CONCLUSIONS

The app “[App cálculo del coeficiente de fricción](#)” accurately calculates Darcy’s friction factor for Laminar and Turbulent Flow Conditions. It also indicates when the input data corresponds to the Transition Zone.

The development of mobile apps for educational purposes (*m-learning*) is a valuable tool for autonomous learning. Therefore, the app “[App cálculo del coeficiente de fricción](#)” contributes to Fluid Mechanics and Hydraulics academical environments. It allows students to experiment with varied input data and explore different initial conditions of the problem.

## REFERENCES

Andrade, L. &. (2001). Analysis of the Swamee-Jain’s equation for the calculation of friction factor. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*.

<https://doi.org/10.1590/s1415-43662001000300030>

Dennis, D. J. (2015). Coherent structures in wall-bounded turbulence. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 1162.

<https://doi.org/10.1590/0001-3765201520140622>

Díaz & Benítez, J. M. (1998). *Introducción a los métodos numéricos para la resolución de ecuaciones*. Cádiz: Ingrasa Artes Gráficas.

Galvis A., P. (1992). *Ingeniería de Software Educativo*. Bogotá D. C.: Ediciones Uniandes.

Gasca M. C. et al, M. (2013). Metodología para el desarrollo de aplicaciones móviles. *Tecnura*, 22.

Gómez C. et al, R. (1998). Ingeniería de software educativo con modelaje orientado por objetos: un medio para desarrollar micromundos interactivos. *Informática Educativa Uniandes*, 37.

Lindley, C. (2013). *JavaScript Enlightenment*. New York: Simon St. Laurent and Meghan Blanchette.

Quinta & Villalobos, P. E. (2005). *Métodos Numéricos con aplicaciones en Excel*. Barcelona: Reverté S. A.

Saldarriaga, J. (2007). *Hidráulica de Tuberías*. Bogotá D. C.: Alfaomega.

Sotelo, G. (1997). *Hidráulica General*. México D. F.: Limusa.





## Desempeño de un material granular estabilizado con cemento cuando se aplica carga a compresión

### Performance of a granular material stabilized with cement when compressive loading is applied

Edgar Humberto Sánchez Cotte<sup>1</sup>, Gleidys María Torres Chueco<sup>2</sup>, Rodrigo Elías Esquivel Ramírez<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 12 de septiembre de 2018

**Fecha de aceptación:** 14 de febrero de 2019

**Cómo citar:** Sánchez C., E.H, Torres C., GM. y Esquivel R., R.E. (2019). Desempeño de un material granular estabilizado con cemento cuando se aplica carga a compresión. *Tecnura*, 23(60), 59-71. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.14640>

#### Resumen

**Contexto:** Esta investigación evalúa la resistencia a la compresión de un material granular mezclado compuesto por arcilla y arena, con el objetivo de optimizar su diseño.

**Métodología:** Los factores estudiados fueron el contenido de cemento, la humedad, los golpes de compactación y la relación arcilla/arena. Además, se realizó un diseño experimental inicial de  $2^4$ .

**Resultados:** Los resultados permitieron identificar que el factor significativo es el contenido de cemento. Por otro lado, se exploró para la optimización un diseño de un solo factor con tres niveles (175; 200; y 225 Kg/m<sup>3</sup>) y dos réplicas.

**Conclusiones:** El diseño experimental permitió identificar el valor óptimo del factor contenido de cemento en la frontera de la región de experimentación seleccionada (150 Kg/m<sup>3</sup>).

**Palabras clave:** Sub base, estabilización, suelo cemento, ANOVA.

#### Abstract

**Context:** This research evaluates the compressive strength of a mixed granular material composed of clay and sand, in order to optimize its design.

**Methodology:** The factors studied were the cement content, the humidity, the compaction blows, and the clay/sand ratio. Additionally, an initial experimental design of  $2^4$  was performed.

**Results:** The results allowed to identify that the significant factor is the cement content. On the other hand, a single-factor design with three levels (175; 200; and 225 Kg/m<sup>3</sup>) and two replicas was explored for optimization.

**Conclusions:** The experimental design allowed to identify the optimal value of the cement content factor in the border of the selected experimental region (150 Kg/m<sup>3</sup>).

**Keywords:** Sub base, stabilization, cement floor, ANOVA.

<sup>1</sup> Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería Civil, Doctor (c) en Ingeniería. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [esanchez@udistrital.edu.co](mailto:esanchez@udistrital.edu.co) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7370-8745>

<sup>2</sup> Estudiante de arquitectura Universidad del Norte. Barranquilla, Colombia. Contacto: [gchueco@uninorte.edu.co](mailto:gchueco@uninorte.edu.co) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9159-8639>

<sup>3</sup> Ingeniero Civil, Especialista en Vías. Universidad Distrital Francisco José de caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [resquivelr@udistrital.edu.co](mailto:resquivelr@udistrital.edu.co) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6048-7098>

## INTRODUCCIÓN

Un experimento se puede definir como una prueba o serie de pruebas en las que se hacen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema para observar e identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en la variable de salida (Montgomery, 2005). Teniendo en cuenta esto, se puede pensar que el diseño de experimentos está relacionado en gran parte con la industria (Aad et al., 2011). Sin embargo, el ámbito de aplicación incluye el análisis de una amplia cantidad de fenómenos, tales como: emisiones generadas por los automotores debido al estado de las vías, la presión lateral ejercida por el hormigón en estado fresco sobre el encofrado (Santilli, Puente, & Tanco, 2011), o el desempeño de los pavimentos teniendo en cuenta las condiciones de fabricación.

En el campo de aplicación de la ingeniería de pavimentos, el diseño y análisis de experimentos ha sido empleado en diferentes condiciones, por ejemplo para evaluar el efecto del contenido de cal en la clasificación y separación de HMA (Khodaii, Haghshenas, & Kazemi Tehrani, 2012), para optimizar la confiabilidad de la base granular cuando se estabiliza con cemento (Tan, Zaimoglu, Hinishlioglu, & Altun, 2005), o bien para evaluar la condición del pavimento, la resistencia del pavimento, la incidencia del estado superficial del pavimento sobre el consumo de combustible, las emisiones generadas por los vehículos y el grado de accidentalidad (Cunto & Saccomanno, 2008; Madanat, Prozzi, & Han, 2017)(2).

En este artículo se presenta la planeación, desarrollo y análisis de un experimento para analizar los factores que influyen en la resistencia a la compresión (carga máxima kN.) de un material granular compuesto por arcilla y arena. Como se trata de un material que se utiliza en la construcción de parte de la estructura de un pavimento, se utiliza como instrumento de experimentación la norma INVIAS (Instituto Nacional de Vías, Colombia), sección 600 como base técnica y se proponen

diferentes combinaciones de rangos para el desarrollo de la fase experimental, con el propósito de conocer cuál sería el comportamiento del material al recibir cargas a compresión.

Metodológicamente se utiliza un diseño de experimento factorial  $2^4$  que permite conocer cuáles son los factores que tienen efecto significativo sobre la resistencia presentada por el material. El análisis de este experimento permitió proponer el experimento definitivo y estimar el mejor comportamiento del material con relación a la variable respuesta y los factores seleccionados.

Inicialmente, se presenta el experimento de tamizaje que permite identificar los factores que tienen efecto significativo sobre la variable respuesta denominada resistencia a la compresión. Luego se presenta el experimento factorial definitivo. En los dos casos se verifica la adecuación de los modelos propuestos. Posteriormente se hace el análisis de los resultados y se procede a realizar la optimización del diseño del material. Al final son presentadas las conclusiones principales del trabajo.

## METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología utilizada para analizar el desempeño del material granular estabilizado con cemento cuando se aplica carga a compresión.

### Materiales

El experimento fue desarrollado en varias etapas. La primera tuvo que ver con la adquisición de cada uno de los materiales a utilizar. La arcilla que se utilizó fue extraída en el relleno sanitario “Los Pocitos” de la empresa Triple A, la arena proviene del municipio de Santo Tomás, situado en el nordeste del Departamento del Atlántico, en la región Caribe, ubicado en la ribera del río Magdalena, y parte de su economía gira entorno a la explotación minera (de arena para la construcción), y el cemento Portland Tipo 1, fue producido por Argos (figura 1).



**Figura 1.** Materiales arcilla, arena y cemento hidráulico Portland

**Fuente:** elaboración propia.

### Experimento de tamizado 2<sup>4</sup>

En general, el diseño 2<sup>k</sup> es utilizado en las etapas iniciales del trabajo experimental ya que proporciona el menor número de corridas con las que pueden estudiarse k factores en un diseño factorial completo (Montgomery, 2005).

El trabajo presentado se ubica en el contexto de análisis del comportamiento de materiales mezclados de tipo granular, cuyos componentes son arcilla y arena, los cuales están presentes en los suelos y pueden constituirse como materiales de sub base sobre los cuales se construyen las vías. Técnica-mente el estudio se enmarca en un material granular mezclado cuyos componentes son arcilla y arena, con adición de cemento hidráulico el cual aporta a su estabilización y puede ser utilizado en la estructura de un pavimento, específicamente en la sub base que es la capa que se encuentra entre la base y la sub rasante o terreno natural en un pavimento asfáltico. Debido a que está sometida a menores esfuerzos que la base, su calidad puede ser inferior y generalmente está constituida por materiales locales granulares o marginales.

### Diseño

Como se trata de un material mezclado, para el cual se pueden definir diferentes condiciones de experimentación, se considera que su análisis

puede hacerse por la vía de la experimentación. Inicialmente, se pretende lograr identificar los factores más relevantes que inciden en la resistencia presentada por el material cuando se presentan cargas impuestas a compresión.

Normalmente los materiales estabilizados para ser utilizados en sub base contienen adiciones que alteran favorablemente desde el punto de vista del comportamiento ingenieril, algunas propiedades como la textura, la trabajabilidad, la plasticidad y la resistencia (Sabogal, 2007).

Para el diseño, se plantean cuatro factores, siendo todos cuantitativos, tal como se ve en la tabla 1, para el desarrollo experimental.

De acuerdo con los estudios previos realizados un material granular tipo suelo estabilizado con cemento o simplemente suelo cemento se logra vertiendo sobre él cemento portland, en un porcentaje que puede variar entre un 7 y un 12% atendiendo al tipo de suelo, y cada uno ofrece comportamientos distintos en cuanto a la resistencia, por tanto, su variación en proporción de los factores es muy relativa a las condiciones del material. El porcentaje de humedad adecuado puede estar entre el 8 y el 16%, que sería un porcentaje similar al que el suelo posee antes de los trabajos de excavación, aunque puede cambiar dependiendo de las condiciones que se presenten en las obras. Una forma práctica de comprobar si nuestro suelo posee la consistencia deseada, es tomar

un puñado de este y apretarlo en la mano, así podremos saberlo, si el puñado se cohesionan sin ensuciar la mano y la porción compactada puede partirse en dos entonces tenemos un suelo con la consistencia adecuada.

**Tabla 1.** Factores y niveles del diseño experimental.

Factor	Descripción	Código	Nivel
A	Contenido de cemento (Kg. / m <sup>3</sup> )	-	0
		+	150
B	Humedad (%)	-	9
		+	16
C	No. de golpes de compactación	-	25
		+	35
D	Relación (Arcilla/Arena)	-	1
		+	1,5

**Fuente:** elaboración propia.

La variable de respuesta del experimento, expresada en Kilo newtons (kN.), corresponde a la carga

máxima soportada por el material antes de presentar falla, la cual se define como la pérdida de funcionalidad de un material tanto por deformación (fluencia) como por separación de sus partes (fractura). La figura 2, muestra el estado de un espécimen cuando es sometido a carga máxima y sufre deformación.



**Figura 2.** Falla de briqueta

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 2.** Condiciones experimentales del experimento de tamizaje

Corrida	A	B	C	D	Etiquetas	A	B	C	D
1	-	-	-	-	-1	0	9	25	1
2	+	-	-	-	a	150	9	25	1
3	-	+	-	-	b	0	16	25	1
4	+	+	-	-	ab	150	16	25	1
5	-	-	+	-	c	0	9	35	1
6	+	-	+	-	ac	150	9	35	1
7	-	+	+	-	bc	0	16	35	1
8	+	+	+	-	abc	150	16	35	1
9	-	-	-	+	d	0	9	25	1,5
10	+	-	-	+	ad	150	9	25	1,5
11	-	+	-	+	bd	0	16	25	1,5
12	+	+	-	+	abd	150	16	25	1,5
13	-	-	+	+	cd	0	9	35	1,5
14	+	-	+	+	acd	150	9	35	1,5
15	-	+	+	+	bcd	0	16	35	1,5
16	+	+	+	+	abcd	150	16	35	1,5
17	0	0	0	0		75	12,5	30	1,25
18	0	0	0	0		75	12,5	30	1,25
19	0	0	0	0		75	12,5	30	1,25
20	0	0	0	0		75	12,5	30	1,25

**Fuente:** elaboración propia.

Los factores seleccionados hacen parte de los factores de diseño a tener en cuenta en un material que hará parte importante en la estructura de un pavimento, específicamente en la sub base. Dependiendo de la proporción elegida y de las condiciones de la infraestructura se pueden alcanzar menores o mayores tiempos de vida útil en una carretera. Las corridas del diseño en notación geométrica (Montgomery, 2005) son mostradas en la tabla 2.

Como se trata de un experimento de selección de factores se propuso la realización de una réplica para obtener un total de 16 observaciones acorde con las condiciones experimentales, y una réplica en cada punto central para un total de 20 datos, que se considera una muestra suficiente para esta primera parte del análisis. El experimento fue aleatorizado mediante la generación de números aleatorios, cuyo orden fue seguido durante el proceso de aplicación de cargas estáticas a compresión y falla.

Atendiendo las condiciones experimentales se diseñó cada mezcla, según dosificación de cada material, para luego hacer cada una de las mezclas, las cuales se iban colocando en los moldes para compactación y luego se procedió a compactar, de manera secuencial y simultánea



**Figura 3.** Moldes para fabricación de briquetas y máquina Humboldt para compactación automática Marshall

**Fuente:** elaboración propia.

La figura 3, muestra los moldes utilizados en la fabricación de las briquetas y el equipo para compactar. Los moldes tienen 4" de diámetro con doble anillo y fondo y la máquina utilizada para compactación es de tipo automático marca Humboldt, tipo 02, modelo H1336, lo cual permite uniformidad en la energía de compactación. Las briquetas elaboradas fueron almacenadas a temperatura ambiente promedio en laboratorio (22 °C), para ser falladas a compresión.



**Figura 4.** Briquetas fabricadas

**Fuente:** elaboración propia.

La figura 4, muestra las briquetas elaboradas. La falla se realizó en el orden aleatorio en una máquina de compresión marca Controls modelo 04700/er. La figura 5, muestra la máquina utilizada para extraer las briquetas del molde, y la Figura 6, muestra la máquina utilizada para aplicar la carga a las briquetas.



**Figura 5.** Máquina utilizada para sacar las briquetas del molde

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 6.** Máquina de compresión marca Controls modelo 04700/er

**Fuente:** elaboración propia.

## RESULTADOS

La variable de respuesta resistencia a la compresión medida en kN. se ubicó en un rango entre 4 y 17,7, con un promedio de 8,72 y desviación estándar igual a 3,88.

La tabla 3, muestra los resultados de carga máxima a compresión en cada una de las condiciones experimentales.

La figura 7, muestra una imagen obtenida en la lectura No. 17 para la máxima carga.



**Figura 7.** Lectura No. 17 de carga máxima en la máquina de compresión marca Controls modelo 04700/er

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 3.** Datos del experimento de tamizado.

Contenido de cemento (Kg./m <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Golpes de compactación (Unidad)	Relación Arcilla/Arena	Resistencia a la compresión (Carga máxima en kN.)
0	16	25	1,5	4
150	9	25	1,5	12,2
150	16	25	1,5	10,4
0	9	25	1	6,7
0	9	35	1,5	5,5
75	12,5	30	1,25	8,1
75	12,5	30	1,25	7,7
75	12,5	30	1,25	8,2
150	9	35	1	12,2
75	12,5	30	1,25	9,3
0	9	35	1	4,9
0	16	35	1	4,4
0	16	35	1,5	5,1
150	9	35	1,5	11,1
0	16	25	1	4,7
150	16	25	1	10,8
150	9	25	1	15,7
150	16	35	1,5	17,7
0	9	25	1,5	5
150	16	35	1	10,7

**Fuente:** elaboración propia.

La figura 8, muestra el gráfico de probabilidad normal para la resistencia a la compresión, e indica que el factor contenido de cemento tiene efecto significativo, a diferencia de los demás factores (Humedad, golpes de compactación y relación arcilla/arena) que no resultaron significativos.

A su vez, también se puede observar que las interacciones Humedad-Golpes de compactación y Golpes de compactación-Relación arcilla/arena son significativas, mientras que las demás interacciones presentadas no lo son.

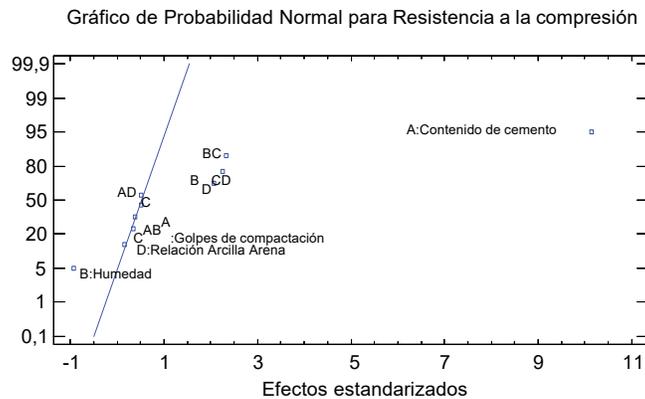
Dados los resultados del gráfico de probabilidad en el diseño factorial  $2^k$ , éste se tomará como base para definir los factores significativos para la variable resistencia a la compresión.

Teniendo en cuenta el gráfico de probabilidad normal, se decide que el factor Contenido de cemento es significativo, mientras que las interacciones no lo son, dado que los factores generadores de estas no presentan significancia. La Tabla 4,

muestra el análisis de varianza incluida la prueba de falta de ajuste para el análisis de puntos centrales se presenta a continuación.

La tabla 4 muestra que la prueba de falta de ajuste es mayor que 0,05 no es significativa, por tanto, el modelo parece ser adecuado para los datos observados al nivel de confianza del 95,0%, y la curvatura que se presenta debido a los puntos centrales no es significativa, lo que puede deducir un modelo lineal.

La tabla 5, muestra el estadístico R-Cuadrado, que indica que el modelo, así ajustado, explica 80,1472% de la variabilidad de la Resistencia a la compresión. El estadístico R-cuadrado ajustado, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 79,0442%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1,81313. El error medio absoluto (MAE) de 1,15225 es el valor promedio de los residuos.



**Figura 8.** Gráfico de probabilidad Normal para la variable respuesta (Resistencia a la compresión)

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 4.** Análisis de varianza factores significativos y falta de ajuste

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F-razón	P-valor
A: Contenido de cemento	228,766	1	228,766	69,59	0,0000
Falta de ajuste	0,780125	1	0,780125	0,24	0,6324
Error puro	558,862	17	328,743		
Total (corr.)	285,432	19			

**Fuente:** elaboración propia.

El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0 %, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

**Tabla 5.** Estadísticos del modelo

R <sup>2</sup> (%)	80,1472
R <sup>2</sup> (ajustada por grados de libertad (%))	79,0442
Error estándar del estadístico	181,313
Error absoluto medio	115,225
Estadístico Durbin-Watson	1,54523 (P=0,1494)
Auto correlación residual de Lag 1	0,190982

**Fuente:** elaboración propia.

La ecuación (1) presenta el modelo ajustado, donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales.

$$\text{Resistencia a la compresión} = 4.93875 + 0.0504167(\text{Contenido de cemento}) \quad (1)$$

## Verificación de supuestos

### Supuesto de normalidad

Para verificar si los residuos pueden modelarse adecuadamente con una distribución normal, se

utiliza la prueba de Shapiro-Wilk que está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

La tabla 6, muestra los resultados de la prueba Shapiro – Wilk. Debido a que el valor-P es mayor a 0,05, no se puede rechazar la idea de que los residuos provienen de una distribución normal con 95% de confianza.

La figura 9, muestra el gráfico elaborado, que evidencia que no hay sospecha de no cumplir el supuesto de normalidad.

**Tabla 6.** Prueba de normalidad para los residuos del experimento de tamizado

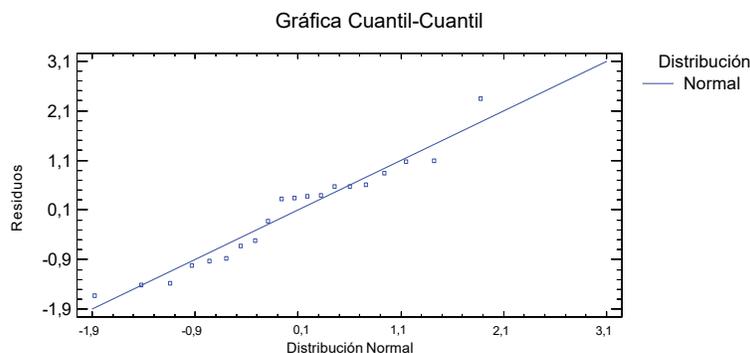
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,952713	0,420723

**Fuente:** elaboración propia.

### Supuesto de independencia

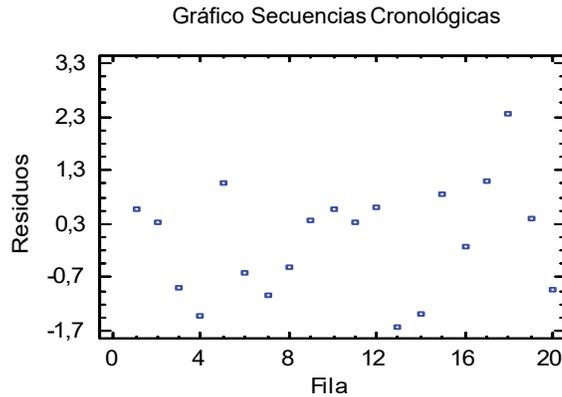
La auto correlación residual de Lag 1 es 0,175891 para los residuos de la variable de respuesta Resistencia a la compresión, y muestra que se cumple el supuesto de independencia. La figura 10, muestra el gráfico de secuencias cronológicas para los residuos.

La figura 10 no muestra una tendencia de comportamiento de los residuos del experimento de tamizado, lo que indica que los residuos cumplen el supuesto de independencia.



**Figura 9.** Gráfico de distribución Normal para los residuos del experimento de tamizado

**Fuente:** elaboración propia.

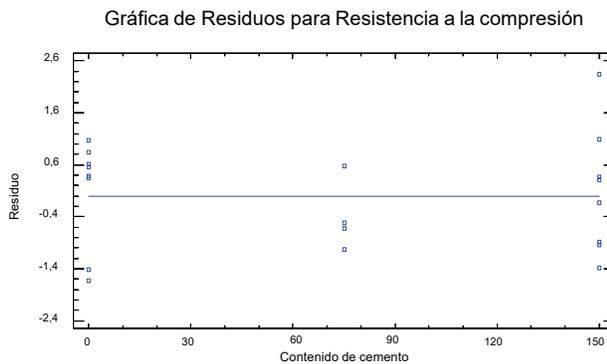


**Figura 10.** Gráfico de secuencias cronológicas para los residuos del experimento de tamizado

**Fuente:** elaboración propia.

*Supuesto de homocedasticidad*

Para evaluar el cumplimiento del supuesto de homocedasticidad de tomo el gráfico de residuos, que se muestra en la figura 11, para la resistencia a la compresión y se determinó la razón del intervalo mayor entre el intervalo menor que fue de 2,33. Por ser menor a 5, se considera que los residuos cumplen con el supuesto de homocedasticidad.



**Figura 11.** Gráfico de residuos para la Resistencia a la compresión en el experimento de tamizado

**Fuente:** elaboración propia.

**Optimización**

Teniendo en cuenta que la mayor carga y resistencia que se presenta en las condiciones experimentales

planteadas se encuentra cuando las condiciones de cada uno de los factores son altas, y que el factor Contenido de cemento es significativo, se plantea recorrer un camino buscando un óptimo fuera de la región experimental manteniendo los factores humedad, golpes de compactación y relación Arcilla/Arena en los niveles altos como lo muestra la tabla 7.

**Tabla 7.** Optimización de respuesta

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Contenido de cemento	0,0	150,0	150,0
Humedad	9,0	16,0	16,0
Golpes de compactación	25,0	35,0	35,0
Relación Arcilla Arena	1,0	1,5	1,5

**Fuente:** elaboración propia.

La tabla 7, muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza resistencia a la compresión sobre la región indicada. Para realizar la optimización manteniendo los factores no significativos en alto, el factor Contenido de cemento se incrementará en tres valores fuera de la región de experimentación. Los valores serán 175, 200 y 225 kg. por m3 de material granular mezclado y se elaborarán dos briquetas en cada condición experimental. La tabla 8, muestra los resultados de carga máxima (kN) para la optimización.

**Tabla 8.** Datos experimento para optimización

Contenido de cemento (Kg. /m3)	Humedad (%)	Golpes de compactación (Unidad)	Relación Arcilla/Arena	Resistencia a la compresión (Carga máxima kN.)
225	16	35	1,5	14,1
200	16	35	1,5	16,3
225	16	35	1,5	14,5
200	16	35	1,5	14,9
175	16	35	1,5	11,9
175	16	35	1,5	13,2

**Fuente:** elaboración propia.

Al definir el diseño, se desarrolló la fase experimental en laboratorio, bajo las mismas condiciones de la fase experimental inicial del diseño 2<sup>k</sup>. Se ajustaron las dosificaciones a fin de cumplir con las proporciones y el diseño que mantiene las condiciones (alto) de los factores humedad, número de golpes y relación arcilla/arena.

Con la información que incluyó la variable respuesta se realizó un análisis de varianza de un solo factor, que se presenta en la tabla 9. Es importante mencionar que el análisis de varianza (ANOVA), no muestra que el factor cantidad de cemento sea significativo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se esperaría que con la tendencia de ascenso de la variable respuesta hacia la frontera de la región experimental, en el camino fuera de ella se aumentara el valor de la variable contenido de cemento genere incremento en la variable respuesta resistencia a la compresión.

Se desarrolla entonces un diseño de un solo factor (Contenido de cemento) con tres niveles (175, 200 y 225 Kg. /m3) y dos réplicas en cada nivel.

La figura 12, muestra el comportamiento de la variable Resistencia a la compresión en cada uno

de los niveles de diseño. En este caso se nota que la resistencia cae en la condición de 175 Kg./m3, para luego aumentar en la condición de 200 Kg. /m3 y subir nuevamente en la condición de 225 Kg./m3.

El valor máximo alcanzado en la condición de 200 Kg. / m3 no supera el valor máximo alcanzado en la frontera de la región experimental planteada inicialmente 150 Kg. / m3, lo que inicialmente permite suponer que el valor máximo de la variable respuesta Resistencia a la compresión se encuentra en esta condición.

### Verificación de supuestos

#### *Supuesto de normalidad*

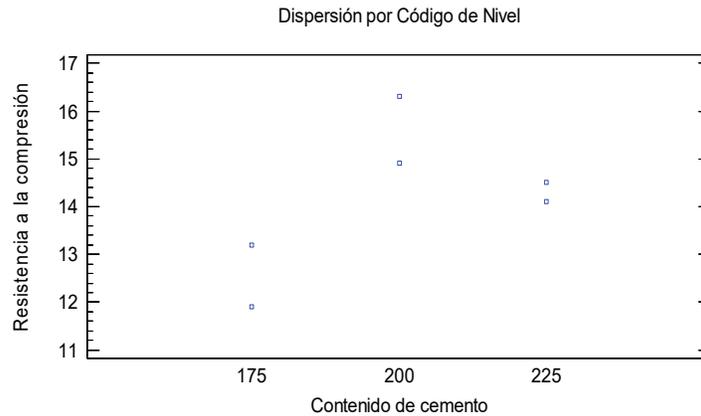
Para verificar si los residuos pueden modelarse adecuadamente con una distribución normal, se utiliza la prueba de Shapiro-Wilk que está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

La tabla 10, muestra los resultados para determinar si los residuos pueden modelarse adecuadamente con una distribución normal.

**Tabla 9.** Análisis de varianza de un solo factor (Contenido de cemento)

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Razón-F	valor-P
Entre grupos	9,37	2	4,685	7,38	0,0694
Intra grupos	1,905	3	0,635		
Total (Corr.)	11,275	5			

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 12.** Gráfico de dispersión por nivel del experimento factorial

**Fuente:** elaboración propia.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor a 0,05, no se puede rechazar la idea que los residuos provienen de una distribución normal con 95% de confianza. La figura 13, muestra el gráfico de cuartil -cuartil.

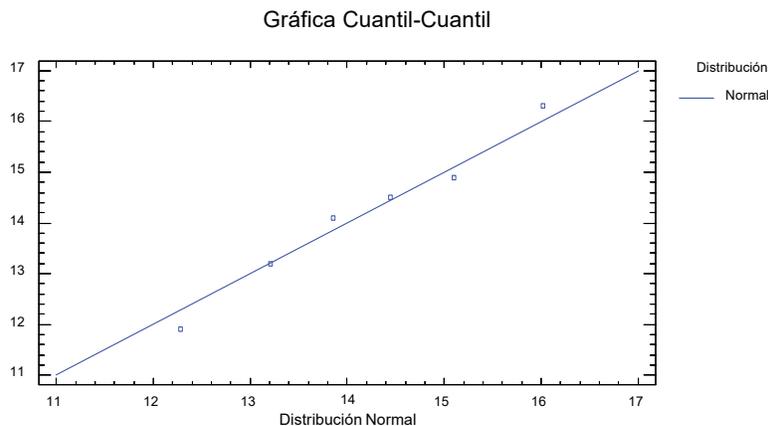
*Supuesto de independencia*

La auto correlación residual de Lag 1 es 0,056 para los residuos de la variable de respuesta Resistencia a la compresión, y muestra que se cumple el supuesto de independencia. La figura 14, muestra el gráfico de secuencias cronológicas para los residuos.

**Tabla 10.** Prueba de normalidad para los residuos del experimento factorial

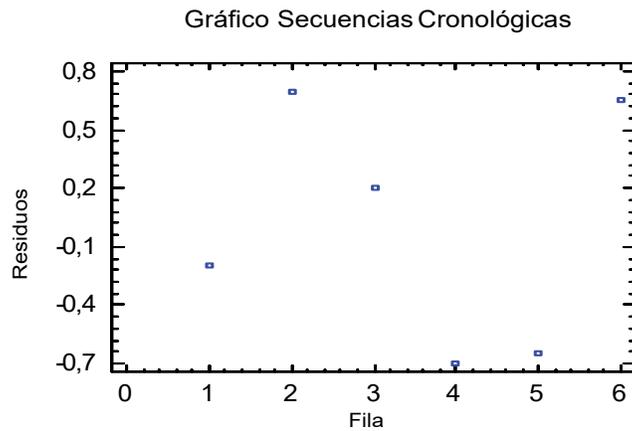
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,990394	0,988049

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 13.** Gráfico de distribución Normal para los residuos del experimento factorial

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 14.** Gráfico de secuencias cronológicas para los residuos del experimento factorial

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 15.** Gráfico de residuos para la Resistencia a la compresión en el experimento factorial

**Fuente:** elaboración propia.

### Supuesto de homocedasticidad

Para evaluar el cumplimiento del supuesto de homocedasticidad de tomo el gráfico de residuos para la resistencia a la compresión y se determinó la razón del intervalo mayor entre el intervalo menor que fue de 3,5. Por ser menor a 5, se considera que los residuos cumplen con el supuesto de homocedasticidad. La figura 15, muestra el gráfico de residuos para la Resistencia a la compresión.

## CONCLUSIONES

Estudiada en forma experimental la resistencia que presenta un material compuesto por arcilla, arena, cemento y agua en distintas proporciones. Un experimento de tamizaje  $2^4$  con una réplica y cuatro (4) puntos centrales encontró que la humedad, el número de golpes de compactación y la relación arcilla/arena, no produce un efecto significativo

sobre la resistencia a la compresión (carga máxima medida en kN.), mientras que el contenido de cemento si produce un efecto significativo sobre la variable respuesta.

Mediante un experimento factorial desarrollado fuera de la región experimental, pero atendiendo el comportamiento del factor contenido de cemento, se identificó un cambio en el comportamiento de la variable respuesta sin llegar a ser mejor que la encontrada en la frontera de la región experimental.

Se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, independencia y homocedasticidad para dar validez a los análisis hechos durante este trabajo.

Finalmente, el trabajo corrobora los rangos sugeridos para contenido de cemento para capas de base estabilizadas en la clasificación A3, A4, A5, A6 y A7, utilizadas para carreteras por la AASHTO, los cuales coinciden con los valores encontrados, de tal forma que la relación de 150 Kg./m<sup>3</sup>, puede considerarse como adecuada al momento de diseñar este tipo de materiales que sirven de soporte a varios elementos en los proyectos de construcción, tanto en la cimentación de las edificaciones, como en la estructura que se conforma como soporte de los pavimentos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos por el apoyo a la Ingeniera Andrea Castro, jefe de laboratorio de materiales del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad del Norte y a su auxiliar de laboratorio Julio Caba.

## REFERENCIAS

Aad, G., Abbott, B., Abdallah, J., Abdelalim, A. A., Abdesselam, A., Abidinov, O., ... Zutshi, V. (2011). Measurement of inclusive jet and dijet cross sections in proton-proton collisions at 7 TeV centre-of-mass energy with the ATLAS detector. *European Physical Journal C*, 71(2), 1–59.

<https://doi.org/10.22323/1.120.0101>

Cunto, F., & Saccomanno, F. F. (2008). Calibration and validation of simulated vehicle safety performance at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 40(3), 1171–1179.

<https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.01.003>

Khodaii, A., Haghshenas, H. F., & Kazemi Tehrani, H. (2012). Effect of grading and lime content on HMA stripping using statistical methodology. *Construction and Building Materials*, 34, 131–135.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.025>

Madanat, S. M., Prozzi, J. A., & Han, M. (2017). Effect of Performance Model Accuracy on Optimal Pavement Design. *UC Berkeley*.

<https://doi.org/10.1038/nnano.2017.155>

Montgomery, D. C. (2005). *Diseño y análisis de experimentos*. (L. Wiley, Ed.).

Santilli, A., Puente, I., & Tanco, M. (2011). A factorial design study to determine the significant parameters of fresh concrete lateral pressure and initial rate of pressure decay. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1946–1955.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.061>

Tan, O., Zaimoglu, A. S., Hinishlioglu, S., & Altun, S. (2005). Taguchi approach for optimization of the bleeding on cement-based grouts. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20(2), 167–173.

<https://doi.org/10.1016/j.tust.2004.08.004>





UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

## INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Revista *TECNURA*  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad Tecnológica

### CONTENIDO

- Alcance y política editorial de la revista
- Tipos de artículos aceptados
- Formato del artículo
- Envío de artículos
- Procedimiento para la publicación
- Arbitraje de artículos
- Contacto

### 1. ALCANCE Y POLÍTICA EDITORIAL DE LA REVISTA

La revista *Tecnura* es una publicación institucional de la Facultad Tecnológica de la Universidad Francisco José de Caldas, de carácter científico-tecnológico con periodicidad trimestral, que se publica los meses de enero, abril, julio y octubre. Su primer número apareció en el segundo semestre del año 1997 y hasta la fecha ha mantenido su regularidad.

Las áreas temáticas de interés de la revista *Tecnura* están enfocadas a todos los campos de la ingeniería, como la electrónica, telecomunicaciones, electricidad, sistemas, industrial, mecánica, catastral, civil, ambiental, entre otras. Sin embargo, no se restringe únicamente a estas, también tienen cabida los temas de educación y salud, siempre y cuando estén relacionados con la ingeniería. La revista publica únicamente artículos de investigación científica y tecnológica, de reflexión y de revisión. En consecuencia, durante la fase de evaluación editorial inicial se rechazarán los artículos cortos y reportes de caso.

La revista *Tecnura* está dirigida a docentes, investigadores, estudiantes y profesionales interesados en la actualización permanente de sus conocimientos y el seguimiento de los procesos de investigación científico-tecnológica, en el campo de las ingenierías. Tiene como misión divulgar resultados de proyectos de investigación realizados en el área de las ingenierías, a través de la publicación de artículos originales e inéditos, realizados por académicos y profesionales pertenecientes a instituciones nacionales o extranjeras del orden público o privado. Los artículos presentados deben ser trabajos inéditos escritos en español o inglés; sin embargo, tendrán preferencia los artículos que muestren conceptos innovadores de gran interés, que traten sobre asuntos relacionados con el objetivo y cobertura temática de la revista.

*Tecnura* es una publicación de carácter académico indexada en los Índices Regionales Scielo Colombia (Colombia) y Redalyc (México), además de las siguientes bases bibliográficas: INSPEC del Institution of Engineering and Technology (Inglaterra), Fuente Académica Premier de EBSCO (Estados Unidos), CABI (Inglaterra), Index Copernicus (Polonia), Informe Académico de Gale Cengage Learning (México), Periódica de la Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (España) y Dialnet de la Universidad de la Rioja (España). También hace parte de los siguientes directorios: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Latindex (México), Índice Bibliográfico Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (España), DOAJ (Suecia), Ulrich de Proquest (Estados Unidos).

*Tecnura* es una revista arbitrada mediante un proceso de revisión entre pares de doble ciego. La periodicidad de la conformación de sus comités Científico y Editorial está sujeta a la publicación de artículos en revistas indexadas internacionalmente por parte de sus respectivos miembros.

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas, sus directivas, el Editor, el Comité Editorial y Científico no son responsables por la opinión y criterios expresados en el contenido de los artículos y estos se publican bajo la exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento del Comité Editorial.

Además de la versión impresa, la revista *Tecnura* tiene también una versión digital disponible en su página web: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

## 2. TIPOS DE ARTÍCULOS ACEPTADOS

De acuerdo con la clasificación del Índice Nacional de Publicaciones Científicas y Tecnológicas (Publindex-Colciencias), la revista *Tecnura* recibe postulaciones de artículos inéditos de los siguientes tipos:

**Artículos de investigación científica y tecnológica:** documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.

**Artículos de reflexión:** documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico y recurriendo a fuentes originales.

**Artículo de revisión:** documento resultado de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de las investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de al menos 50 referencias.

## 3. FORMATO DEL ARTÍCULO

### 3.1 Del lenguaje y estilo apropiado para la redacción de artículos

- Deben emplearse estructuras de oraciones simples, evitando las que sean demasiado largas o complejas.
- El vocabulario empleado debe ser básico y común. Los términos técnicos deben explicarse brevemente; asimismo, el significado de las siglas debe presentarse la primera vez que estas aparecen en el texto.
- Los autores son responsables de que su trabajo sea conducido de una manera profesional y ética.

### 3.2 De la extensión de los documentos

Los artículos no deben tener una extensión de más de 25 páginas en tamaño carta y a doble espacio, con márgenes simétricas de 3 cm. Solo en el caso de los artículos de revisión las 25 páginas no incluyen las referencias bibliográficas.

### 3.3 Del formato de presentación

Los artículos presentados deben ser trabajos inéditos escritos en español o inglés y deben digitalizarse en Microsoft Word (2003 en adelante), cumpliendo con las siguientes indicaciones:

Letra *Times New Roman* de 12 puntos (a excepción de que se requiera lo contrario para algunos apartados).

- Una columna a doble espacio.
- Todas las márgenes de 3 cm.
- Los párrafos se justifican, y no debe haber espacio entre los consecutivos.
- No incluir saltos de página o finales de sección.
- Si se desea resaltar palabras o frases del texto, no usar letra negrita sino letra cursiva.
- Los decimales se deben señalar con coma (,) y no con un punto.

- Los millares y millones se deben señalar con un espacio fino.
- Evitar las notas de pie de página.
- Se debe utilizar nomenclatura arábica hasta el tercer nivel únicamente.

### 3.4 De la estructura del documento

Los trabajos deben tener la siguiente estructura y cumplir con los siguientes requisitos:

#### *Composición de un artículo*

Todos los artículos remitidos para su evaluación y posible publicación por parte de la revista *Tecnura* deben tener por lo menos los siguientes componentes:

- Título en español e inglés.
- Información de los autores.
- Resumen en español e inglés.
- Palabras clave en español e inglés.
- Introducción.
- Conclusiones.
- Trabajo futuro (opcional).
- Agradecimientos (opcional).
- Referencias bibliográficas.

Si el artículo es de investigación científica y tecnológica deben tener, además de lo anterior, los siguientes componentes:

- Metodología.
- Resultados.
- Financiamiento.

#### *Título*

El título del artículo deberá ser corto o dividido en título y subtítulo, atractivo para el lector potencial y escrito en mayúscula sostenida. Este debe aparecer centrado entre las márgenes, escrito con letra *Times New Roman*, en negrita, tamaño de fuente 18. El título del artículo debe ir en español e inglés separado por un espacio doble. Máximo 20 palabras.

#### *Autores*

Después del título debe escribirse el (los) nombre(s) completo(s) del (los) autor(es), acompañado de los datos biográficos básicos: título de pregrado, título de posgrado, ocupación o cargo, afiliación institucional (institución donde labora), dependencia, ciudad, país y correo electrónico. La información anterior debe ir inmediatamente debajo del nombre del autor.

#### *Resumen*

Debe establecer el objetivo y alcance del trabajo, una descripción clara y concisa de la metodología, los resultados y las conclusiones obtenidas. Máximo 250 palabras.

#### *Palabras clave*

Debe escogerse entre tres y diez palabras clave, escritas en español con letra *Times New Roman*, en negrita y cursiva.

Las palabras clave deben estar escritas en orden alfabético y ser de uso estandarizado, para lo cual se sugiere utilizar bases de datos internacionales según el área del conocimiento. Por ejemplo, en el área de Eléctrica y Electrónica se sugiere utilizar el tesoro de la UNESCO que se pueden encontrar en la página: <http://databases.unesco.org/thessp>.

#### *Abstract*

Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés del texto que aparece en el resumen en español.

#### *Keywords*

Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés de la lista de palabras clave en español.

Las *keywords* deben estar escritas en el orden de las palabras clave y ser de uso estandarizado, para lo cual se sugiere utilizar bases de datos internacionales según el área del conocimiento. Por ejemplo, en el área de Eléctrica y Electrónica se sugiere utilizar los Tesoros de la IEEE y/o World Bank que se pueden encontrar en las siguientes páginas respectivamente: [http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy\\_v101.pdf](http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy_v101.pdf), <http://multites.net/mtsql/wb/site/default.asp>

### *Introducción*

Debe describir el planteamiento general del trabajo, así como contexto, antecedentes, estado de arte de la temática abordada, objetivo y posible alcance del trabajo.

### *Metodología*

La redacción de este apartado debe permitir a cualquier profesional especializado en el tema replicar la investigación.

### *Resultados*

Explicación e interpretación de los hallazgos. Si es necesario, se puede presentar una discusión breve y enfocada a la interpretación de los resultados.

### *Conclusiones*

Implicación de los resultados y su relación con el objetivo propuesto.

### *Financiamiento*

Mencionar la investigación asociada de la cual se derivó el artículo y la entidad que avaló y financió dicha investigación.

### *Agradecimientos*

Preferiblemente deben ser breves y deben incluir los aportes esenciales para el desarrollo del trabajo.

### *Ecuaciones*

Deben aparecer centradas con respecto al texto principal. Las ecuaciones deben ser referenciadas con números consecutivos (escritos entre paréntesis cerca al margen derecho). Las ecuaciones se citan en el texto principal empleando la palabra ecuación y seguida del número entre paréntesis. Las ecuaciones deben ser elaboradas en un editor de ecuaciones apropiado y compatible con el paquete de software InDesign, por ejemplo, el editor de ecuaciones de Windows.

### *Tablas*

Para el caso de realización de tablas se recomienda que estas no sean insertadas como imágenes,

considerando que en este formato no pueden ser modificadas. El encabezado de cada tabla debe incluir la palabra Tabla (en negrita) seguida del número consecutivo correspondiente y de un breve nombre de la tabla. El encabezado debe estar escrito con letra Times New Roman, en cursiva y tamaño de fuente 9.

No se presentan cuadros sino tablas y estas se deben levantar automáticamente desde el procesador de textos. Las tablas deben ir nombradas y referenciadas en el artículo, en estricto orden. Toda tabla debe tener en su parte inferior la fuente de la que fue tomada, o mencionar que es autoría de los autores si es el caso.

### *Figuras*

Todas las figuras o fotografías deben enviarse en formato PNG o TIFF con una resolución mínima de 300 DPI, adaptadas a escala de grises.

El pie o rótulo de cada figura debe incluir la palabra Figura (en negrita) seguida del número consecutivo correspondiente y de una breve descripción del contenido de la figura. El pie de figura debe estar escrito con letra Times New Roman, en cursiva y tamaño de fuente 9. Las figuras deben ir nombradas y referenciadas en el artículo, en estricto orden. Toda figura debe tener también la fuente de la que fue tomada, o mencionar que es autoría de los autores si es el caso.

### *Símbolos*

Los símbolos de las constantes, variables y funciones en letras latinas o griegas –incluidos en las ecuaciones– deben ir en cursiva; los símbolos matemáticos y los números no van en cursiva. Se deben identificar los símbolos inmediatamente después de la ecuación. Se deben utilizar las unidades, dimensiones y símbolos del sistema internacional.

Cuando se empleen siglas o abreviaturas, se debe anotar primero la equivalencia completa, seguida de la sigla o abreviatura correspondiente entre paréntesis y en lo subsecuente se escribe solo la sigla o abreviatura respectiva.

### Referencias bibliográficas

El estilo de citación de referencias adoptado por la revista **Tecnura** es APA sexta edición. Las citas, referencias bibliográficas e infografía se incluyen al final del artículo. Las referencias bibliográficas deben ordenarse alfabéticamente de acuerdo con el primer apellido del primer autor, sin numeración.

Solo deben aparecer las referencias que fueron citadas en el texto principal del trabajo, en las tablas o en las figuras. Es decir, en la lista no deben aparecer otras referencias aunque hayan sido consultadas por los autores para la preparación del trabajo. Sugerimos utilizar herramientas como: *Citas y bibliografía* de Microsoft Word (para APA sexta edición versión 2013 o superior), *Zotero*, *Mendeley*, entre otras.

El llamado de una referencia bibliográfica se inserta en el texto, en el punto pertinente, bajo ciertas características:

- Si la oración incluye el apellido del autor, solo se debe escribir la fecha dentro de un paréntesis, ejemplo:  
Cuando Vasco (2012), analizó el problema de presentado en ....
- Cuando no se incluye el autor en la oración, debe ir entre el paréntesis el apellido y la fecha.  
La investigación de materiales dio una visión en el área (Martínez, 2012).
- Si el documento u obra tiene más de dos autores, se debe citar la primera vez con todos los apellidos.  
1990. (Fernández Morales, Villa Krieg & Caro de Villa, 2008) ....
- En las menciones siguientes, solo se debe escribir el primer apellido del autor, seguido de un "et al".  
En cuanto al estudio de las aguas, Fernández Morales et al. (2008) encontraron que ...
- Cuando el documento u obra tiene más de seis autores, se debe utilizar desde la primera mención el "et al".

A continuación se describen una serie de ejemplos de las referencias más utilizadas, según

el estilo de referencias adoptado por la revista *Tecnura*:

### Publicaciones Periódicas:

#### Forma Básica

Apellidos, A. A., Apellidos, B. B. & Apellidos, C. C. (Fecha). Título del artículo. *Título de la publicación*, volumen (número), pp. xx-xx. doi: xx.xxxxxxx

#### Artículo básico

Guevara López, P., Valdez Martínez, J., Agudelo González, J., & Delgado Reyes, G. (2014). Aproximación numérica del modelo epidemiológico SI para la propagación de gusanos informáticos, simulación y análisis de su error. *Revista Tecnura*, 18(42), 12 -23. doi:<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.4.a01>

#### Artículo web

Rodríguez Páez, S., Fajardo Jaimes, A., & Páez Rueda, C. (2014). Híbrido rat-race miniaturizado para la banda ISM 2,4 GHZ. *Revista Tecnura*, 18(42), 38-52. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/8059/9675>

### Libros:

#### Forma Básica

Apellidos, A. A. (Año). *Título*. Ciudad: Editorial.  
Apellidos, A. A. (Año). *Título*. Recuperado de <http://www.xxxxxx.xxx>  
Apellidos, A. A. (Año). *Título*. doi: xx.xxxxxxxx  
Apellidos, A. A. (Ed.). (Año). *Título*. Ciudad: Editorial.

#### Libro con autor

Goleman, D. (2000). *La inteligencia emocional: Por qué es más importante que el cociente intelectual*. México: Ediciones B.

#### Libro con editor:

Castillo Ortiz, A. M. (Ed.). (2000). *Administración educativa: Técnicas, estrategias y prácticas gerenciales*. San Juan: Publicaciones Puertorriqueñas

**Libro versión electrónica:**

Montero, M. & Sonn, C. C. (Eds.). (2009). *Psychology of Liberation: Theory and applications*. [Versión de Springer]. doi: 10.1007/978-0-387-85784-8

**Informe técnico:**

## Forma Básica

Apellidos, A. A. (Año). *Título*. (Informe Núm. xxx). Ciudad: Editorial

**Informe con autores**

Weaver, P. L., & Schwagerl, J. J. (2009). U. S. *Fish and Wildlife Service refuges and other nearby reserves in Southwestern Puerto Rico*. (General Technical Report IITF-40). San Juan: International Institute of Tropical Forestry.

**Informe de una agencia del gobierno**

Federal Interagency Forum on Child and Family Statistics. *America's Children: Key National Indicators of Well-Being, 2009*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. Recuperado de <http://www.childstats.gov/pubs/index.asp>

**Tesis**

## Forma Básica

Apellidos, A. A. (Año). *Título*. (Tesis inédita de maestría o doctorado). Nombre de la institución, Localización.

**Tesis inédita, impresa**

Muñoz Castillo, L. (2004). *Determinación del conocimiento sobre inteligencia emocional que poseen los maestros y la importancia que le adscriben al concepto en el aprovechamiento de los estudiantes*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Metropolitana, San Juan, PR.

**Tesis de base de datos comercial**

Santini Rivera, M. (1998). *The effects of various types of verbal feedback on the performance of selected motor development skills of adolescent males with Down syndrome*. (Tesis doctoral). Disponible

en la base de datos ProQuest Dissertations and Theses. (AAT 9832765).

**Tesis web**

Aquino Ríos, A. (2008). *Análisis en el desarrollo de los temas transversales en los currículos de español, matemáticas, ciencias y estudios sociales del Departamento de Educación*. (Tesis de maestría, Universidad Metropolitana). Recuperado de [http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis\\_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf](http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf)

**Estándares o patentes**

## Forma Básica

Apellidos, A. A. Título de la patente. País y número de la patente. Clasificación de la patente, fecha de concesión oficial. Número y fecha de solicitud de la patente, paginación.

Hernández Suárez, C. A., Gómez Saavedra, V. A., & Peña Lote, R. A. Equipo medidor de indicadores de calidad del servicio de energía eléctrica para usuario residencial. Colombia., 655. G4F 10/0, 15 de Marzo 2013. 27 de Octubre 2011, 147

**4. ENVÍO DE ARTÍCULOS**

Los autores deben enviar sus artículos a través de la aplicación para tal fin del Open Journal System en formato digital, adjuntando la carta de presentación y el formato de información artículo-autores.

**4.1 Carta de presentación**

El artículo debe ir acompañado de una carta de presentación dirigida al director y editor de la revista, Ing. Cesar Augusto García Ubaque, donde incluya:

- Solicitud expresa de considerar su artículo para publicarlo en la revista Tecnura.
- Título completo del trabajo.
- Nombres completos de todos los autores del trabajo.
- Certificación de la originalidad y el carácter inédito del trabajo.

- Exclusividad de su remisión a la revista *Tecnura*.
- Confirmación de la autoría con la firma de todos los autores.

Esta carta deberá estar firmada por todos los autores, escanearse y enviarse junto con los demás documentos solicitados.

#### 4.2 Formato de información artículo-autores

El artículo además debe ir acompañado de un formato de información sobre el artículo y sus autores, el cual se puede descargar de la página web de la revista *Tecnura*: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>, en la sección "Formatos y Documentos". Es importante completar todos los campos de información solicitados, algunos de ellos tienen comentarios para aclarar mejor lo que se está solicitando. El formato no debe escanearse.

#### 4.3 Artículo

Artículo en formato digital (Word 2003 en adelante) que cumpla con todas las normas de presentación descritas en el capítulo 3, "Formato del artículo", de la presente en las instrucciones a los autores.

### 5. PROCEDIMIENTO PARA LA PUBLICACIÓN

El procedimiento que sigue la revista *Tecnura* para la evaluación y posible publicación de los trabajos enviados por los autores es el siguiente en orden cronológico:

1. Envío del artículo acompañado de la carta de presentación y el formato de información por parte de los autores.
2. Notificación al autor de correspondencia de la recepción del artículo.
3. Verificación del tema del artículo con respecto a las áreas de interés de la revista.
4. Verificación de las normas de presentación por parte del monitor de la revista.
5. Notificación al autor de correspondencia de la evaluación de las normas de presentación.

6. Envío de las correcciones realizadas por los autores con respecto a la evaluación de las normas de presentación.
7. Envío del artículo a los árbitros seleccionados.
8. Notificación del inicio del proceso de arbitraje del artículo.
9. Notificación a los autores de la decisión tomada por el Comité Editorial y de las evaluaciones hechas por los árbitros.
10. Envío de las correcciones realizadas por los autores con respecto a las evaluaciones de los árbitros.
11. Estudio de la versión final del artículo y de las evaluaciones de los árbitros por parte del Comité Editorial.
12. Envío por parte de los autores de la carta de cesión de derechos al editor de la revista.
13. Envío de la versión con corrección de estilo y diagramada a los autores.
14. Verificación de errores y aprobación final de la versión con corrección de estilo y diagramada por parte de los autores.
15. Publicación del artículo en el número correspondiente de la revista *Tecnura*.
16. Notificación a los autores de la publicación del número de interés.
17. Envío de un ejemplar de la revista a cada autor del artículo publicado.

### 6. PROCESO DE ARBITRAJE DE ARTÍCULOS

Considerando la periodicidad trimestral de la revista, el Comité Editorial realiza cuatro convocatorias anuales para la recepción de artículos, aproximadamente en los meses de febrero, mayo, agosto y noviembre. Los artículos serán recibidos hasta la fecha máxima establecida en cada convocatoria.

Una vez recibidos los artículos el monitor de la revista realizará una primera evaluación de forma para verificar que cumplan con todos los elementos mencionados en esta guía de instrucciones a los autores. Luego de recibir nuevamente el artículo con las correcciones de forma solicitadas por el

monitor de la revista, este será sometido a evaluación por tres pares académicos (paulatinamente se espera incorporar un mayor número de pares externos que participen en el proceso).

Cada artículo remitido a la revista *Tecnura* es revisado por dos pares académicos externos a la institución de los autores, mediante un proceso de “revisión entre pares” (*Peer-review*) de doble-ciego, garantizando el anonimato de los autores y evaluadores; se considera confidencial todo trabajo recibido y así se le exige a sus evaluadores.

Las posibles conclusiones de los resultados de la evaluación por parte de los árbitros son únicamente tres: publicar el artículo sin modificaciones, publicar el artículo con modificaciones o no publicar el artículo.

Posteriormente, el Comité Editorial toma la decisión de publicar o no los artículos, con base en los resultados de las evaluaciones realizadas por los árbitros asignados. En caso de existir contradicciones en las evaluaciones con respecto a la publicación de un artículo, el Comité Editorial enviará el artículo a un tercer árbitro y se inclinará por las dos evaluaciones que tengan el mismo concepto respecto a la publicación del artículo.

En cada convocatoria el autor de correspondencia debe sugerir al menos cuatro posibles evaluadores externos a su institución laboral, los cuales deben ser especialistas en el tema específico del artículo remitido, tener al menos maestría y por lo menos dos deben ser internacionales. Los posibles evaluadores pueden pertenecer a una universidad o industria, pública o privada; de estos se debe proporcionar el nombre completo, su formación académica más alta, su afiliación institucional y su correo electrónico. Estos cuatro potenciales

evaluadores serán analizados por el Comité Editorial a fin de ampliar la base de datos de los árbitros de la revista *Tecnura*.

El Comité Editorial de la revista *Tecnura* se reserva los derechos de impresión, reproducción total o parcial del artículo, así como el de aceptarlo o rechazarlo. Igualmente, se reserva el derecho de hacer cualquier modificación editorial que estime conveniente; en tal caso el autor recibirá por escrito recomendaciones de los evaluadores. Si las acepta, deberá entregar el artículo con los ajustes sugeridos dentro de las fechas fijadas por la revista para garantizar su publicación dentro del número programado.

## 6. CONTACTO

Para cualquier solicitud de información adicional puede comunicarse a través del correo electrónico de la revista *Tecnura*: [tecnura@udistrital.edu.co](mailto:tecnura@udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com), o por mensajería con el Ing. Cesar Augusto García Ubaque, Director y Editor de la revista *Tecnura*, a la dirección:

Revista Tecnura  
Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305.  
Facultad Tecnológica  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Transversal 70 B N. 73 a 35 sur  
Teléfono: 571 – 3239300 Extensión: 5003  
Celular: 57–3153614852  
Bogotá D.C., Colombia  
Email:  
[tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)  
Página web:  
<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

## INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

### *Tecnura journal* District francisco José de caldas university Faculty of technology

#### CONTENT

- **Scope and editorial policy of the journal**
- **Type of accepted articles**
- **Article format**
- **Article submission**
- **Publication procedure**
- **Article arbitration**
- **Contact**

#### SCOPE AND EDITORIAL POLICY OF THE JOURNAL

*Tecnura journal* is an institutional publication of the Faculty of Technology from University Francisco José de Caldas. It is a scientific and technological publication with quarterly periodicity, which is published in January, April, July and October. The first issue appeared in the second semester of 1997 and up to now it has maintained its regularity.

The areas of interest of *Tecnura journal* are focused on all engineering fields such as electronics, telecommunications, electricity, systems, industrial, mechanics, cadastral, civil, environmental, among others. However, it is not restricted to those; it also has room for education and health issues, as long as they are related to engineering. The journal will only publish concerning scientific and technological research, reflection and revision. In consequence, during the initial editorial evaluation, short articles and case reports will be rejected.

*Tecnura Journal* is addressed for professors, researchers, students and professionals interested in permanent update of their knowledge and follow-up of scientific-technologic processes in the field of engineering. *Tecnura Journal* has as mission

to disseminate results of research projects in the areas of engineering, through the publication of original and unpublished articles, conducted by academics and professionals accredited by public or private national or foreign institutions. Articles submitted to *Tecnura journal* must be unpublished works written in Spanish or English; nevertheless, preference will be given to articles that show innovative concepts of great interest, related to the objective and scope of the journal.

*Tecnura* is an academic publication indexed in the Regional Index Scielo Colombia (Colombia) and Redalyc (México); as well as of the following bibliographic databases: INSPEC of the Institution of Engineering and Technology (England), Fuente Académica Premier of EBSCO (United States), CABI (England), Index Copernicus (Poland), Informe Académico of Gale Cengage Learning (México), Periódica from the Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (Spain) and Dialnet from the Universidad de la Rioja (Spain). It is also part of the following directories: Online Regional Information System for Scientific journals from Latin America, Caribbean, Spain and Portugal Latindex (México), Bibliographic Index Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (Spain), DOAJ (Sweden) and Ulrich of Proquest (United States).

*Tecnura* is a journal arbitrated by a revision process among double blind peers. The schedule of the conformation of its scientific and editorial committee is subject to the publication of articles in internationally indexed journals by their members.

District University Francisco José de Caldas, its directors, the editor, the editorial and scientific committee are not responsible for the opinions and the criteria expressed in the content of the articles

and they are published under the exclusive responsibility of the authors and do not necessarily reflect the ideas of the editorial committee.

In addition to the printed version, Tecnura journal also has a digital version available in its web page: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>

## TYPE OF ARTICLES ACCEPTED

According to the classification of the Scientific and Technological Publications National Index (Publindex-Colciencias), *Tecnura* journal receives nominations of unpublished articles on the following topics:

- ***Scientific and technological research articles:*** document that presents, in a detailed manner, the original results of research projects. The generally used structure contains four main parts: introduction, methodology, results and conclusions.
- ***Reflection articles:*** document that presents research results from an analytic, interpretative or critic perspective from the author, dealing with a specific topic and adopting original sources.
- ***Review article:*** document that results from a research where the results of published or unpublished research on a science or technology field are analyzed, systematized and integrated, in order to state the advances and tendencies in development. It is characterized for presenting a careful bibliographical review of at least 50 references.

## ARTICLE FORMAT

### About the appropriate language and style for articles writing

- Authors must use simple sentence structures, avoiding those too long or complex.
- The vocabulary used must be basic and common. Technical language must be briefly explained; also, the meaning of the acronyms must be given the first time they appear in the text.
- The authors are responsible for their work to be conducted in a professional and ethic manner.

### About the length of articles

The articles should not exceed 25 pages in letter size and double space, with symmetric margins of 3 cm. Only in the case of review articles, these 25 pages do not include references.

### About the presentation format

Submitted articles must be unpublished works written in Spanish or English, and must be typed in Microsoft Word (2003 and beyond), complying with the following indications:

- *Times New Roman* letter, 12 point (except it is required for some sections).
- One column, double-spaced.
- All the margins 3 cm.
- Paragraphs should be justified without spaces between consecutives and without cutting words.
- Do not include page breaks or section finals.
- If you want to emphasize words or phrases from the text, do not use bold letters but italic.
- Decimals should be pointed with comma (,) and not with period (.).
- Thousands and millions should be pointed with a fine space.
- Avoid footnotes.
- Arabic nomenclature must be used only until the third level.

### About the article structure

The papers must have the following structure and comply with the following requirements:

### Composition of an article

All the articles submitted for evaluation and possible publication by the Tecnura Journal must have at least the following components:

- Title in Spanish and English.
- Information about the authors.
- Abstract in Spanish and English.

- Key words in Spanish and English.
- Introduction.
- Conclusions.
- Future work (optional).
- Acknowledgements (optional).
- Bibliographical references.

If the article is related to scientific and technological research must have, in addition to the above, the following components:

- Methodology.
- Results.
- Financing.

### *Title*

The title of the article must be short or divided in title and subtitle, attractive for the potential reader and written in capital letters. It should appear centered between the margins, written in *Times New Roman* letter, in bold, font size 18. The title of the article has to be in Spanish and English separated by double space. Maximum 20 words.

### *Authors*

After the title the complete name(s) of the author(s) must be written, with their basic biographical data: undergraduate degree, graduate degree, occupation or position, institutional affiliation (institution where they work), dependency, city, country and e-mail. The above information must be immediately below the author's name.

### *Abstract*

The scope and purpose of the work must be established giving a clear and concise description of the methodology, results presented and the conclusions obtained. Maximum of 250 words.

### *Keywords*

Between three and ten keywords must be chosen, written in English with *Times New Roman* letter in bold and italic.

Key words must be written in alphabetic order and must be as standard as possible, for which it is suggested the use of international databases according to the area of knowledge. For example, in the area of Electrics and Electronics it is suggested to use the IEEE thesaurus and World Bank thesaurus that can be accessed at the following web pages respectively:

[http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy\\_v101.pdf](http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy_v101.pdf)

<http://multites.net/mtsql/wb/site/default.asp>

### *Abstract in Spanish*

Translation to the Spanish language of the text that appears in the abstract, it must be correct and precise.

### *Keywords in Spanish*

Translation to the English language of the keywords in Spanish, they must be correct and precise.

Keywords must be written in the order of the English version and must be as standard as possible, for which it is suggested the use of international databases according to the area of knowledge. For example, in the area of Electrics and Electronics it is suggested to use the UNESCO thesaurus that can be found at the following web pages:

<http://databases.unesco.org/thessp>

### *Introduction*

The general idea of the work must be described, its context, backgrounds, state of the art of the topic, objectives and possible scope of the work.

### *Methodology*

The writing of this part must allow any specialized professional in the topic to replicate the research.

### *Results*

Explanation and interpretation of the findings. If necessary, a brief discussion focused on the interpretation of the results can be presented.

### *Conclusions*

Implication of the results and their relation to the proposed objective.

### *Financing*

Mention the associated research from which the article was derived and the entity that endorsed and financed the research.

### *Acknowledgments*

They should preferably be brief and include the essential contributions for the development of the paper.

### *Equations*

Equations must appear centered with respect to the main text. They must be referenced with consecutive numbers (written in parenthesis close to the right margin). Equations are cited in the main text employing the word equation, and followed by the number in parenthesis. Equations must be made in an appropriate equation editor and compatible with "InDesign" software, as for example the equation editor of Windows.

### *Tables*

In the case of implementation of tables, it is recommended that these are not inserted as images, considering that in that format they cannot be modified. The title of each table must include the word table (in italic) followed by the corresponding consecutive number and a brief name of the table. The heading must be written in TNR letter, italic and font size 9.

Charts are not presented but tables and they should be automatically raised from the text processor. Tables should be named and referenced in the article, in strict order. Every table must have at the bottom the source from which it was taken, or to mention self-authorship if it is the case.

### *Figures*

All the figures or pictures have to be sent in JPG or PNG format with a minimum resolution of 300 DPI, adapted to gray scale.

The footnote or name of each figure must include the word figure (in italic) followed by the corresponding consecutive number and a brief description of the content of the figure. The footnote of the figure must be written in *Times New Roman* letter, italic and font size 9. Figures must be named and referenced in the article, in strict order. Every figure must have at the bottom the source from which it was taken, or to mention self-authorship if it is the case.

### *Symbols*

The symbols of the constants, variables and functions in Latin or Greek letters –included in the equations- must be in italic; the mathematical symbols and the numbers do not go in italic. The symbols must be identified immediately after the equation. Units, dimensions and symbols of the international system must be used

When using acronyms or abbreviations, the complete equivalence should be written first, followed by the corresponding acronym or abbreviation in parenthesis and from there it is only written the respective acronym or abbreviation.

### *Bibliographic references*

The adopted reference citation style by *Tecnura* journal is APA sixth edition. The cites, bibliographic references and infography are included in the last part of the article. The bibliographic references must be alphabetically ordered according to the author's first surname, without numbering.

There should only appear the cited references in the main body of the work, in tables or in figures. It means, in the list there should not appear other references although they have been consulted by the authors for the work preparation. We suggest using tools such as: Cites and bibliography from Microsoft Word (for APA sixth edition version 2013 or superior), Zotero, Mendeley, among others.

The call for a bibliographic reference is inserted in the text, at the pertinent point, under certain characteristics:

- If the sentence includes the author's surname, it should only be written the date into a parenthesis, for instance:

Cuando Vasco (2012), analizó el problema de presentado en ....

- When the author is not included in the sentence, surname and date must be into a parenthesis.

La investigación de materiales dio una visión en el área (Martínez, 2012).

- If the document or work has more than two authors, the first cite must include all the surnames. 1990. (Fernández Morales, Villa Krieg & Caro de Villa, 2008) ....

- In the following mentions, it must only be written the author's first surname, followed by "et al."

En cuanto al estudio de las aguas, Fernández Morales et al. (2008) encontraron que ...

- When the document or work has more than six authors, it must be used from the first mention "et al."

Next it is described a series of examples of the more used references, according to the reference style adopted by *Tecnura* journal:

### **Periodical Publications:**

#### Basic Form

Surnames, A. A., Surnames, B. B. & Surnames, C. C. (Date). Article's title. *Title of the publication*, volume (number), pp. xx-xx. doi: xx.xxxxxxx

#### Basic article

Guevara López, P., Valdez Martínez, J., Agudelo González, J., & Delgado Reyes, G. (2014). Aproximación numérica del modelo epidemiológico SI para la propagación de gusanos informáticos, simulación y análisis de su error. *Revista Tecnura*, 18(42), 12 -23. doi:http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.4.a01

#### Web article

Rodríguez Páez, S., Fajardo Jaimes, A., & Páez Rueda, C. (2014). Híbrido rat-race miniaturizado para la banda ISM 2,4 GHz. *Revista Tecnura*, 18(42),

38-52. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/8059/9675>

### **Books:**

#### Basic Form

Surnames, A. A. (Year). *Title*. City: Editorial.

Surnames, A. A. (Year). *Title*. Recovered from <http://www.xxxxxx.xxx>

Surnames, A. A. (Year). *Title*. doi: xx.xxxxxxx

Surnames, A. A. (Ed.). (Year). *Title*. City: Editorial.

#### Book with author

Goleman, D. (2000). *La inteligencia emocional: Por qué es más importante que el cociente intelectual*. México: Ediciones B.

#### Book with editor:

Castillo Ortiz, A. M. (Ed.). (2000). *Administración educativa: Técnicas, estrategias y prácticas gerenciales*. San Juan: Publicaciones Puertorriqueñas

#### Book electronic version:

Montero, M. & Sonn, C. C. (Eds.). (2009). *Psychology of Liberation: Theory and applications*. [Versión de Springer]. doi: 10.1007/ 978-0-387-85784-8

### **Technical report:**

#### Basic Form

Surnames, A. A. (Year). *Title*. (Report No. xxx). City: Editorial

#### Report with authors

Weaver, P. L., & Schwagerl, J. J. (2009). *U. S. Fish and Wildlife Service refuges and other nearby reserves in Southwestern Puerto Rico*. (General Technical Report IITF-40). San Juan: International Institute of Tropical Forestry.

#### Report from a Government agency

Federal Interagency Forum on Child and Family Statistics. *America's Children: Key National Indicators of Well-Being, 2009*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. Recuperado de <http://www.childstats.gov/pubs/index.asp>

**Thesis****Basic form**

Surnames, A. A. (Year). Title. (Unpublished master or doctorate thesis). Institution name, Location.

**Unpublished thesis, printed**

Muñoz Castillo, L. (2004). *Determinación del conocimiento sobre inteligencia emocional que poseen los maestros y la importancia que le adscriben al concepto en el aprovechamiento de los estudiantes*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Metropolitana, San Juan, PR.

**Commercial database thesis**

Santini Rivera, M. (1998). *The effects of various types of verbal feedback on the performance of selected motor development skills of adolescent males with Down syndrome*. (Tesis doctoral). Disponible en la base de datos ProQuest Dissertations and Theses. (AAT 9832765).

**Web thesis**

Aquino Ríos, A. (2008). *Análisis en el desarrollo de los temas transversales en los currículos de español, matemáticas, ciencias y estudios sociales del Departamento de Educación*. (Tesis de maestría, Universidad Metropolitana). Recuperado de [http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis\\_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf](http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf)

**Standards or patents****Basic form**

Surnames, A. A. Title of the patent. Country and number of the patente. Classification of the patent, date of official license. Number and date of patent request, pagination.

Hernández Suárez, C. A., Gómez Saavedra, V. A., & Peña Lote, R. A. Equipo medidor de indicadores de calidad del servicio de energía eléctrica para usuario residencial. Colombia., 655. G4F 10/0, 15 de Marzo 2013. 27 de Octubre 2011, 147

**ARTICLE SUBMISSION**

Authors must submit their articles through the application Open Journal System in digital format, attaching the cover letter and the article-authors format.

**Cover letter**

The article must be submitted with a cover letter addressed to the director and editor of the journal, Engineer Cesar Augusto Garcia Ubaque, including:

- Specific request to consider your article to be published in Tecnura journal.
- Full title of the article.
- Full names of all the authors of the paper.
- Certification of the originality and unpublished character of the paper.
- Exclusivity of submission to Tecnura journal.
- Authoring confirmation with signature of all the authors.

This letter must be signed by all the authors, scanned and sent with the remaining requested documents.

**Article-authors information format**

The article has to be submitted with an information format about the article and its authors which can be downloaded from the web page of Tecnura journal <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>, in the section "Forms and Documents". It is important to complete all the fields of information requested, some of them have comments to clarify better what is being requested. The format must not be scanned.

**Article**

Article in digital format (Word 2003 and later editions) that complies with all the presentation rules described in chapter three, "Article structure", of this guide of instructions for authors.

## PUBLICATION PROCEDURE

The procedure to be followed by Tecnura journal for the evaluation and possible publication of the papers sent by the authors is the following in chronological order:

1. Delivery of the article with the cover letter and the information format by the authors.
2. Notification to the author about the reception of the article.
3. Verification of the presentation rules by the monitor of the journal.
4. Notification to the author about the evaluation of the presentation rules.
5. Submission of corrections made by the authors related to the evaluation of presentation rules.
6. Submission of the articles to the selected arbitrators.
7. Notification of the beginning of the arbitration process of the article.
8. Notification to the authors about the decision made by the editorial committee, and about the evaluations made by the arbitrators.
9. Delivery of the corrections made by the authors with respect to the evaluations made by the arbitrators.
10. Study of the final version of the article and the evaluations of the arbitrators by the editorial committee.
11. Delivery by the authors of the letter that surrenders right to the editor of the journal.
12. Submission of the version with style corrections and diagrammed to the authors.
13. Verification of errors and final approval of the version with style corrections and diagrammed by the authors.
14. Publication of the article in the corresponding number of Tecnura journal.
15. Notification to the authors of the number of interest.
16. Delivery of a copy of the journal to each one of the authors of the published article.

## ARTICLE ARBITRATION PROCESS

Considering the quarterly periodicity of the journal, the Editorial Committee makes four calls every year for the submission of articles, approximately in the months of February, May, August and November. The articles will be received until the date established in the call.

Once received the articles, the monitor of the journal will make an initial form evaluation to verify the completion of the elements mentioned in this guide of instructions to authors. After receiving again the article with the requested corrections by the journal's monitor, the paper will be submitted to evaluation by three academic peers (through time it is expected to include more external peers to participate in the process).

Each article sent to Tecnura journal is checked by two expert academic peers external to the institution of the authors, by a process of "Peer-review" of double blind, guaranteeing the anonymity of authors and evaluators; every paper sent is considered confidential and so it is demanded to evaluators.

Possible conclusions of the result of the evaluation by the judges are only three: publish the article without modifications, publish the article with modifications and not publish the article.

Subsequently, the Editorial Committee takes the decision to publish or not the articles, based on the results of the evaluations made by the assigned arbitrators. In case of contradictions in the evaluations with respect to the publication of an article, the editorial committee will send the article to a third peer and will be inclined for the two evaluations that have the same concept with respect to the publication of the article.

In each call the main author must suggest at least four possible external arbitrators to his work institution evaluators, who must be specialists in the specific topic of the article sent and must have at least Masters level, and at least two must to be international. Potential evaluators can belong to a university or industry, public or private; their

complete names must be provided, highest academic formation, institutional affiliation and e-mail. The editorial committee will analyze these four potential evaluators in order to enrich the database of arbitrators of *Tecnura* journal.

The Editorial Committee of *Tecnura* journal reserves the right to print, reproduce total or partially the article, as the right to accept or reject it. In the same way, it has the right to make any editorial modification that considers necessary; in this case the author will receive written recommendations from the evaluators. If accepted, authors must deliver the article with the suggested adjustments within the dates given by the journal to guarantee its publication in the programmed number.

## CONTACT

For any additional information request, please send an e-mail to *Tecnura* journal [tecnura@udistrital.edu.co](mailto:tecnura@udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com) or by mail to Cesar Augusto Garcia Ubaque, Director and Publisher of *Tecnura* Journal, to the following address:

*Tecnura* Journal  
Journals Room, Block 5, Office 305.  
Faculty of Technology  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Transversal 70 B N. 73 a 35 sur  
Phone: 571-3239300 Extension: 5003  
Mobile: 57-3153614852  
Bogotá D.C., Colombia  
Email:  
[tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)  
Web page:  
<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>