

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES



DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Andrés Enrique Espinosa Martillo
Brandon Alexander Cañarte Valencia
Bruno Joffre Parrales Castro
Byron Manuel Mendoza Delgado
Carlos Adrián Morán Soledispa
Carlos Amador Delgado Zavala
César Arturo Baque Cevallos
Cristhian Javier Zambrano Cevallos
Cristhian Rubén Choez Abata
Dalia Silvana Sanmartín Torres
Daniel David Carvajal Rivadeneira
Dannys Ramón Rodríguez Avilés
Diego Sornoza Parrales
Edison J Véliz Gómez
Erick Guadamud Soledispa
Fernando Alexander García Saldarriaga
Fernando Nicolás Palacios Pazmiño
Flery Jasmina Moncayo García
Gladys Elena Garay Riofrío
Gloria Mercedes Castro Zambrano
Gonzalo Hernán Baque Barrera
Haminthon Alexander Carreño Rosado
Hugo Enrique Castro Parrales
Hugo Javier Córdova Morán
Jefferson D Guaranda Pincay
Jennifer Jacqueline Cevallos Pionce

Jerson Vera Chilán
Jimmy Antonio Marcillo Cantos
John Michael Toala Baque
Jonathan Andrés Baque Anzulez
José Amable Tonguino Rodríguez
José Eduardo Cornejo López
Leandro Arsenio Soledispa Gómez
Leandro Josué Briones Rivera
Luis Alberto Endara Cevallos
Luis Roberto Ponce Baque
Luiggis A Ceballos Baquerizo
Marlon Andrés Fernández Bazarro
María Nelly Parraga Salmeron
María Teresa Ponce Cevallos
Mauricio Leonel Lourido Choez
Michelle Gisselle Bailón Moreira
Oscar Gualberto Anchundia Bailón
Raúl Alberto Choez López
Ronny Fernando Román Solorzano
Salomón Antonio Bravo Macías
Teodoro Fernando Lino Tubay
Víctor Alejandro Lino Calle
Walter Rodríguez Procel
Yandry Marcelo Intriago Delgado
Yesenia Vanessa Sornoza Almendariz

Autores Investigadores



SABEREC 5.0

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

AUTORES

INVESTIGADORES

Andrés Enrique Espinosa Martillo

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles;
Instituto de Posgrado;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ espinosa-andres8718@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0000-7543-336X>

Brandon Alexander Cañarte Valencia

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles;
Ingeniero/a Civil;
Facultad de Posgrado;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

🆔 <https://orcid.org/0009-0004-7131-2551>

Bruno Joffre Parrales Castro

Ingeniero/a Civil;
Carrera de Ingeniería Civil;
Facultad de Ciencias Técnicas;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

🆔 <https://orcid.org/0009-0008-3262-6944>

Byron Manuel Mendoza Delgado

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de
Obras Civiles del Instituto de Posgrado de la
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ mendoza-byron8919@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0004-7268-3864>

Carlos Adrián Morán Soledisa

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de
Obras Civiles del Instituto de Posgrado de la
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ moran-carlos7119@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0003-6765-3065>

Carlos Amador Delgado Zavala

Magíster en Administración Pública;
Ingeniero Civil;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ delgado-carlos5240@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0004-5725-2994>

César Arturo Baque Cevallos

Ingeniero Civil;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ baque-cesar9587@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0003-1095-7885>

Cristhian Javier Zambrano Cevallos

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles;
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ zambrano-cristhian4451@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0004-3100-5688>

Cristhian Rubén Choez Abata

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles;
Instituto de Posgrado;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ choez-cristhian@unesum.edu.ec

ID <https://orcid.org/0009-0003-5719-9890>

Dalia Silvana Sanmartín Torres

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles;
Instituto de Posgrado;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

ID <https://orcid.org/0009-0009-4075-2374>

Daniel David Carvajal Rivadeneira

Docente de la Maestría en Planificación de Infraestructura Física de
Obras Civiles del Instituto de Posgrado de la
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ daniel.carvajal@unesum.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0002-5288-5483>

Dannys Ramón Rodríguez Avilés

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ rodriguez-dannys3737@unesum.edu.ec

ID <https://orcid.org/0009-0002-1267-4881>

Diego Sornoza Parrales

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles;
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ diego.sornoza@unesum.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0001-9319-9298>

Edison Jahir Véliz Gómez

Ingeniero/a Civil;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ jahircuentabnp95@gmail.com

🆔 <https://orcid.org/0009-0001-1931-5243>

Erick Guadamud Soledispa

Ingeniero/a Civil;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ guadamud-erick6528@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0004-0132-5541>

Fernando Alexander García Saldarriaga

Ingeniero/a Civil;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ garcia-fernando9788@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0003-3666-2049>

Fernando Nicolás Palacios Pazmiño

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ palacios-fernando7176@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0009-1527-0031>

Flery Jasmina Moncayo García

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ moncayo-flery6717@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0003-2219-7756>

Gladys Elena Garay Riofrío

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles;
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ garay-gladys8925@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0000-4107-7993>

Gloria Mercedes Castro Zambrano

Ingeniera Civil;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ castro-gloria2403@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0002-7784-938X>

Gonzalo Hernán Baque Barrera

Magíster en Sistemas de Información Gerencial;
Ingeniero en Sistemas;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ Gonzalo.baque@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0000-0001-5882-1897>

Haminthon Alexander Carreño Rosado

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles del
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ carreño-haminthon2658@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0002-4148-960X>

Hugo Enrique Castro Parrales

Ingeniero Civil;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ Castro-hugo0815@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0007-2226-628X>

Hugo Javier Córdova Morán

Maestría en Ingeniería Civil Mención Estructuras;
Facultad de Posgrado;
Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo; Ecuador

✉ hcordova2444@utm.edu.ec
ID <https://orcid.org/0000-0002-9315-3123>

Jefferson David Guaranda Pincay

Ingeniero Civil;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ jeffguaranda@hotmail.com

🆔 <https://orcid.org/0009-0006-4688-0893>

Jennifer Jacqueline Cevallos Pionce

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles;
Instituto de Posgrado;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ jennifer8780@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0004-9342-3914>

Jerson Josue Vera Chilán

Ingeniero Civil;
Escuela Superior Politécnica del Litoral;
Guayaquil; Ecuador

🆔 <https://orcid.org/0009-0007-1808-3341>

Jimmy Antonio Marcillo Cantos

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles del
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ marcillo-jimmy3820@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0006-1167-4184>

John Michael Toala Baque

Ingeniero Civil;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ toala-john7377@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0003-5979-946X>

Jonathan Andrés Baque Anzulez

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles del
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ baque-jonathan9575@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0003-3793-8406>

José Amable Tonguino Rodríguez

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles;
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ tonguino-jose6409@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0009-8655-9641>

José Eduardo Cornejo López

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles;
Instituto de Posgrado Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ cornejo-jose7835@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0004-3616-563X>

Leandro Arsenio Soledispa Gómez

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles del
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ soledispa-leandro9396@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0003-6861-4471>

Leandro Josué Briones Rivera

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles del
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

🆔 <https://orcid.org/0009-0005-7765-9879>

Luis Alberto Endara Cevallos

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles del
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ endara-luis4842@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0006-6105-184X>

Luis Roberto Ponce Baque

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles del
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ ponce-luis1634@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0006-1454-8407>

Luiggis A Ceballos Baquerizo

Ingeniero Civil;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ ceballos-luiggis6819@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0001-3239-058X>

Marlon Andrés Fernández Bazurto

Ingeniero Civil;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ fernandez-marlon2246@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0004-8710-6592>

María Nelly Parraga Salmeron

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles del
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

ID <https://orcid.org/0009-0008-8397-9619>

María Teresa Ponce Cevallos

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles del
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ ponce-maria4660@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0009-4617-6005>

Mauricio Leonel Lourido Choez

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles del
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ lourido-mauricio3775@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0004-0041-8164>

Michelle Gisselle Bailón Moreira

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles del
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ bailon-michelle1789@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0001-3122-9890>

Oscar Gualberto Anchundia Bailón

Ingeniero Civil;
Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ anchundia-oscar1898@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0008-7957-3616>

Raúl Alberto Choez López

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles del
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ choez-raul8306@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0004-6025-3066>

Ronny Fernando Román Solorzano

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles del
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ roman-ronny9596@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0001-4675-5797>

Salomón Antonio Bravo Macías

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles del
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ bravo-salomon8365@unesum.edu.ec
ID <https://orcid.org/0009-0003-2219-7756>

Teodoro Fernando Lino Tubay

Maestría en Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles del
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

ID <https://orcid.org/0009-0008-0975-2379>

Víctor Alejandro Lino Calle

Docente de la Maestría en Planificación de Infraestructura
Física de Obras Civiles del
Instituto de Posgrado de la Universidad Estatal del Sur de Manabí
Jipijapa; Ecuador

✉ victor.lino@unesum.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0002-2302-3489>

Walter Israel Rodríguez Procel

Magíster en Recursos Hídricos;
Ingeniero Civil;
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Guayaquil, Ecuador

✉ wirodriguez@utpl.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0002-9194-6066>

Yandry Marcelo Intriago Delgado

Magíster en Educación Mención en Pedagogía en Entornos Digitales;
Magíster en Matemática;
Ingeniero Eléctrico;
Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo; Ecuador

✉ yintriago6214@utm.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0002-9757-0282>

Yesenia Vanessa Sornoza Almendariz

Maestría en Estadística;
Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo; Ecuador

✉ Vsornoza1@gmail.com

ID <https://orcid.org/0000-0002-7316-0545>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

REVISORES

ACADÉMICOS

Pedro Napoleón Chara Moreira

Magíster en Tecnologías de Edificación;

Arquitecto;

Universidad de Guayaquil;

Guayaquil, Ecuador;

✉ pedro.cedenosa@ug.edu.ec;

🆔 <https://orcid.org/0000-0002-0696-7947>

Xavier Francisco Flores Torres

Máster Universitario en Desarrollo Económico y Políticas Publicas;

Economista;

Universidad de Guayaquil;

Guayaquil, Ecuador

✉ xavier.florest@ug.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0000-0001-6721-2380>

CATALOGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

AUTORES:

Andrés Enrique Espinosa Martillo
Brandon Alexander Canarte Valencia
Bruno Joffre Parrales Castro
Byron Manuel Mendoza Delgado
Carlos Adrián Morán Soledispa
Carlos Amador Delgado Zavaia
César Arturo Baque Cevallos
Cristhian Javier Zambrano Cevallos
Cristhian Rubén Choez Abata
Dalia Silvana Sanmartín Torres
Daniel David Carvajal Rivadeneira
Dannys Ramón Rodríguez Avilés
Diego Sornoza Parrales

Edison J Véliz Gómez
Erick Guadamud Soledispa
Fernando Alexander García Saldarriaga
Fernando Nicolás Palacios Pazmiño
Flery Jasmina Moncayo García
Gladys Elena Garay Riofrío
Gloria Mercedes Castro Zambrano
Gonzalo Hernán Baque Barrera
Hamilton Alexander Carreño Rosado
Hugo Enrique Castro Parrales
Hugo Javier Córdova Morán
Jefferson D Guaranda Pincay
Jennifer Jacqueline Cevallos Pionce

Jerson Vera Chilaín
Jimmy Antonio Marceillo Cantos
John Michael Toala Baque
Jonathan Andrés Baque Anzué
José Amable Tanguino Rodríguez
José Eduardo Cornejo López
José Leandro Arsenio Soledispa Gómez
Leandro Jesús Briones Rivera
Luis Alberto Endara Cevallos
Luis Roberto Ponce Baque
Luiggis A Ceballos Baquerizo
Marlon Andrés Fernández Bazurto
María Nelly Parraga Salmeron

María Teresa Ponce Cevallos
Mauro Leonel Lourido Choez
Michelle Gisselle Bailón Moreira
Oscar Gualberto Anchundia Bailón
Raúl Alberto Choez López
Ronny Fernando Román Solorzano
Salomón Antonio Bravo Macías
Teodoro Fernando Lino Tubay
Victor Alejandro Lino Calle
Walter Rodríguez Procel
Yandry Marcelo Intrigado Delgado
Yesenia Vanessa Sornoza Alimendariz

Título: Desarrollando Competencias para el Siglo XXI: Tomo Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles

Descriptor: Ingeniería civil; Obras públicas; Planificación; Organización y Gestión

Código UNESCO: 3329 Planificación

Clasificación Decimal Dewey/Cutter: 658.301/Es653

Área: Ciencias Tecnológicas

Edición: 1^{era}

ISBN: 978-9942-678-05-8

Editorial: Saberec, 2024

Ciudad, País: Quito, Ecuador

Formato: 148 x 210 mm.

Páginas: 346

DOI: <https://doi.org/10.26820/978-9942-678-05-8>

URL: <https://repositorio.saberec5.com.ec/index.php/saberec/catalog/book/23>

Texto para docentes y estudiantes universitarios

El proyecto didáctico **Desarrollando Competencias para el Siglo XXI: Tomo Planificación de Infraestructura Física de Obras Civiles**, es una obra colectiva escrita por varios autores y publicada por MAWIL; publicación revisada por el equipo profesional y editorial siguiendo los lineamientos y estructuras establecidos por el departamento de publicaciones de MAWIL de New Jersey.

© Reservados todos los derechos. La reproducción parcial o total queda estrictamente prohibida, sin la autorización expresa de los autores, bajo sanciones establecidas en las leyes, por cualquier medio o procedimiento.



Usted es libre de:
Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato.
Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

Directora Académica: Ab. Luz Argoti

Dirección Central SABEREC: Sector Ponceano Alto, Edificio Miraflores

Editor de Arte y Diseño: Leslie Letizia Plua Proaño

Corrector de estilo: Lic. Marcelo Acuña Cifuentes

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Índices

Contenidos



SABEREC 5.0

Prólogo ----- 26
Introducción----- 29

Unidad 1.

El Rol de la Metodología BIM en la Planificación y Gestión Eficiente de Recursos en Infraestructura de Obras Civiles----- 32
Sanmartín Torres Dalía Silvana; Lino Tubay Teodoro Fernando; Parraga Salmeron María Nelly; Cañarte Valencia Brandon Alexander

Capítulo I.

Integración de ia en procesos bim para una entrega de proyectos más eficiente----- 42
Parrales Castro Bruno Joffre; Sornoza Almendariz Yesenia Vanessa; Carvajal Rivadeneira Daniel David; Briones Rivera Leandro Josué

Capítulo II.

Beneficios y desafíos de la metodología BIM en la industria de la construcción----- 54
Marcillo Cantos, Jimmy Antonio; Mendoza Delgado, Byron Manuel; Lino Calle Víctor Alejandro; Sornoza Parrales, Diego Renato

Capítulo III.

Innovaciones en Modelos Avanzados para la Evaluación de la Resistencia Estructural ----- 68
Jennifer Jacqueline Cevallos Pionce; Andrés Enrique Espinosa Martillo Diego Sornoza Parrales; Daniel David Carvajal Rivadeneira

Unidad 2.

Diseño de vivienda autosustentable con bloques de adición porcentual de aserrín para el cantón Paján en la provincia de Manabí----- 83
Cristhian Rubén Choez Abata; Raúl Alberto Choez López; Fernando Alexander García Saldarriaga

Capítulo IV.

Análisis teórico sobre la implementación de bloques de plástico reciclado para la construcción de viviendas en Ecuador----- 91
Cristhian Javier Zambrano Cevallos; Ronny Fernando Román Solorzano Diego Sornoza Parrales

Capítulo V.

Reforzamiento mediante polímeros reforzados con fibras (FRP)
en vigas de hormigón armado ----- 105
*Haminthon Alexander Carreño Rosado; Byron Manuel Mendoza Delgado;
Hugo Enrique Castro Parrales; Flery Jasmina Moncayo García*

Capítulo VI.

La eficiencia y sostenibilidad en rellenos sanitarios para avances
en infraestructuras físicas. una revisión de la literatura ----- 124
*Garay Riofrío Gladys Elena; Cornejo López José Eduardo;
Mendoza Delgado Byron Manuel; kLino Calle Víctor Alejandro*

Capítulo VII.

Importancia de calidad y control en instalación de placa base
de estructura metálica para cimentación en viviendas
de hasta dos pisos. ----- 139
*Luiggis A. Ceballos Baquerizo; Jefferson D. Guaranda Pincay;
Edison J. Véliz Gómez; Gerardo D. Pincay Brawn*

Unidad 3.

Análisis hidráulico de un puente utilizando HEC-RAS considerando
efectos del cambio climático ----- 151
*Erick Guadamud Soledispa; Walter Rodríguez Procel;
Miguel Eduardo Pionce Soledispa; Jerson Vera Chilán*

Capítulo VIII.

Análisis del diseño geométrico de vías: revisión y tendencias
actuales en la literatura académica ----- 169
*Bravo Macías Salomón Antonio; Lino Calle Víctor Alejandro;
Carvajal Rivadeneira Daniel David; Baque Barrera Gonzalo Hernán*

Capítulo IX.

Revisión de las normativas de construcción de edificaciones
para uso de viviendas en la ciudad de Jipijapa----- 182
*Baque Anzulez Jonathan Andrés; Lourido Choez Mauricio Leonel;
Morán Soledispa Carlos Adrián; Lino Calle Víctor Alejandro*

Capítulo X.

Incidencia del tipo de agua en la calidad del hormigón simple
en las edificaciones de la ciudad de Manta----- 194
*Byron Manuel Mendoza Delgado; Haminthon Alexander Carreño Rosado;
Jimmy Antonio Marcillo Cantos; Gladys Elena Garay Riofrío*

Capítulo XI.

Revisión literaria del uso de pavimentos flexibles con adición
de cauchos reciclados y polietileno ----- 215
*Moncayo García, Flery Jazmina; Carreño Rosado Haminthon Alexander;
Hugo Enrique Castro Parrales; Lino Calle Víctor Alejandro*

Unidad 4.

Análisis de estrategias de mitigación para la reducción del impacto
ambiental en la construcción de infraestructuras viales ----- 229
Oscar Gualberto Anchundia Bailón; Marlon Andrés Fernández Bazurto

Capítulo XII.

Planificación estratégica y la gestión pública del gobierno
autónomo descentralizado de la parroquia rural cascol ----- 240
*John Michael Toala Baque; Gloria Mercedes Castro Zambrano;
Carlos Amador Delgado Zavala*

Capítulo XIII.

Valuación de la susceptibilidad a la licuación de suelos mediante SPT
en el Cantón Puerto López, Ecuador: Estudio de Caso. ----- 255
*Luis Roberto Ponce Baque; Víctor Alejandro Lino Calle;
Daniel David Carvajal Rivadeneira; Yandry Marcelo Intriago Delgado*

Capítulo XIV.

Análisis del impacto de pavimentos flexibles y permeables
en la reducción de inundaciones urbanas y el mantenimiento vial ----- 264
*Luis Alberto Endara Cevallos; Fernando Nicolás Palacios Pazmiño;
María Teresa Ponce Cevallos; Dannys Ramón Rodríguez Avilés*

Capítulo XV.

Revisión de propuestas de planes integrales de movilidad: análisis
y tendencias actuales en la literatura ----- 274
*Soledispa Gómez Leandro Arsenio; Lino Calle Víctor Alejandro;
Carvajal Rivadeneira Daniel David; Córdova Morán Hugo Javier*

Unidad 5.

Funcionalidad y construcción de una planta de tratamiento
de aguas residuales (PTAR) ----- 287
Carlos Molina Valencia

Capítulo XVI.

Análisis comparativo de un sistema de tratamiento sostenible
y uno tradicional de aguas residuales: una revisión conceptual ----- 300

José Eduardo Cornejo López; Gladys Garay Riofrío;

Byron Manuel Mendoza Delgado; Hugo Javier Córdova Morán

Capítulo XVII.

Análisis de la tasa de infiltración de la parte alta del río Jipijapa----- 329

Michelle Gisselle Bailón Moreira; Martha Johana Álvarez Álvarez

Conclusiones Generales----- 343

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Índices

Tablas



SABEREC 5.0

Tabla 1. Comparación de Eficiencia en Proyectos con y sin BIM -----	37
Tabla 2. Beneficios Perceptibles de BIM según Profesionales de la Construcción -----	38
Tabla 3. Tesis -----	99
Tabla 4. Artículos científicos-----	100
Tabla 5. Composición de la mezcla de concreto para un volumen de 310 $[(dm)^3]$ -----	110
Tabla 6. Resistencia a la compresión de la formulación desarrollada con el diseño de 250 $[(kg/cm)^2]$ -----	111
Tabla 7. Variación de valores medios en los ensayos de las vigas antes y después de ser reforzadas-----	120
Tabla 8. Resultados en las vigas ensayadas antes y después de ser reparadas con la fibra de carbono -----	121
Tabla 9. Criterios de Búsqueda, Selección y Enfoque del Análisis ----	130
Tabla 10. Estadística Relacionada a la Encuesta -----	148
Tabla 11. Fórmulas para realizar las Bonda de ajustes-----	158
Tabla 12. Parámetros alfa para realizar el 95% de cumplimiento -----	158
Tabla 13. Valores de Análisis respecto a una variación de 5 años muestra.-----	159
Tabla 14. Valores de regresión lineal para las estaciones de estudio -----	160
Tabla 15. Bondad de ajuste de precipitaciones -----	162
Tabla 16. Valores de caudales de diseño para modelado -----	162
Tabla 17. Valores de módulo de finura del agua -----	201
Tabla 18. Tamaño máximo de agregados-----	201
Tabla 19. Tamaño máximo de agregados-----	203
Tabla 20. Desviación estándar -----	204
Tabla 21. Muestra de ensayo de laboratorio Unidades/peso: 1/1000ml-----	205
Tabla 22. Muestra de ensayo de laboratorio Unidades/peso: 1/1000ml-----	206
Tabla 23. Muestra de ensayo de laboratorio Unidades/peso: 1/1000ml-----	207
Tabla 24. Muestra de ensayo de laboratorio Unidades/peso: 1/1000ml-----	208
Tabla 25. Matriz FODA-----	252
Tabla 26. Análisis de caracterización de muestras -----	260
Tabla 27. Sistema de clasificación AASHTO -----	261
Tabla 28. Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS)-----	262

Tabla 29. Comparación de las alternativas de procesos de tratamiento de aguas residuales -----	308
Tabla 30. Cuadro de cálculo N0 1 -----	316
Tabla 31. Cuadro de cálculo N0 2 -----	319
Tabla 32. Cuadro de cálculo N0 3 -----	321
Tabla 35. Datos Hidrológicos de la parte alta del río Jipijapa-----	335
Tabla 36. Datos de campo. Infiltrómetro doble anillo-----	336
Tabla 37. Tabla de granulometría de suelo -----	337
Tabla 38. Límites de Atterberg -----	338
Tabla 39. Resumen de datos del Infiltrómetro de doble anillos-----	339
Tabla 40. Tipo de suelo según las Normas SUCS-----	341

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Índices

Figuras



SABEREC 5.0

Figura 1. Diagramado de aplicación de las herramientas BIM en la toma de decisiones-----	47
Figura 2. Aplicación de la IA para determinación del éxito del proyecto-----	48
Figura 3. Impacto de la IA en proyectos BIM de ingeniería civil -----	49
Figura 4. Revisión de la literatura-----	58
Figura 5. Selección de artículos -----	59
Figura 6. Método del espectro de capacidad-----	74
Figura 7. Diagrama de flujo del metaanálisis de búsqueda de acuerdo a PRISMA 2020. -----	96
Figura 8. Esquema colocación de varillas en las vigas de concreto -----	110
Figura 9. Ensayos de las probetas -----	111
Figura 10. Esquema de aplicación de las cargas que se sobre los especímenes a ensaya-----	112
Figura 11. Calibrador, instrumento empleado para medir las deflexiones presentes en las vigas de ensayo-----	113
Figura 12. Viga N° 1 y Viga N° 2 ensayadas antes de reforzar -----	113
Figura 13. Viga N° 3 y Viga N° 4 ensayadas antes de reforzar-----	114
Figura 14. Viga N° 5 y Viga N° 6 ensayada antes de reforzar -----	114
Figura 15. Viga N° 7 y Viga N° 8 ensayada antes de reforzar -----	114
Figura 16. Representación esquemática de la colocación del refuerzo externo en U, en la viga de concreto-----	115
Figura 17. Representación esquemática de la colocación del refuerzo externo inferior, en la viga de concreto -----	115
Figura 18. Componentes A y B del epóxico y mezcla homogénea final al combinar los componentes.-----	116
Figura 19. Sellado de fisuras existentes en la viga con el epóxico Sikadur 301 -----	116
Figura 20. Recubrimiento de la superficie de la viga con en el epóxico-----	117
Figura 21. Detalle de recubrimiento inferior de las vigas reforzadas en forma transversal y en forma longitudinal-----	117
Figura 22. Detalle de recubrimiento en U de las vigas reforzadas en forma transversal y en forma longitudinal-----	117
Figura 23. Aplicación de la carga a viga reforzada en cara inferior con fibra orientada perpendicular a la fisura-----	118
Figura 24. Vista de fisuras por delaminación de la fibra en un extremo de la viga reforzada en U-----	118

Figura 25. Vista y detalle de las fisuras generadas de viga ensayada con reforzamiento transversal-----	119
Figura 26. Vista y detalle de falla del tejido de viga con reforzada con fibra orientada en forma incorrecta -----	119
Figura 27. Aspectos principales derivados del ATD -----	131
Figura 28. Errónea fijación e instalación de placas base -----	145
Figura 29. Errónea fijación e instalación de placas base -----	145
Figura 30. Errónea fijación e instalación de placas base -----	146
Figura 31. Adecuada ejecución en la instalación y fijación de placas base. -----	146
Figura 32. Gráfica Relacionada a la Percepción de la Encuesta -----	149
Figura 33. Área de Estudio-----	155
Figura 34. Esquema General de interpretación, flujo de investigación -----	156
Figura 35. Gráficos de las 2 estaciones con problemas en la tendencia al cambio limático-----	160
Figura 36. Gráficos de 2 estaciones con problemas al cambio climático -----	160
Figura 37. ISOYETAS representación cada 10 años -----	161
Figura 38. Grafico en Civil 3D -----	163
Figura 39. Modelado en Hec-RAS -----	163
Figura 40. Representación Hidráulica del modelado en HEC-RAS ----	163
Figura 41. Sección transversal respecto al plano 2. -----	169
Figura 42. Sección transversal respecto al plano 1 -----	169
Figura 43. Revisión sistemática -----	173
Figura 44. Selección de artículos-----	174
Figura 45. Etapas de la metodología implementada -----	186
Figura 46. Características de viviendas en Jipijapa-----	189
Figura 47. Curva de resistencia usando agua potable de tuberías de redes domiciliaria -----	209
Figura 48. Curva de resistencia usando agua potable de la toma Manta-Rocafuerte -----	209
Figura 49. Curva de resistencia usando agua dulce de pozo-----	210
Figura 50. Curva de resistencia usando agua salobre de pozo -----	210
Figura 51. Curva de resistencia usando los cuatro tipos de agua-----	211
Figura 52. Curva general de la resistencia del hormigón-----	212
Figura 53. Revisión bibliográfica documental-----	219
Figura 54. Selección de artículos-----	220

Figura 55. Conocimiento sobre el Gobierno Autónomo Descentralizado desarrolla estrategias organizacionales, estrategias operativas, y planes -----	246
Figura 56. Conocimiento sobre la misión, visión y valores del GAD Rural de Cascol -----	246
Figura 57. Consideración que una excelente administración del GAD depende de un adecuado plan estratégico -----	247
Figura 58. Cumplimiento de las necesidades de la Parroquia Rural Cascol -----	247
Figura 59. Realización de mantenimientos de infraestructuras en la Parroquia Rural Cascol -----	248
Figura 60. Planificación estratégica aplicado al GAD Rural de Cascol -----	250
Figura 61. Modelo de gestión estratégica y su relación con la misión y visión institucional -----	251
Figura 62. Revisión sistemática -----	278
Figura 63. Selección de artículos -----	279
Figura 64. Etapas de construcción de la PTAR -----	295
Figura 65. Diagrama para el funcionamiento de una PTAR -----	297
Figura 66. Diseño Fosa Séptica (Planta - Corte) -----	310
Figura 67. Diseño Fosa Séptica de doble cámara (Planta - Corte) -----	313
Figura 68. Diseño Fosa Séptica mas Filtro Anaeróbico (Planta - Corte) -----	315
Figura 69. Diseño Reactor Anaerobio (Planta - Cortes) -----	318
Figura 70. Diseño Lechos de secado (Planta - Corte) -----	321
Figura 71. Velocidad de infiltración -----	324
Figura 72. Parte alta del río Jipijapa -----	332
Figura 73. Curva granulométrica -----	337
Figura 74. Curva general de Infiltración de los ensayos -----	339

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Prólogo



SABEREC 5.0

Este libro representa la culminación de un esfuerzo colectivo y apasionado por parte de los estudiantes de la Maestría en Planificación de Infraestructura de Obras Civiles de la Universidad Estatal del Sur de Manabí. Cada capítulo es el resultado de una rigurosa investigación, un análisis profundo y una dedicación inquebrantable para abordar los desafíos y oportunidades que presenta el mundo de la ingeniería civil en la actualidad.

En estas páginas, el lector encontrará una diversidad de temas que reflejan la amplitud y profundidad de la disciplina. Desde la integración de la inteligencia artificial en los procesos BIM hasta la evaluación de la resistencia estructural con modelos avanzados, cada trabajo ofrece una perspectiva única y valiosa.

Uno de los aspectos más destacados de esta colección es el enfoque en la sostenibilidad y la innovación. Los autores exploran soluciones creativas para la construcción de viviendas autosustentables, el uso de materiales reciclados y la mitigación del impacto ambiental en infraestructuras viales. Además, se abordan temas cruciales como la eficiencia en rellenos sanitarios, el reforzamiento de estructuras con polímeros y el análisis de la calidad del hormigón.

La importancia de la planificación y la gestión también se refleja en los estudios sobre el diseño geométrico de vías, la revisión de normativas de construcción y la planificación estratégica en gobiernos autónomos descentralizados. Además, se presentan análisis hidráulicos de puentes, estudios de licuación de suelos y propuestas de planes integrales de movilidad, todos ellos fundamentales para el desarrollo de infraestructuras resilientes y adaptadas al cambio climático.

Este libro no solo es una recopilación de investigaciones, sino también un testimonio del compromiso de la Universidad Estatal del Sur de Manabí con la formación de profesionales altamente capacitados y comprometidos con el desarrollo sostenible de nuestra sociedad. Esperamos que esta obra sirva de inspiración y guía para futuras generaciones de ingenieros civiles y contribuya al avance de la disciplina en el Ecuador y más allá.

Agradecemos profundamente a los profesores, investigadores y colaboradores que hicieron posible la realización de este libro. Su guía, apoyo y conocimiento fueron fundamentales para el éxito de cada uno de los trabajos presentados. También expresamos nuestro reconocimiento a la Universidad Estatal del Sur de Manabí por su compromiso con la excelencia académica y su apoyo constante a la investigación.

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Introducción



SABEREC 5.0

Este libro, fruto del esfuerzo y la dedicación de los estudiantes de la Maestría en Planificación de Infraestructura de Obras Civiles de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, presenta una compilación de investigaciones que abordan una amplia gama de desafíos y oportunidades en el campo de la ingeniería civil. Desde la optimización de procesos mediante tecnologías avanzadas hasta la búsqueda de soluciones sostenibles para la construcción y gestión de infraestructuras, cada capítulo refleja un compromiso con la innovación y la excelencia.

En la era actual, la industria de la construcción se enfrenta a la necesidad de adoptar prácticas más eficientes, sostenibles y resilientes. En este contexto, la metodología Building Information Modeling (BIM) emerge como una herramienta fundamental para la planificación y gestión de proyectos, permitiendo la integración de información constructiva en modelos digitales multidimensionales. Los estudios presentados en este libro exploran los beneficios y desafíos de la implementación de BIM, así como su potencial para mejorar la eficiencia, reducir costos y promover la sostenibilidad en la construcción de infraestructuras.

La integración de la inteligencia artificial (IA) en los procesos BIM representa un avance significativo hacia una construcción más inteligente y efectiva. Los autores analizan cómo la combinación de IA y BIM puede optimizar los procesos de diseño, construcción y gestión, permitiendo la detección temprana de conflictos, la toma de decisiones informadas y la reducción de desperdicios de materiales.

Además de la adopción de tecnologías avanzadas, este libro aborda la importancia de la sostenibilidad en la construcción de infraestructuras. Se exploran soluciones innovadoras como el diseño de viviendas autosustentables con bloques de adición porcentual de aserrín, el uso de bloques de plástico reciclado y la implementación de pavimentos flexibles y permeables para la reducción de inundaciones urbanas.

La evaluación de la resistencia estructural, el reforzamiento de estructuras existentes y la gestión eficiente de residuos sólidos son otros temas clave abordados en este libro. Los autores presentan investigaciones sobre innovaciones en modelos avanzados para la evaluación de la resistencia estructural, el reforzamiento de vigas de hormigón armado con polímeros reforzados con fibras (FRP) y la eficiencia y sostenibilidad en rellenos sanitarios.

La planificación y gestión de infraestructuras también son aspectos fundamentales tratados en este libro. Se analizan temas como el diseño geométrico

de vías, la revisión de normativas de construcción, la planificación estratégica en gobiernos autónomos descentralizados y la valuación de la susceptibilidad a la licuación de suelos. En el ámbito de la gestión de recursos hídricos, se destaca la importancia de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la protección del medio ambiente y la salud humana. Los estudios presentados analizan la funcionalidad y construcción de las PTAR, identificando las mejores prácticas en su diseño y construcción. Se describen las bondades de las principales tecnologías utilizadas en la actualidad, destacando su eficacia en la eliminación de contaminantes y la recuperación de recursos.

Se realiza un análisis comparativo de sistemas de tratamiento de aguas residuales sostenibles y tradicionales, enfocándose en alternativas tecnológicas aplicables a poblaciones rurales de pequeños y medianos asentamientos. Se resalta la importancia de complementar los sistemas de alcantarillado sanitario existentes con sistemas de tratamiento, y de diseñar y construir sistemas integrales en aquellos lugares donde aún no existen.

Los avances tecnológicos en sistemas hidrosanitarios son otro tema relevante abordado en este libro. Se presenta una revisión exhaustiva de la literatura actual, enfocándose en las perspectivas y aplicaciones de innovaciones como sensores inteligentes, sistemas de monitoreo en tiempo real y redes de tuberías inteligentes. Se evalúan nuevas técnicas de tratamiento de aguas residuales y reciclaje de agua, así como la implementación de sistemas de información geográfica (SIG) y modelos de información de construcción (BIM) en la planificación y gestión de infraestructuras hidrosanitarias.

Finalmente, se presenta un análisis de la tasa de infiltración en la parte alta del río Jipijapa, un estudio que proporciona nuevos datos sobre la infiltración y el tipo de suelo en la zona, subrayando su impacto en la degradación de la cuenca.

Este compendio es una valiosa contribución al campo de la ingeniería civil, ofreciendo una visión integral de los desafíos y oportunidades que enfrenta la industria en la actualidad. Esperamos que esta obra sirva de inspiración y guía para futuras generaciones de ingenieros civiles y contribuya al desarrollo de infraestructuras más eficientes, sostenibles y resilientes.

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Unidad 1

El Rol de la Metodología BIM en la
Planificación y Gestión Eficiente de
Recursos en Infraestructura de Obras
Civiles

AUTORES: Dalia Silvana Sanmartín Torres; Teodoro Fernando Lino Tubay; María Nelly Parraga Salmeron; Brandon AlexanderCañarte Valencia



SABEREC 5.0

El Rol de la Metodología BIM en la Planificación y Gestión Eficiente de Recursos en Infraestructura de Obras Civiles

The Role of BIM Methodology in the Efficient Planning and Management of Resources in Civil Infrastructure Projects

Resumen

La metodología Building Information Modeling (BIM) ha revolucionado la industria de la construcción al proporcionar una plataforma integral para la planificación y gestión de proyectos de infraestructura civil. Este artículo examinará el impacto de BIM en la optimización de recursos, la mejora de la colaboración interdisciplinaria y la mitigación de riesgos en obras civiles. Se analizará estudios de caso y literatura existente, donde se destaque cómo BIM facilita la coordinación de tareas, la detección temprana de conflictos y la toma de decisiones informadas. Además, los beneficios de BIM en la reducción de desperdicios de materiales, la mejora de la eficiencia operativa y la promoción de prácticas sostenibles. Asimismo, se discutirán los desafíos asociados con su implementación, como la necesidad de formación especializada y la resistencia al cambio en la industria. Se prevé que estos análisis den como resultado que BIM no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye significativamente a la sostenibilidad y reducción de costos en proyectos de infraestructura. La investigación concluirá que la adopción de BIM es esencial para enfrentar los desafíos contemporáneos en la construcción civil, promoviendo prácticas más responsables y eficientes. Por lo tanto, no es solo una tendencia tecnológica, sino una necesidad estratégica para la gestión exitosa de proyectos de infraestructura en un entorno cada vez más complejo y demandante. La transición hacia un enfoque BIM requerirá un cambio cultural y organizativo, pero los beneficios superarán ampliamente los costos iniciales de implementación, estableciendo un nuevo estándar en la industria de la construcción.

Palabras clave: planificación, gestión de recursos, infraestructura, obras civiles, BIM, sostenibilidad.

Abstract

Building Information Modeling (BIM) methodology has revolutionized the construction industry by providing a comprehensive platform for the planning and management of civil infrastructure projects.¹ This article will examine the impact of BIM on resource optimization, improvement of interdisciplinary collaboration, and risk mitigation in civil works. Case studies and existing literature will be analyzed, highlighting how BIM facilitates task coordination, early conflict

detection, and informed decision-making. In addition, the benefits of BIM in reducing material waste, improving operational efficiency, and promoting sustainable practices will be discussed. Likewise, the challenges associated with its implementation, such as the need for specialized training and resistance to change in the industry, will be discussed. These analyses are expected to show that BIM not only improves operational efficiency but also contributes significantly to sustainability and cost reduction in infrastructure projects.² The research will conclude that the adoption of BIM is essential to face contemporary challenges in civil construction, promoting more responsible and efficient practices. Therefore, it is not just a technological trend, but a strategic necessity for the successful management of infrastructure projects in an increasingly complex and demanding environment. The transition towards a BIM approach will require a cultural and organizational change, but the benefits will far outweigh the initial implementation costs, establishing a new standard in the construction industry.

Keywords: planning, resource management, infrastructure, civil works, BIM, sustainability.

Introducción

En el contexto de la planificación y gestión de recursos en infraestructura de obras civiles, la metodología BIM (Building Information Modeling) ha emergido como una herramienta transformadora, revolucionando el diseño, ejecución y gestión de proyectos de construcción. Esta metodología facilita una mejor coordinación y colaboración entre las diversas disciplinas involucradas, mejorando la eficiencia, precisión y sostenibilidad de los resultados finales. El principal objetivo de este estudio es explorar y analizar el rol de la metodología BIM en la planificación y gestión eficiente de recursos en infraestructura de obras civiles, evaluando cómo su adopción influye en diversos aspectos del ciclo de vida del proyecto, desde la fase de diseño hasta la construcción y operación. Se busca determinar cómo BIM contribuye a la optimización de recursos, reducción de costos y mejora en la calidad de las obras civiles. La hipótesis central plantea que la implementación de BIM mejora significativamente la planificación y gestión de recursos, llevando a una ejecución más eficiente y sostenible de los proyectos, al facilitar una mejor coordinación entre disciplinas, permitir una mayor precisión en el diseño, minimizar errores y retrabajos, y optimizar el uso de materiales y recursos humanos.

El desarrollo de la metodología BIM ha sido impulsado por la necesidad de mejorar la eficiencia y la sostenibilidad en el sector de la construcción.

BIM permite la creación de un modelo digital tridimensional que integra datos paramétricos y de tiempo real, facilitando la colaboración y la toma de decisiones informadas durante todas las etapas del proyecto (Soltani, 2016). Este enfoque integrado proporciona una visión holística del proyecto, donde todas las disciplinas pueden trabajar en un entorno colaborativo, reduciendo significativamente los errores y mejorando la precisión del diseño (Salinas & Prado, 2019).

A pesar de sus numerosos beneficios, la implementación de BIM no está exenta de desafíos. Uno de los principales obstáculos es la falta de formación y conocimientos especializados entre los profesionales del sector. La transición a un entorno de trabajo basado en BIM requiere una inversión significativa en capacitación y desarrollo de habilidades, lo cual puede ser una barrera para muchas empresas (Guarniz Díaz, 2016).

La resistencia al cambio es otro desafío importante. La adopción de nuevas tecnologías y metodologías siempre encuentra resistencia, especialmente en industrias tradicionales como la construcción. Superar esta resistencia requiere una gestión del cambio efectiva y un compromiso claro por parte de la alta dirección de las empresas para apoyar la transición hacia BIM (Aliaga Melo, 2012)

Para lograr una implementación exitosa de BIM, es crucial desarrollar una estrategia clara y bien planificada. Esto incluye la definición de objetivos específicos, la selección de herramientas y software adecuados, y la creación de un plan de capacitación integral para los empleados. Además, es esencial establecer protocolos y estándares claros para garantizar la coherencia y calidad de los datos compartidos entre las diferentes disciplinas (Rauccio, 2019).

Materiales y Métodos

Enfoque de la Investigación: Este estudio adopta un enfoque metodológico mixto, combinando tanto métodos cualitativos como cuantitativos. La integración de estos métodos permite obtener una comprensión más profunda y holística del impacto de la metodología BIM en la planificación y gestión de recursos en infraestructura de obras civiles. El enfoque cualitativo se centra en la recopilación de datos a través de entrevistas y encuestas a expertos, mientras que el enfoque cuantitativo incluye el análisis de datos empíricos y métricas de proyectos específicos (Soltani, 2016; Aliaga, 2012).

El diseño de la investigación se basa en un estudio de caso múltiple, donde se seleccionaron varios proyectos de infraestructura civil que han implementado la metodología BIM. Estos casos proporcionan un contexto real y

permiten una comparación entre proyectos con y sin el uso de BIM. Se recopilaban datos detallados sobre la planificación, ejecución y resultados de estos proyectos para evaluar el impacto de BIM en la gestión de recursos (Soltani, 2016; Rauccio, 2023).

La población objetivo de este estudio incluye proyectos de infraestructura civil realizados en diversos contextos geográficos y organizacionales. La muestra se seleccionó de manera no probabilística, eligiendo proyectos representativos que utilizaron la metodología BIM en su desarrollo. Se incluyeron tanto proyectos de gran escala como de menor envergadura para proporcionar una visión amplia de los efectos de BIM en diferentes tipos de infraestructura (Parrott & Bomba, 2010).

Las principales técnicas de recolección de datos utilizadas en este estudio incluyen entrevistas Semi-Estructuradas que se llevaron a cabo con profesionales y expertos en BIM, incluyendo gerentes de proyectos, arquitectos e ingenieros. Las entrevistas se diseñaron para explorar en profundidad las percepciones y experiencias relacionadas con la implementación de BIM. Se distribuyeron encuestas a una muestra más amplia de profesionales en el sector de la construcción para recopilar datos cuantitativos sobre la adopción de BIM, los beneficios percibidos y los desafíos enfrentados. Se revisaron documentos de proyectos, incluyendo planos, cronogramas, presupuestos y reportes de progreso, para obtener datos empíricos sobre la eficiencia y efectividad de la planificación y gestión de recursos utilizando BIM (Soltani, 2016; Rauccio, 2019; Aliaga Melo, 2012).

Los instrumentos específicos utilizados para la recolección de datos incluyen cuestionarios diseñados para recopilar datos cuantitativos sobre las experiencias y opiniones de los profesionales de la construcción respecto al uso de BIM. Los cuestionarios incluían preguntas cerradas y abiertas para capturar tanto datos estructurados como no estructurados. Los Guiones de Entrevista fueron estructurados para guiar las entrevistas semi-estructuradas, asegurando que se cubrieran todos los temas relevantes y permitiendo la flexibilidad necesaria para explorar áreas emergentes de interés, así también se utilizaron herramientas como Revit y Navisworks para el modelado y análisis de datos de proyectos, permitiendo una evaluación detallada de la eficiencia en la gestión de recursos y la identificación de interferencias y compatibilidades en el diseño (Soltani, 2016; Rauccio, 2019).

El análisis de los datos se realizó en varias etapas siendo estas la Transcripción y Codificación de Entrevista, Análisis Estadístico de Encuestas y Mo-

delado y Simulación BIM. Los datos de las encuestas se analizaron utilizando técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales para identificar tendencias y relaciones significativas entre las variables estudiadas, adicional se realizaron simulaciones utilizando modelos BIM para evaluar la eficiencia en la planificación y gestión de recursos, comparando los resultados con proyectos que no utilizaron BIM (Soltani, 2016; Rauccio, 2019).

Para asegurar la validez y fiabilidad de los resultados, se emplearon varias técnicas de validación como triangulación de datos, revisión por pares y análisis de sensibilidad, donde se utilizaron múltiples fuentes de datos (entrevistas, encuestas y documentos) para corroborar los hallazgos y reducir el sesgo (Soltani, 2016; Rauccio, 2023).

Tablas de datos detalladas

Tabla 1.

Comparación de Eficiencia en Proyectos con y sin BIM.

Tipo de Proyecto	Uso de BIM	Duración (meses)	Retrabajos (%)	Causas de Retrabajos	Tiempo de Finalización	Causas de Retrasos	Desviación Presupuestaria (%)	Causas de Desviación Presupuestaria	Accidentes Laborales	Causas de Accidentes Laborales	Utilidad (%)
Infraestructura Vial	Sí	24	5	Problemas de diseño	Dentro del plazo	N/A	2	Incremento de costos de materiales	1	Caida de objetos	20%
Infraestructura Hidráulica	No	30	8	Coordinación deficiente	Retraso de 2 meses	Condiciones climáticas	10	Problemas logísticos	3	Equipos defectuosos	12%
Edificación Comercial	Sí	20	3	Cambios de última hora	Dentro del plazo	N/A	1	Ajustes en especificaciones	0	N/A	22.5%
Infraestructura Vial	No	36	15	Errores en la ejecución	Retraso de 4 meses	Falta de personal	15	Aumento de salarios	5	Manejo inadecuado de materiales	10%
Infraestructura Hidráulica	Sí	28	10	Modificaciones del cliente	Dentro del plazo	N/A	5	Fluctuación de precios de materiales	2	Condiciones inseguras	16.67%
Edificación Comercial	No	25	5	Fallos en la planificación	Retraso de 1 mes	Entrega tardía de materiales	8	Inflación	1	Falta de capacitación	11.36%

Fuente: Soltani (2016); Aliaga (2012); Rauccio (2023).

Tabla 2.

Beneficios Perceptibles de BIM según Profesionales de la Construcción.

Beneficio	% de Respuestas Afirmativas
Reducción de Retrabajos	85
Optimización de Recursos	78
Mejora en la Colaboración	90
Aumento en la Precisión	88
Reducción de Costos	75
Aceleración de Tiempos	82

Fuente: Soltani (2016); Aliaga (2012).

Resultados y Discusión

Los resultados de este estudio indican que la implementación de la metodología BIM en proyectos de infraestructura de obras civiles mejora significativamente la eficiencia en la planificación y gestión de recursos. Se observó que los proyectos que utilizaron BIM presentaron una reducción notable en la duración de las obras, los costos finales y los porcentajes de retrabajos en comparación con aquellos que no emplearon esta metodología (Bustamante et al., 2021).

En términos de seguridad laboral, los proyectos que emplearon BIM reportaron una menor incidencia de accidentes. La eficiencia en el uso de materiales también mostró mejoras en los proyectos con BIM. Los proyectos que utilizaron BIM, reportaron un uso eficiente del 90% de los materiales, mientras que los proyecto que no utilizaron BIM, alcanzaron solo el 75%. Esta diferencia puede atribuirse a la capacidad de BIM para optimizar el diseño y la planificación de recursos desde las primeras etapas del proyecto.

En cuanto a la desviación presupuestaria, los proyectos con BIM experimentaron menores desviaciones en comparación con aquellos sin BIM. Estas desviaciones se debieron principalmente a problemas de coordinación y gestión en los proyectos sin BIM, mientras que la metodología BIM permitió una mejor previsión y control de costos.

Los resultados del estudio demuestran que la metodología BIM tiene un impacto significativo y positivo en la eficiencia de la planificación y gestión de recursos en proyectos de infraestructura civil. Las reducciones en el tiempo de finalización, costos y retrabajos observadas en los proyectos que utilizaron BIM subrayan la capacidad de esta metodología para optimizar procesos

y mejorar la precisión en la fase de diseño (Soltani, 2016). Estos hallazgos son consistentes con estudios anteriores que han resaltado los beneficios de BIM en términos de coordinación y control de calidad

La menor incidencia de accidentes laborales en los proyectos con BIM es particularmente destacable. La capacidad de visualizar y planificar detalladamente las actividades de construcción contribuye a identificar y mitigar riesgos potenciales antes de que se materialicen en el sitio de construcción (Rauccio, 2023). Esto no solo mejora la seguridad de los trabajadores, sino que también reduce los costos asociados a incidentes laborales.

En cuanto a la eficiencia económica, la menor desviación presupuestaria en proyectos con BIM resalta la capacidad de esta metodología para proporcionar estimaciones de costos más precisas y una mejor gestión de los recursos. La capacidad de BIM para integrar y coordinar múltiples disciplinas en un modelo unificado permite identificar y resolver conflictos antes de la construcción, evitando así costos adicionales y retrasos.

Los resultados también sugieren que la metodología BIM mejora la utilización de materiales, lo cual es crucial para la sostenibilidad y eficiencia de los proyectos. La optimización del diseño y la planificación de recursos desde las primeras etapas del proyecto permite una gestión más eficiente de los materiales, reduciendo el desperdicio y mejorando la sostenibilidad ambiental de los proyectos (Aliaga, 2012).

Conclusiones

El análisis de la implementación de la metodología BIM en proyectos de infraestructura de obras civiles ha permitido extraer una serie de conclusiones significativas. En primer lugar, se ha demostrado que BIM facilita una planificación y gestión de recursos más eficiente. Los proyectos que utilizaron BIM mostraron una reducción notable en los tiempos de ejecución y en los costos finales en comparación con aquellos que no emplearon esta metodología. Este hallazgo es consistente con estudios previos que resaltan la capacidad de BIM para optimizar la coordinación y reducir los errores en las fases de diseño y construcción.

Un aspecto clave identificado es la capacidad de BIM para mejorar la colaboración entre las distintas disciplinas involucradas en un proyecto. La integración de modelos 3D y la detección temprana de interferencias contribuyen a minimizar los retrabajos y a asegurar una mayor precisión en la ejecución de las obras. Esta capacidad de previsualizar y solucionar problemas potenciales antes de la fase de construcción es esencial para evitar costosos retrasos y desviaciones presupuestarias (Rauccio, 2023).

Además, la metodología BIM ha demostrado tener un impacto positivo en la seguridad laboral. La visualización detallada de las fases del proyecto y la capacidad de planificar actividades con antelación permiten identificar y mitigar riesgos potenciales, lo cual se traduce en una menor incidencia de accidentes laborales. Esta mejora en la seguridad no solo protege a los trabajadores, sino que también reduce los costos asociados a incidentes en el sitio de construcción.

Desde una perspectiva económica, los proyectos que implementaron BIM experimentaron menores desviaciones presupuestarias. La capacidad de BIM para proporcionar estimaciones más precisas y para gestionar los recursos de manera más eficiente contribuye a mantener los costos bajo control. Los proyectos sin BIM, en cambio, enfrentaron mayores incrementos en los costos debido a problemas de coordinación y planificación inadecuada.

Otro beneficio importante de la metodología BIM es la optimización en el uso de materiales. Los proyectos con BIM reportaron un uso más eficiente de los recursos, lo cual es crucial para la sostenibilidad y eficiencia del proyecto. La capacidad de BIM para planificar y gestionar de manera efectiva el uso de materiales desde las primeras etapas del proyecto ayuda a reducir el desperdicio y a mejorar la sostenibilidad ambiental.

En términos generales, la adopción de BIM en la planificación y gestión de proyectos de infraestructura de obras civiles ofrece numerosos beneficios en términos de eficiencia, seguridad y control de costos. Estos hallazgos subrayan la importancia de promover la adopción de BIM en la industria de la construcción para mejorar la calidad y sostenibilidad de los proyectos. Además, se recomienda que futuros estudios exploren los impactos de BIM en otros aspectos, como la sostenibilidad social y cultural, para proporcionar una visión más completa de los beneficios de esta metodología.

Referencias Bibliográficas

- Aliaga Melo, G. D. (2012). Implementación y Metodología para la elaboración de modelos BIM para su aplicación en proyectos industriales multidisciplinarios. Universidad de Chile, 77. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112356>
- Bustamante, G., Ochoa, J., & González, F. (2021). Propuesta de implementación de la metodología BIM 5D para obras de cimentaciones industriales en la Planta de Oxígeno de Arauco. *Obras y Proyectos*, 30, 74–90. <https://doi.org/10.4067/s0718-28132021000200074>
- Guarniz Diaz, A. L. (2016). Implementación de la metodología BIM para optimizar la etapa de diseño de las obras civiles del proyecto de agua potable en Cieneguilla, Lima 2023 (Issue 0) [Universidad Tecnológica del Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/8937>
- Parrott, B. C., & Bomba, M. B. (2010). Integrated project delivery and BIM- A new breed of contract.
- Rauccio, C. (2019). La implantación de la metodología BIM en el despacho de obras civiles SETIN S.R.L. [Universidad Politecnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/170165>
- Salinas, J., & Prado, G. (2019). Building information modeling (BIM) to manage desing and construction phases of Peruvian public projects. *Building & Management*, 3(2), 48. <http://dx.doi.org/10.20868/bma.2019.2.3923>
- Soltani, S. (2016). The Contributions of Building Information Modelling to Sustainable Construction. *World Journal of Engineering and Technology*, 04(02), 1–7. <https://doi.org/10.4236/wjet.2016.42018>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 1

Integración de ia en procesos bim
para una entrega de proyectos más
eficiente

AUTORES: Bruno Joffre Parrales Castro; Yesenia Vanessa Sornoza Almendariz; Daniel David Carvajal Rivadeneira; Leandro Josué Briones Rivera



SABEREC 5.0

Integración de ia en procesos bim para una entrega de proyectos más eficiente

Integration of ai into bim processes for more efficient project delivery

Resumen

Este estudio analiza cómo la combinación de inteligencia artificial (IA) y Building Information Modeling (BIM) puede optimizar los procesos de diseño, construcción y gestión de infraestructuras. El objetivo de este trabajo fue analizar la integración de la IA en los procesos de BIM para mejorar la eficiencia en la entrega de proyectos de ingeniería civil. La revisión abarca metodologías como el aprendizaje automático, redes neuronales y algoritmos de optimización, destacando su impacto en la reducción de costos y tiempos de ejecución. Los resultados muestran cómo estas tecnologías pueden reducir costos y tiempos de construcción, mejorar la calidad de las infraestructuras y contribuir a la sostenibilidad del proyecto, lo cual permite concluir que la integración de IA en los procesos BIM no solo mejora la eficiencia y precisión en la entrega de proyectos, sino que también impulsa la innovación y sostenibilidad en la ingeniería civil. Lo cual representa un avance significativo hacia una construcción más inteligente y efectiva, alineada con los desafíos y demandas contemporáneos de la industria.

Palabras claves: algoritmos, eficiencia en proyectos, sostenibilidad, optimización, innovación.

Abstract

This study analyzes how the combination of artificial intelligence (AI) and Building Information Modeling (BIM) can optimize infrastructure design, construction and management processes. The objective of this work was to analyze the integration of AI in BIM processes to improve efficiency in the delivery of civil engineering projects. The review covers methodologies such as machine learning, neural networks and optimization algorithms, highlighting their impact on reducing costs and execution times. The results show how these technologies can reduce construction costs and times, improve the quality of infrastructure and contribute to the sustainability of the project, which allows us to conclude that the integration of AI in BIM processes not only improves the efficiency and precision in the project delivery, but also drives innovation and sustainability in civil engineering which represents a significant advance towards smarter and more effective construction, aligned with the contemporary challenges and demands of the industry.

Keywords: algorithms, project efficiency, sustainability, optimization, innovation.

Introducción

La industria de la construcción enfrenta retos considerables en términos de eficiencia, precisión y sostenibilidad en la ejecución de proyectos. La incorporación de tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial (IA) y el modelado de información de construcción (BIM), presenta una oportunidad valiosa para abordar estos problemas.

An et al. (2021) *Engineering and Construction (AEC*, sostienen que la inteligencia artificial es esencial debido a su uso en la resolución de numerosos problemas, así como en la mejora de la calidad, optimización de decisiones y aumento de la productividad durante la ejecución y vida de un proyecto, que incluye la planificación, diseño, construcción y mantenimiento. Asimismo, Salehi & Burgueño (2018), coincide en que la inteligencia artificial ha demostrado recientemente ser una alternativa eficiente, capaz de igualar o incluso superar la capacidad humana. A nivel global, la implementación de IA y BIM ha mostrado mejoras significativas en la planificación, ejecución y gestión de proyectos de infraestructura. En el ámbito nacional y local, la adopción de estas tecnologías puede potenciar la competitividad y sostenibilidad del sector constructivo.

El conocimiento actual sugiere que la IA tiene la capacidad de automatizar tareas repetitivas, procesar grandes volúmenes de datos y optimizar los procesos de diseño y construcción, mientras que el BIM ofrece una plataforma colaborativa que facilita la gestión de la información del proyecto a lo largo de todas sus etapas. No obstante, la integración efectiva de estas tecnologías sigue siendo un desafío debido a la falta de estandarización y a la insuficiente capacitación en su uso.

El propósito de esta investigación es examinar la fusión de la IA en los procesos de BIM para mejorar la eficiencia en la entrega de proyectos de ingeniería civil.

Materiales y Métodos

Para llevar a cabo esta investigación, se realizó una revisión sistemática de la literatura científica existente sobre la integración de la inteligencia artificial (IA) en los procesos de modelado de información de construcción (BIM). Se consideraron artículos, estudios de caso y reportes técnicos publicados en los últimos diez años. Las bases de datos académicas consultadas incluyeron Scopus, Web of Science, IEEE Xplore y Google Scholar.

Los criterios de inclusión abarcaron la relevancia del artículo respecto al tema de estudio, la fecha de publicación y la disponibilidad del texto completo. Se seleccionaron un total de 40 artículos pertinentes, de los cuales se citaron 20 en este análisis. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis tanto cualitativo como cuantitativo para identificar patrones y tendencias en la aplicación de IA dentro de los procesos BIM.

Resultados

La inteligencia artificial (IA) potencia el desarrollo de la aplicación objeto de este estudio, permitiendo que la red neuronal se entrene para reconocer y clasificar una amplia gama de imágenes mediante técnicas de aprendizaje automático. Esto facilita la mejora continua de su rendimiento a partir de la experiencia y los datos acumulados. Además, la IA optimiza el procesamiento de imágenes en tiempo real, lo cual es crucial para la aplicación, logrando una detección más efectiva de objetos en la escena y una mayor capacidad para rastrear posiciones y movimientos en tiempo real (Mohammed, 2023).

El papel que desempeña la inteligencia artificial en el ámbito de la construcción es un tema que actualmente se discute e investiga ampliamente, dado su potencial impacto en la reducción de costos, el ahorro de tiempo y la mejora en la ejecución de trabajos. Sin embargo, existe un problema social, ya que estudios y encuestas indican que hay una resistencia a la innovación y la tecnología por parte del sector obrero, quienes temen que el uso de máquinas y sistemas computarizados les pueda arrebatar sus empleos (Mendoza et al., 2022).

De acuerdo con BuildingSMART, "BIM implica la creación y gestión de representaciones digitales que reflejan tanto las características físicas como funcionales de los sitios de construcción. Su desarrollo, que ha pasado de un modelado 3D básico a un proceso integral que abarca información, cronograma y costos, ha transformado la forma en que arquitectos, aparejadores, ingenieros y constructores colaboran y ejecutan sus proyectos" (Jurado, 2023).

El análisis de sitios de construcción se centra en la generación, recopilación, almacenamiento y análisis de datos provenientes de estos entornos, con el objetivo de crear información detallada para su visualización. En las obras de construcción, se produce un gran volumen de imágenes, videos y otros tipos de datos, como informes, datos en tiempo real de equipos y seguimiento del progreso, que generalmente son no estructurados (Becker, 2017). Estos datos pueden integrarse en un entorno BIM y ser analizados mediante técnicas avanzadas de inteligencia artificial para optimizar el rendimiento en áreas clave como planificación, diseño, seguridad, calidad, cronograma y costos.

Algunos estudios han explorado la combinación de aplicaciones BIM con subcampos de inteligencia artificial, como el procesamiento del lenguaje natural (NLP), para mejorar la usabilidad de las interfaces BIM. Además, otros estudios han combinado IA y BIM con diversas herramientas asociadas a la industria 4.0, como el Internet de las Cosas (IoT), ciudades inteligentes, realidad aumentada, tecnología de cadena de bloques y computación cuántica (Amiri et al., 2017), es por ello que la combinación de BIM con la inteligencia artificial está llevando la arquitectura técnica e ingeniería nuevos niveles de eficiencia y precisión. En eventos como Autodesk University, se ha demostrado cómo la IA puede enriquecer el proceso BIM, permitiendo análisis más complejos y precisos de los modelos (Jurado, 2023).

Li et al. (2023), establecieron una base teórica para el uso de datos visuales y análisis predictivos, orientados al control proactivo de proyectos en sitios de construcción, explorando el potencial de los macrodatos visuales junto con BIM para modelar el análisis del rendimiento constructivo. Por su parte, Schwabe et al. (2019) *engineering, construction, and facilities management (AEC/FM)*, describieron el proceso de digitalización de la planificación del diseño en BIM, utilizando la verificación de modelos basada en reglas. Es esencial desarrollar una herramienta integral de análisis del sitio que emplee inteligencia artificial para el análisis en tiempo real y basado en la nube de los datos generados en el sitio de construcción. Esto no solo mejorará la productividad y el control de calidad, sino que también facilitará el logro de los objetivos de rendimiento establecidos. Además, un chatbot de inteligencia artificial en el sitio podría proporcionar actualizaciones en tiempo real sobre las actividades, resultando de gran utilidad para los gerentes de proyectos y otros interesados.

Impacto en la sostenibilidad de los proyectos

La integración de IA y BIM no solo mejora la eficiencia y precisión de los proyectos de construcción, sino que también contribuye a la sostenibilidad. Las tecnologías de IA pueden analizar el impacto ambiental de diferentes materiales y métodos de construcción, permitiendo a los ingenieros seleccionar opciones más sostenibles. Un análisis comparativo de varios proyectos mostró que la implementación de IA en BIM resultó en una reducción del 10% en las emisiones de carbono y un ahorro del 12% en el consumo de energía (Jones et al., 2018).

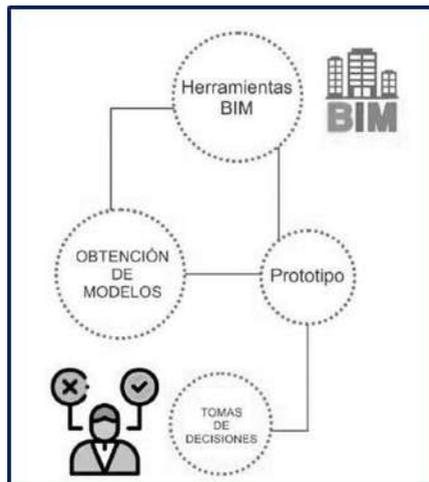
Esta combinación permite gestionar grandes volúmenes de datos para mejorar la planificación, el diseño y la ejecución de proyectos, y es que con

el uso de IA y BIM se puede optimizar la gestión de costos y plazos, mejorar la seguridad en el sitio de construcción, y facilitar el diseño y la actualización de modelos en tiempo real. Además, la IA contribuye a la creación de diseños innovadores y sostenibles, y mejora la colaboración y coordinación entre los diferentes equipos de trabajo al garantizar una comunicación efectiva y actualizaciones instantáneas del modelo BIM. Este enfoque integral no solo reduce errores y conflictos durante la construcción, sino que también optimiza el rendimiento y la durabilidad de las infraestructuras, posicionando a la metodología BIM asistida por IA como una herramienta esencial para el futuro de la ingeniería civil.

Jiménez (2020), sostiene en su estudio que la metodología utilizada para integrar BIM con la Gestión de Valor Ganado (EVM) dio lugar al desarrollo del software COST BIM, el cual optimiza el cronograma y el presupuesto de los proyectos mediante un entorno que abarca desde la planificación hasta el seguimiento de la ejecución en obra. Este enfoque busca mejorar la gestión de proyectos y proporcionar herramientas que faciliten el control del presupuesto y el cronograma.

Figura 1.

Diagramado de aplicación de las herramientas BIM en la toma de decisiones.



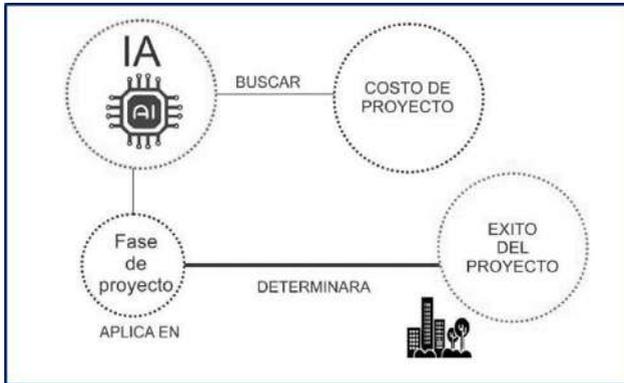
Fuente: Proceso de estudio explicado por Fernández, et al.(2018).

Por otra parte, Pessoa et al. (2021), afirma que el éxito en un proyecto de construcción se logra mediante una planificación adecuada, destacando

que un factor crucial relacionado con la mala ejecución es la falta de métodos para estimar costos reales. Además, el estudio indica que el modelo neuronal utilizado en nuevos ensayos alcanzó un error porcentual de 9.14, lo que demuestra que la aplicación de inteligencia artificial en este tipo de proyectos mejora la fase de planificación. Asimismo, al comparar los costos finales con los estimados, se evidenciaron errores inferiores al 5%. Se resalta la técnica de modelado basada en redes neuronales artificiales (ANN) como una herramienta efectiva para el análisis de datos en proyectos de construcción.

Figura 2.

Aplicación de la IA para determinación del éxito del proyecto.



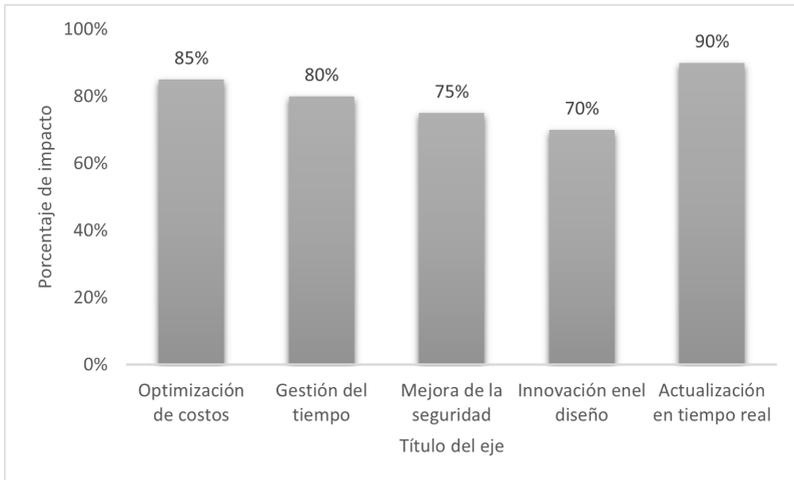
Fuente: Proceso descrito por Pessoa et al (2021).

La inteligencia artificial (IA) y BIM están transformando de manera significativa el ámbito de la arquitectura técnica. Según proyecciones de Architect Magazine, estas herramientas no solo modificarán los métodos de diseño y construcción de edificios, sino que también impactarán en la naturaleza de los proyectos que se desarrollan y en nuestra interacción con los espacios construidos.

La integración de la IA en la metodología BIM impacta de manera significativa en diversas áreas clave de los proyectos de ingeniería civil. A continuación, se ofrece una explicación detallada de cada área y su correspondiente impacto:

Figura 3.

Impacto de la IA en proyectos BIM de ingeniería civil.



Nota: Modelado de información de construcción BIM con IA en la industria de la ingeniería civil.

Optimización de costos (85%): la IA permite una gestión más eficiente y precisa de los costos en los proyectos de construcción. Al analizar grandes volúmenes de datos históricos y en tiempo real, los algoritmos de IA pueden prever sobrecostos y optimizar la asignación de recursos financieros. La optimización de costos se refleja en una reducción significativa de desperdicios y sobrecostos, asegurando que los proyectos se mantengan dentro del presupuesto asignado. Este impacto es crucial en proyectos de gran escala donde cada desviación puede representar pérdidas millonarias.

Gestión del Tiempo (80%): la IA mejora la programación y gestión del tiempo en los proyectos de construcción. Mediante la simulación y análisis predictivo, los sistemas basados en IA pueden identificar posibles retrasos y proponer soluciones proactivas para mantener los cronogramas. Una mejor gestión del tiempo reduce los retrasos y acelera la finalización de proyectos. La capacidad de la IA para ajustar dinámicamente los cronogramas basándose en datos en tiempo real permite una ejecución más ágil y eficiente de las tareas.

Mejora de la Seguridad (75%): la seguridad en el sitio de construcción es una prioridad. La IA puede analizar datos de sensores y cámaras para identificar riesgos potenciales, predecir accidentes y sugerir medidas preventivas.

Reduce significativamente los incidentes en el sitio de trabajo, protegiendo a los trabajadores y minimizando interrupciones. La IA puede ayudar a crear un entorno de trabajo más seguro y predecir fallos antes de que ocurran.

Innovación en el Diseño (70%): la IA asistida en el BIM facilita la creación de diseños innovadores y eficientes. Puede analizar múltiples variables y criterios de diseño, optimizando estructuras y materiales para lograr soluciones más creativas y sostenibles. En el diseño se traduce en construcciones más eficientes y sostenibles. La capacidad de la IA para generar y evaluar diferentes opciones de diseño permite a los ingenieros y arquitectos explorar nuevas posibilidades y mejorar continuamente sus proyectos.

Actualizaciones en Tiempo Real (90%): la IA permite que todos los cambios y actualizaciones en los modelos BIM se reflejen instantáneamente, manteniendo a todos los miembros del equipo informados y sincronizados. Aseguran que todos los stakeholders trabajen con la información más reciente, eliminando errores de comunicación y mejorando la coordinación. Esta capacidad es crucial para mantener la coherencia y precisión en proyectos complejos.

Desafíos y oportunidades

A pesar de los beneficios demostrados, la integración de IA en BIM enfrenta desafíos significativos. La falta de estandarización en el uso de estas tecnologías y la necesidad de capacitación adecuada son barreras importantes para su adopción generalizada. Sin embargo, las oportunidades son numerosas. La creciente disponibilidad de datos y el desarrollo continuo de tecnologías de IA ofrecen un potencial considerable para mejorar aún más la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos de construcción.

Existe la preocupación de que la automatización impulsada por la IA pueda desplazar ciertos roles tradicionales en la industria de la construcción. Sin embargo, más que una amenaza, esto representa una oportunidad para que los profesionales se capaciten y adapten a roles más técnicos y especializados. La formación continua en IA y BIM es esencial para que los profesionales de la construcción puedan mantenerse al día con los avances tecnológicos y aprovechar al máximo estas herramientas. Esto incluye no solo el aspecto técnico, sino también la comprensión de las implicaciones éticas y sociales de su uso (Jurado, 2023).

Discusión

BIM no solo actúa como una herramienta para mejorar la eficiencia y colaboración en la arquitectura técnica, sino que también impulsa la innovación y sostenibilidad en el diseño y construcción de edificios. Sin embargo, su integración con la inteligencia artificial (IA) enfrenta desafíos técnicos significativos, como la interoperabilidad entre diversas plataformas y software, lo que puede dificultar la compatibilidad de datos en proyectos complejos con múltiples partes interesadas. Además, la precisión y fiabilidad de los datos en los modelos BIM son críticas, ya que cualquier error puede resultar en decisiones erróneas.

La IA puede contribuir a la validación de esta información, aunque también introduce desafíos relacionados con la precisión de los algoritmos. Para abordar estas cuestiones, es vital fomentar una colaboración estrecha entre desarrolladores de software y profesionales de la construcción, así como promover la estandarización de formatos de datos. Adicionalmente, la formación continua en IA y BIM es esencial para que los profesionales se adapten a roles más técnicos y comprendan las implicaciones éticas y sociales de su uso, asegurando así una implementación responsable y efectiva de estas tecnologías.

Conclusiones

La integración de la inteligencia artificial (IA) en los procesos de Building Information Modeling (BIM) representa un avance transformador hacia una construcción más inteligente y eficiente. Esta sinergia tecnológica optimiza de manera integral las fases de diseño, construcción y gestión de proyectos de infraestructura.

La relevancia de estas tecnologías se acentúa en un contexto donde la industria de la construcción enfrenta desafíos crecientes relacionados con la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental. La capacidad de las tecnologías BIM e IA para generar soluciones más sostenibles y optimizar el uso de recursos subraya su importancia en la promoción de prácticas constructivas responsables y respetuosas con el medio ambiente.

Es crucial que una investigación futura se enfoque en el desarrollo de estándares y metodologías que faciliten una integración efectiva de la IA en los procesos BIM. Esto incluye la creación de marcos normativos y directrices claras para la implementación, así como el diseño de programas de capacitación que aseguren la correcta aplicación de estas tecnologías. La formación adecuada es esencial para que los profesionales del sector puedan aprovechar

al máximo las capacidades de IA y BIM, garantizando una transición fluida y eficiente hacia una construcción más avanzada y sostenible.

Referencias Bibliográficas

- An, Y., Li, H., Su, T., & Wang, Y. (2021). Determining Uncertainties in AI Applications in AEC Sector and their Corresponding Mitigation Strategies. *Automation in Construction*, 131, 103883. <https://doi.org/10.1016/J.AUT-CON.2021.103883>
- Becker, E. (2017). Sinergia Entre Bim Y Last Planner System Para La Eficiente Integración Contratista-Sc.
- Jiménez, C., Zapata-Rozo, P., & Lozano-Ramírez, N.. (2018). Integración de las metodologías Building Information Modeling 5D y Earned Value Management a través de una herramienta computacional. *Revista ingeniería de construcción*, 33(3), 263-278.
- Jones, R., Taylor, P., & Smith, A. (2018). Sustainable construction through AI and BIM integration. *Sustainability*, 10(12), 4625
- Jurado, P. (2023). El impacto de la inteligencia artificial y BIM en la Arquitectura Técnica. *Aparejadores*, 92, 27–33. <http://www.riarte.es/handle/20.500.12251/3136>
- Li, F., Laili, Y., Chen, X., Lou, Y., Wang, C., Yang, H., Gao, X., & Han, H. (2023). Towards big data driven construction industry. *Journal of Industrial Information Integration*, 35, 100483. <https://doi.org/10.1016/J.JII.2023.100483>
- Mendoza, J. G., Quispe, M. B., & Muños, S. (2022). A review on the role of artificial intelligence in the construction industry. *Ingeniería Y Competitividad Revista Científica Y Tecnológica*, 24(2–2022). <https://doi.org/10.25100/iyv.24i2.11727>
- Mohammed, M. (2023). Maximousoft: Estudio de un aplicativo práctico con inteligencia artificial para levantar un plano 2D a 3D. 59. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/391661>
- Pessoa, Alcineide, Sousa, Gean, Furtado Maués, Luiz Maurício, Campos Alvarenga, Felipe, & Santos, Débora de Gois. (2021). Cost Forecasting of Public Construction Projects Using Multilayer Perceptron Artificial Neural Networks: A Case Study. *Ingeniería e Investigación*, 41(3), e205. Epub August 20, 2021

Salehi, H., & Burgueño, R. (2018). Emerging artificial intelligence methods in structural engineering. *Engineering Structures*, 171, 170–189. <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2018.05.084>

Schwabe, K., Teizer, J., & König, M. (2019). Applying rule-based model-checking to construction site layout planning tasks. *Automation in Construction*, 97, 205–219. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2018.10.012>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 2

Beneficios y desafíos de la
metodología BIM en la industria de la
construcción

AUTORES: Jimmy Antonio Marcillo Cantos; Byron Manuel Mendoza Delgado; Víctor Alejandro Lino Calle; Diego Renato Sornoza Parrales



SABEREC 5.0

Beneficios y desafíos de la metodología BIM en la industria de la construcción

Benefits and challenges of BIM methodology in the construction industry

Resumen

Building Information Modeling (BIM), ha transformado la ingeniería civil integrando información constructiva en modelos digitales multidimensionales, superando las limitaciones del CAD tradicional. BIM abarca desde representaciones tridimensionales básicas, hasta análisis avanzados de planificación, presupuesto, sostenibilidad, mantenimiento, seguridad, Lean Construction e industrialización (Dimensiones BIM). La interoperabilidad, promovida por estándares como OpenBIM e IFC de buildingSMART, facilita el intercambio coherente de datos entre diversas plataformas. El objetivo de este trabajo fue analizar beneficios y desafíos BIM en la industria de la construcción. La metodología se enfoca en revisión de literatura en bases de datos como SCOPUS y Web of Science, buscadores académicos, e información del BIM Forum. También estudios, artículos y documentos relevantes para obtener una comprensión completa de la implementación y efectividad BIM. Se identificó que, a nivel internacional, normas como ISO 19650 y PAS 1192 han influenciado en proyectos como PlanBIM en Chile y Plan BIM en Perú, promoviendo estandarización y facilitando especificaciones e intercambio de información a través de sistemas de clasificación como MasterFormat, UniFormat, Uniclass y OmniClass; y Niveles de Desarrollo (LoD) en BIM que aseguran la precisión y detalle de los modelos en todo el ciclo de vida del proyecto. Aunque los beneficios BIM son significativos, su adopción enfrenta desafíos como la resistencia cultural, la inversión tecnológica, formación especializada, y la adaptación a regulaciones cambiantes. Superar estos obstáculos requiere un liderazgo comprometido, programas educativos continuos y políticas claras de implementación para asegurar la efectividad y los beneficios de esta metodología en la industria de la construcción.

Palabras Claves: información constructiva, modelos digitales, estandarización, interoperabilidad, niveles de desarrollo, formación especializada.

Abstract

Building Information Modeling (BIM) has transformed civil engineering by integrating construction information into multidimensional digital models, surpassing the limitations of traditional CAD. BIM spans from basic three-dimensional representations to advanced analyses of planning, budgeting, sustainability, maintenance, safety, Lean Construction, and industrialization (BIM Dimen-

sions). Interoperability, promoted by standards like OpenBIM and buildingSMART's IFC, facilitates coherent data exchange across diverse platforms. The aim of this study is to analyze the benefits and challenges of BIM in the construction industry. The methodology focuses on a literature review using databases such as SCOPUS and Web of Science, academic search engines, and information from the BIM Forum. Relevant studies, articles, and documents were reviewed to obtain a comprehensive understanding of BIM implementation and effectiveness. Internationally, standards such as ISO 19650 and PAS 1192 have influenced projects like PlanBIM in Chile and Plan BIM in Peru, promoting standardization and facilitating specification and information exchange through classification systems like MasterFormat, UniFormat, Uniclass, and OmniClass. BIM Levels of Development (LoD) ensure the accuracy and detail of models throughout the project lifecycle. Although the benefits of BIM are significant, its adoption faces challenges such as cultural resistance, technological investment, specialized training, and adaptation to evolving regulations. Overcoming these obstacles requires committed leadership, continuous educational programs, and clear implementation policies to ensure the effectiveness and benefits of this methodology in the construction industry.

Keywords: construction information, digital models, standardization, interoperability, levels of development, specialized training.

Introducción

En proyectos de ingeniería y construcción, la planificación y el control son procesos esenciales que abarcan desde el inicio hasta el cierre del proyecto. Estos procesos proporcionan información valiosa en cada etapa y permiten un análisis oportuno. Sin embargo, las metodologías comunes tienden a tratar de manera individual las áreas de alcance, costo, tiempo, calidad, recursos humanos y stakeholders. Esto genera problemas de integración, ya que los alcances no se relacionan directamente con los modelos, los costos se estiman sin considerar otras variables del proyecto y las variaciones se manejan de forma desincronizada con los plazos y la calidad, afectando así el éxito global del proyecto (Trejo & Polanco, 2018).

Esta investigación propone la metodología BIM como un enfoque integral y coordinado para gestionar proyectos de construcción. BIM permite crear un modelo virtual que integra todas las disciplinas y sistemas involucrados, lo que mejora la gestión, la comunicación y la precisión en el cálculo de cantidades. Además, con sus dimensiones adicionales, como la 4D que añade planificación y programación para simular la construcción y la 5D que inclu-

ye información presupuestaria, BIM proporciona un control más completo del proyecto. La 6D, por su parte, facilita la gestión de procesos críticos como inspecciones, reparaciones y mantenimiento, optimizando así la eficiencia y el monitoreo a lo largo del ciclo de vida del proyecto (Gómez et al., 2023).

A nivel internacional, países como Estados Unidos, Reino Unido y algunos de Europa han establecido normativas y directrices, como la ISO 19650 y el PAS 1192, que han promovido la adopción masiva de BIM, impulsando la estandarización y facilitando el intercambio de información entre diversas plataformas y actores involucrados (Rueda & Padilla, 2019). En este sentido, la metodología BIM está ganando cada vez más presencia entre empresas y actores del sector AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción). Además, esta tendencia también se refleja en las instituciones educativas, que están comenzando a capacitar a nuevos profesionales en esta área (Meana et al., 2018).

En América Latina y el Caribe, el respaldo de las cámaras de la construcción ha sido fundamental para el impulso de BIM, destacándose como un factor crucial en la promoción y estandarización de la metodología en la región. En contraste, Brasil, aunque tienen iniciativas independientes, enfrentan desafíos en términos de organización y madurez comparados con naciones como España, que cuenta con una estructura más formal bajo buildingSMART. La situación en Perú y México refleja también la importancia del apoyo del sector privado, aunque no siempre esté vinculado directamente a las cámaras de construcción locales. Esta variabilidad en el apoyo y la estructura organizativa subraya la necesidad de fortalecer la cooperación entre el sector privado y público para avanzar en la adopción de BIM (Soto & Manríquez, 2023).

En Ecuador, la metodología BIM está comenzando a ser valorada como una herramienta clave para mejorar la eficiencia y la calidad en la construcción. Sin embargo, existen desafíos significativos, como la falta de capacitación especializada y la necesidad de inversiones en tecnología, que deben ser abordados para aprovechar al máximo sus beneficios. Además, es fundamental promover la integración de BIM en los procesos de planificación y ejecución de proyectos, así como fomentar la colaboración entre los distintos actores del sector para facilitar su implementación y adaptación (Pérez & Atienza, 2021).

La relevancia de este estudio radica en la necesidad de comprender los beneficios que BIM puede aportar a la industria de la construcción, también los desafíos que deben superarse para lograr una implementación exitosa. Al analizar el estado actual del conocimiento sobre BIM, apoyado en una revisión

de la literatura científica, se busca ofrecer una visión integral que contribuya al desarrollo de estrategias efectivas para su adopción en diferentes niveles.

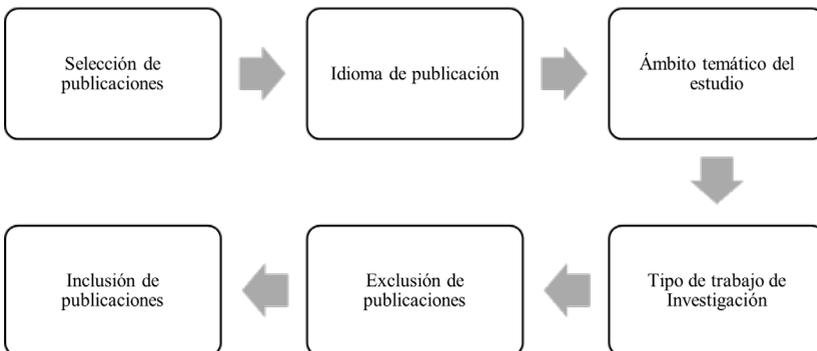
El objetivo de esta investigación es analizar los beneficios y desafíos que enfrenta la metodología BIM en la industria de la construcción, con el fin de identificar las barreras que limitan su implementación y proponer recomendaciones que permitan superarlas. La hipótesis que se plantea es que, si bien BIM ofrece beneficios significativos para la industria, su adopción efectiva depende de la superación de desafíos clave relacionados con la resistencia cultural, la inversión en tecnología, y la adaptación a nuevas normativas y regulaciones.

Materiales y Métodos

Para abordar el análisis de los beneficios y desafíos de la metodología BIM en la industria de la construcción, se empleó la metodología de revisión bibliográfica. Esta metodología se centró en la recopilación y análisis de literatura científica y técnica relevante, con el objetivo de obtener una comprensión integral de la implementación y efectividad de BIM en diferentes contextos. La revisión de la literatura abarcó estudios previos, artículos y documentos técnicos que ofrecieran información sobre la implementación de BIM y su impacto en la industria de la construcción.

Figura 4.

Revisión de la literatura.



Fuente: Adaptado del estudio rol de la Ingeniería en el desarrollo sostenible: tendencias y desafíos por Zavala et al. (2024)

La Figura 4. muestra la selección rigurosa de publicaciones provenientes de bases de datos académicas y repositorios científicos reconocidos, como SCOPUS, Google académico, Dialnet, Web of Science, Scopus entre otras,

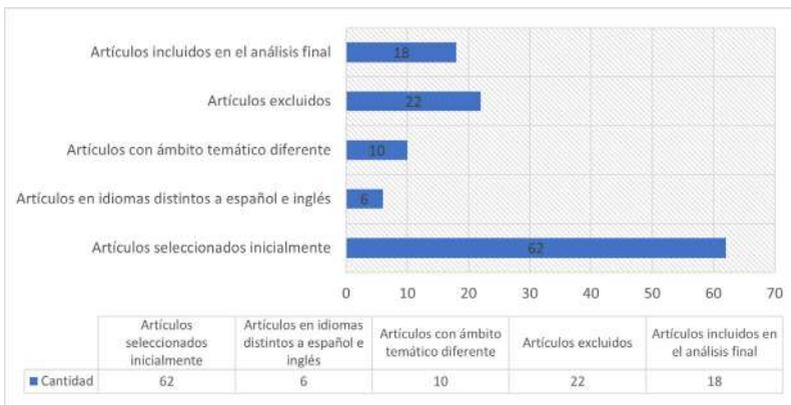
asegurando la inclusión de estudios relevantes y de alta calidad, todos ellos publicados en los últimos cinco años. Se incluyeron únicamente publicaciones en inglés y español para proporcionar una cobertura lingüística adecuada y garantizar una perspectiva amplia sobre el tema.

El enfoque temático se centró en la sostenibilidad y la implementación de BIM (Building Information Modeling) en ingeniería civil. Se priorizaron estudios que abordaran explícitamente la sostenibilidad en el contexto de la ingeniería civil, permitiendo así una evaluación detallada de cómo el BIM puede contribuir a prácticas sostenibles. Para abarcar una visión completa, se incluyeron diversos tipos de trabajos investigativos, tales como revisiones teóricas, análisis de casos, estudios comparativos y aplicaciones de teorías. Esta variedad permitió evaluar tanto los aspectos teóricos como prácticos del BIM y comparar diferentes enfoques y aplicaciones en el campo.

Se establecieron criterios de exclusión para asegurar que solo se incluyeran publicaciones directamente relacionadas con la ingeniería civil y el desarrollo sostenible, y se descartaron aquellas que requerían datos empíricos no disponibles públicamente. Además, los criterios de inclusión se centraron en trabajos que aportaran directamente a la comprensión de la implementación y efectividad del BIM, garantizando que los datos fueran accesibles y pertinentes para una revisión exhaustiva y actualizada. La siguiente tabla muestra el proceso de selección y exclusión de artículos para la revisión bibliográfica sobre la metodología BIM en la industria de la construcción.

Figura 5.

Selección de artículos.



Inicialmente se seleccionaron un total de 62 artículos para la revisión bibliográfica. Este número representa todos los artículos revisados al principio del proceso de investigación. Sin embargo, de estos, se excluyeron 6 artículos que estaban en idiomas distintos al español e inglés. La restricción de idiomas fue una de las razones clave para la exclusión, ya que el objetivo era limitar el análisis a artículos en estos dos idiomas principales para garantizar una revisión más coherente y accesible. Además, se eliminaron 10 artículos debido a que su ámbito temático no se alineaba con los enfoques de sostenibilidad y Modelado de Información de Construcción (BIM). Estos artículos, aunque relevantes en otros contextos, no cumplían con los criterios temáticos específicos establecidos para la revisión.

En total, se excluyeron 22 artículos adicionales por razones diversas, tales como falta de relevancia, datos no disponibles o deficiencias en la calidad de la información proporcionada. Esta exclusión se realizó para mantener un enfoque más riguroso y pertinente en la selección de literatura. Finalmente, tras aplicar estos criterios de exclusión, se incluyeron 18 artículos en el análisis final. Estos artículos fueron seleccionados por cumplir con los criterios de inclusión predefinidos, asegurando que la revisión bibliográfica se centrara en estudios relevantes y de alta calidad en relación con la sostenibilidad y BIM.

Resultados

A continuación, se presenta el análisis textual discursivo del corpus final de 18 artículos seleccionados, enfocado en el Modelado de Información de Construcción (BIM). Este análisis se centra en dos áreas clave: beneficios y barreras, desafíos y oportunidades en la implementación de BIM.

BIM: Beneficios y Barreras

La metodología BIM (Building Information Modeling) ha revolucionado el desarrollo de proyectos de construcción moderna, proporcionando una plataforma integral para la planificación, diseño y gestión. Su implementación ha demostrado ser altamente beneficiosa al mejorar la calidad del proyecto, reducir costos y tiempos, y evitar errores y deficiencias durante las fases de ejecución. A pesar de su reconocimiento generalizado entre ingenieros civiles y sus evidentes ventajas, como la mejor detección de interferencias y el ahorro en trabajos rehechos, persisten desafíos significativos. Entre ellos, se destacan la falta de capacitación adecuada y la resistencia al cambio, que limitan su adopción efectiva. Estos desafíos subrayan la necesidad de una formación más robusta y una evaluación detallada de los costos y beneficios a largo plazo de BIM frente a métodos tradicionales (Castillo et al., 2020; Gómez et al., 2023).

En paralelo, la investigación sobre la tecnología BIM subraya su capacidad para optimizar recursos en arquitectura e ingeniería, mejorando la eficiencia del proceso constructivo y garantizando la calidad de la información. Sin embargo, el análisis es limitado por su carácter exploratorio. Por su parte, el proyecto europeo IMIP contribuye a la reducción de emisiones mediante herramientas avanzadas, aunque enfrenta desafíos en la integración de BIM con simulaciones energéticas. Además, el estudio revela la falta de un enfoque claro en la implementación de BIM en universidades, subrayando la necesidad de una coordinación más efectiva y planes definidos para su integración educativa (Gilabert et al., 2024; Tobo et al., 2022) this transfer of constructive information has been a manual task that the designer has had to face, often through the generalization and simplification of the energy models. This document describes a methodology and a proprietary free web application (IMIP-webapp).

De la misma manera, la metodología BIM ofrece notables ventajas en la gestión de proyectos de construcción, como una mayor calidad en el diseño, ahorro en tiempo y costos, y una mejora significativa en la colaboración entre equipos. A pesar de estos beneficios, la adopción de BIM enfrenta desafíos considerables, como la falta de capacitación del personal y la resistencia al cambio organizacional. En el contexto peruano, la metodología se está implementando principalmente en proyectos privados y grandes obras, destacándose en modelación y análisis de incongruencias, pero aún enfrenta barreras para su aplicación más extensa. A nivel global, aunque BIM ha demostrado ser eficiente en la reducción de costos y en la mejora de procesos, se necesitan más estudios y capacitación para superar las barreras y lograr una adopción generalizada (Marín et al., 2021) es de manera progresiva en nuestro país. Dicha metodología se utiliza de forma constante en entidades privadas, pero en el estado solo algunas entidades planifican como implementarla. El objetivo del estudio es conocer la implantación de la metodología BIM en el Perú, informar sus ventajas y desventajas de su uso y mostrar experiencias de la implementación en otros países en proyectos de inversión y construcción. La metodología utilizada fue de un análisis cualitativo documental con un enfoque de evaluación, donde se expresa el estado del arte de la implementación de la metodología BIM. Los resultados expresan que la implementación va desde la etapa de licitación del proyecto (requisitos de los postores y organismos de control).

La investigación sobre el uso de herramientas BIM para el estudio energético de viviendas en zonas áridas revela desafíos significativos en la corres-

pondencia entre variables de entrada y salida, y en los algoritmos empleados por distintos motores de software. Es crucial mejorar la comprensión de estos aspectos para optimizar el diseño y la sostenibilidad de las viviendas. Asimismo, se destaca la necesidad de capacitar a profesionales en tecnología BIM y de incluir la distribución del mobiliario y sus cargas térmicas en las simulaciones. Los análisis estadísticos y de sensibilidad son recomendados para establecer patrones generalizables y mejorar la precisión de los modelos energéticos, abordando así los vacíos actuales en la investigación (Álvarez et al., 2020; Corado et al., 2020; Perales et al., 2024).

Desafíos y Oportunidades en la Implementación de BIM

La integración de la metodología BIM y la logística de construcción (LC) mejora significativamente la gestión del tiempo y reduce costos en proyectos de edificación. BIM facilita la planificación y la identificación de problemas logísticos, mientras que su adopción en empresas fabricantes permite un manejo más eficiente de la información y un control preciso de cantidades y presupuesto. A pesar de los avances, persisten desafíos en la fase de modelado 4D que requieren mayor investigación y desarrollo (Guzmán & Mohammadfarid, 2023; Pérez Gómez et al., 2019) fiable y detallada sobre los componentes que utilizarán en sus modelos, y los fabricantes de estos componentes, pueden proporcionar esta información mediante catálogos de objetos BIM. Al proporcionar esta información, es más probable que los diseñadores usen sus productos en proyectos que aplican esta metodología, lo que genera más oportunidades comerciales. El presente artículo propone un modelo de gestión para implementar BIM en empresas fabricantes, en el que se consideran las recomendaciones realizadas por el Project Management Institute (PMI).

La implementación de BIM enfrenta desafíos importantes, particularmente en la adaptación de las organizaciones y en la modificación de metodologías de trabajo. Los estudios indican que el liderazgo y las competencias son factores clave para la adopción exitosa de BIM, aunque existen otros aspectos que también pueden influir en este proceso. La Gestión del Cambio se presenta como una herramienta fundamental para superar estas dificultades, resaltando la importancia de un enfoque socio-técnico integrador. En proyectos públicos, como los de Perú, la aplicación de BIM podría incrementar la eficiencia y disminuir los costos en la construcción, aunque la adaptación local y la superación de obstáculos específicos siguen siendo desafíos importantes (Garzón, 2022; Llerena & Bigurra, 2019; Salinas & Prado, 2019).

En otros contextos, como España e Irak, la implementación de BIM presenta desafíos particulares. En Irak, la falta de apoyo gubernamental, la escasa experiencia del personal y la débil cooperación entre las partes interesadas destacan la necesidad de fortalecer la planificación y la coordinación. En España, la madurez del mercado y la selección adecuada de herramientas se identifican como barreras clave. Para superar estas dificultades, se propone en España un marco precontractual que contemple la madurez del cliente y la clasificación económica de las ofertas, facilitando una adopción más efectiva de BIM en la contratación pública (Mohammed & Hilal, 2024; Pérez-García et al., 2024)acknowledging Building Information Modeling (BIM). En ambos países, es esencial desarrollar estrategias adaptadas a sus contextos para superar las barreras existentes y garantizar el éxito en la implementación de BIM.

Además, el estudio sobre la interoperabilidad de BIM en la sostenibilidad de estructuras presenta un marco innovador que mejora la organización del conocimiento y la toma de decisiones, con un enfoque especial en las estructuras de concreto debido a su significativo impacto ambiental. Este marco ontológico facilita la interoperabilidad y minimiza la pérdida de datos a lo largo del ciclo de vida del BIM verde, contribuyendo a procesos más eficientes y comunicativos en la construcción. Sin embargo, se destaca la falta de un marco integral que cubra todas las etapas del ciclo de vida del edificio y la tendencia de la literatura a enfocarse en aspectos aislados de la interoperabilidad y sostenibilidad (Godager et al., 2022; Muller et al., 2024; Rodríguez Gamboa et al., 2023)therefore sustainable construction presents itself as a growing requirement of society. However, the concern with green buildings must not only be considered during the construction stage, but also during the entire life cycle of the building, integrating all stages from the design up until the demolition. Ensuring that the information permeates this lifecycle without data losses is vital. This way, efficient interoperability can support sustainability, allowing data to feed the process, and promoting the creation of more sustainable buildings. BIM (Building Information Modeling). La investigación subraya la necesidad de un enfoque más holístico que abarque desde el diseño hasta la operación, mejorando así la eficiencia y sostenibilidad en la industria de la construcción.

Conclusiones

Se concluye que la metodología BIM (Modelado de Información de Construcción) ofrece beneficios significativos para la industria de la construcción, entre los que destacan la mejora en la gestión del tiempo y la reducción de costos. La integración de BIM facilita una planificación más precisa, una identificación temprana de problemas logísticos y un control más riguroso de las

cantidades y del presupuesto. No obstante, la implementación de BIM enfrenta varios desafíos, incluidos la adaptación organizacional, la modificación de metodologías de trabajo y la superación de obstáculos específicos en diferentes contextos regionales. La investigación muestra que, aunque la adopción de BIM puede mejorar la eficiencia en proyectos de construcción, su éxito depende en gran medida de factores como el liderazgo, las competencias del personal y la Gestión del Cambio. Además, en países como Perú, España e Irak, los desafíos varían desde la falta de apoyo gubernamental hasta la necesidad de marcos precontractuales adecuados. La interoperabilidad en la sostenibilidad de estructuras también presenta oportunidades para optimizar la eficiencia, pero requiere un enfoque más holístico que abarque todas las etapas del ciclo de vida de la infraestructura. Para maximizar los beneficios de BIM y superar sus desafíos, es crucial desarrollar estrategias adaptadas a los contextos específicos y fomentar un enfoque integrador que considere tanto las dimensiones técnicas como las socio-culturales de su implementación.

Referencias Bibliográficas

- Álvarez, A. A., Ripoll, V., Campos, L., & Ortega, A. (2020). Lineamientos para la implementación BIM en la evaluación ambiental de la vivienda social. *Estoa*, 9(18), 79–90. <https://doi.org/10.18537/est.v009.n018.a07>
- Castillo, F. P., Castro Imán, J. Y., Garragate, N. A. A., & Ramos Farroñán, E. V. (2020). Metodología Bim En El Desarrollo De Proyectos De Construcción Moderna Con Miras Al Bicentenario. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 7(1). <https://doi.org/10.26495/icti.v7i1.1356>
- Corado, M., Paiz Paz, C., & García Valdez, A. (2020). Repensar el trabajo multidisciplinar en el diseño de un objeto arquitectónico. Propuesta de metodología de trabajo entre diseñadores estructurales y arquitectos como transición hacia una metodología BIM en Guatemala. *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, 115, 195–208. <https://doi.org/10.18682/cdc.vi115.4268>
- Garzón, A. (2022). Integrated collaborative design y el plan de implementación bim en la constructora dicoin ingenieros [Universidad de los Andes]. <https://acortar.link/m8lzuK>

- Gilabert, S., Riera, A. S., Oliver-Villanueva, J. V., Domènech, M. M., & Domínguez, E. R. (2024). Metodología BIM e IFC en la mejora de la eficiencia energética de la arquitectura en madera del suroeste europeo. *VLC Arquitectura*, 11(1), 139–165. <https://doi.org/10.4995/vlc.2024.20244>
- Godager, B., Mohn, K., Merschbrock, C., Klakegg, O. J., & Huang, L. (2022). Towards an Improved Framework for Enterprise Bim: the Role of Iso 19650. *Journal of Information Technology in Construction*, 27(November), 1075–1103. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.053>
- Gómez, M., Acevedo, S., Alvarado, L., & Iturra, R. (2023). Impacto de la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción. *Revista Tecnología En Marcha*, 36, 66–77. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6860>
- Guzmán, A. M., & Mohammadfarid, A. (2023). Propuesta de Gestión para la Adopción de BIM en Empresas Fabricantes. *Ingenio*, 6(1), 80–93. <https://doi.org/10.29166/ingenio.v6i1.4315>
- Llerena, Y., & Bigurra, C. (2019). La influencia de la gestión del cambio en la implementación de BIM en la industria de la construcción sostenible de México. *Boletín Científico del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería*, 12, 24–31. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/3579/5889>
- Marín, N., Correa, L., & Marín, R. (2021). Implementación de la metodología BIM en el Perú: Una Revisión Implementation of BIM Methodology in Peru: A Review. *Revista Pakamuros*, 9(2), 29–42. <https://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/view/136>
- Meana, V., Bello, A., & García, R. (2018). Análisis de la implantación de la metodología BIM en los grados de ingeniería industrial en España bajo la perspectiva de las competencias. *Revista Ingeniería de Construcción*, 34(2), 169–179. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000200169%0A>
- Mohammed, H. S., & Hilal, M. A. (2024). Improving Building Information Modeling (BIM) Implementation throughout the Construction Industry. *Journal of Engineering*, 30(02), 85–104. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2024.02.06>
- Muller, M. F., Esmanioto, F., Huber, N., Loures, E. F. R., Canciglieri, O., & Costin, A. (2024). Novel Framework for Bim Interoperability for Sustainability and Green Buildings - an Application for Concrete Structures. *Journal of Information Technology in Construction*, 24(January), 40–57. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.003>

- Perales, C., Sánchez-Calle, J. E., Lévano-Rodríguez, D., & Gallegos-Carrillo, K. (2024). Metodologías para la construcción de soluciones de inteligencia de negocios. *Revista Científica de Sistemas e Informática, 4(1)*, e612. <https://doi.org/10.51252/rcsi.v4i1.612>
- Pérez-García, A., Martín-Dorta, N., & Aranda, J. Á. (2024). Enhancing BIM implementation in Spanish public procurement: A framework approach. *Heliyon, 10(9)*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30650>
- Pérez, C., & Atiencia, L. (2021). Análisis de la madurez e implementación de la Metodología BIM en la Gerencia de Infraestructura Física de ESPOL [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/55491/1/T-70707_PEREZ_PALACIOS_-_ATIENCIA_ARROBO.pdf
- Pérez Gómez, G. J. F., Del Toro Botello, H. Y., & López Montelongo, A. M. (2019). Mejora en la construcción por medio de lean construction y building information modeling: caso estudio. *Revista de Investigación en Tecnologías de La Información, 7(14)*, 110–121. <https://doi.org/10.36825/riti.07.14.010>
- Rodríguez Gamboa, F., Álvarez Romero, S., & Gómez, M. (2023). Análisis de estrategias nacionales de implementación BIM, para la creación de un marco de referencia para la implementación de BIM en México. *Revista Ingeniería de Construcción, 38(3)*, 485–492. <https://doi.org/10.7764/RIC.00078.21>
- Salinas, J., & Prado, G. (2019). Building information modeling (BIM) to manage desing and construction phases of Peruvian public projects. *Building & Management, 3(2)*, 48. <http://dx.doi.org/10.20868/bma.2019.2.3923>
- Soto, C., & Manríquez, S. (2023). Panorama general del avance del BIM en América Latina y el Caribe. In Banco de Desarrollo de América Latina. [https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/2022/Panorama General del Avance de BIM en América Latina y el Caribe.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/2022/Panorama%20General%20del%20Avance%20de%20BIM%20en%20América%20Latina%20y%20el%20Caribe.pdf?isAllowed=y&sequence=1)
- Tobo, O. J., Vega, D. C., & Aparicio, I. A. (2022). Análisis de la metodología BIM para la optimización de recursos en proyectos de construcción. *Revista Formación Estratégica, 1–17*. <https://www.formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/71/43>

Trejo, N., & Polanco, A. (2018). Estudio de impacto del uso de la metodología BIM en la planificación y control de proyectos de ingeniería y construcción [Universidad de Chile]. <https://acortar.link/CqxJHM>

Zavala, C., Lino, V., Cordero, M., & Sornoza, D. (2024). El rol de la Ingeniería Civil en el desarrollo sostenible: Tendencias y desafíos. *Revista Alcance*, **7(1)**, 1–13. <https://doi.org/10.47230/ra.v7i1.57>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 3

Innovaciones en Modelos Avanzados
para la Evaluación de la Resistencia
Estructural

AUTORES: Jennifer Jacqueline Cevallos Pionce; Andrés Enrique Espinosa Martillo; Diego Sornoza Parrales; Daniel David Carvajal Rivadeneira



SABEREC 5.0

Innovaciones en Modelos Avanzados para la Evaluación de la Resistencia Estructural

Innovations in Advanced Models for Structural Strength Evaluation.

Resumen

La evaluación de la resistencia estructural permite garantizar la seguridad y durabilidad de las construcciones, con el avance de la tecnología han surgido innovaciones en modelos avanzados más precisos, sin embargo, uno de los principales problemas es la necesidad de desarrollar nuevas herramientas de diseño. El objetivo de este trabajo fue examinar las innovaciones recientes en modelos avanzados para la evaluación de la resistencia estructural. La metodología se basó en una revisión de literatura utilizando bases de datos académicas como SCOPUS y Web of Science, así como buscadores como Google Académico. Se realizó una búsqueda sistemática de artículos publicados en los últimos diez años, seguido de un análisis crítico de los resultados para identificar tendencias, desafíos y oportunidades futuras. Los resultados demostraron que los modelos basados en elementos finitos (FEM) han avanzado significativamente, permitiendo simulaciones más precisas del comportamiento estructural bajo diversas condiciones de carga. Además, el uso de técnicas de inteligencia artificial (IA) está ganando terreno, proporcionando herramientas para predecir fallos estructurales y optimizar diseños con una mayor eficiencia. También se identificaron enfoques híbridos que combinan métodos tradicionales y modernos, integrando sensores avanzados y big data para mejorar la precisión de las evaluaciones. Por otra parte, las innovaciones en modelos avanzados han mejorado considerablemente la capacidad de evaluar la resistencia estructural, aunque persisten desafíos en términos de validación experimental y escalabilidad. Se concluye que la adopción de estas metodologías avanzadas en la práctica de la ingeniería civil promete contribuir al desarrollo de estructuras más seguras y eficientes.

Palabras Clave: elementos finitos, inteligencia artificial, fallas estructurales, sismorresistente.

Abstract

The evaluation of structural resistance allows us to guarantee the safety and durability of constructions. With the advancement of technology, innovations have emerged in more precise advanced models. However, one of the main problems is the need to develop new design tools. The objective of this work was to examine recent innovations in advanced models for structural strength evaluation. The methodology was based on a literature review using academic

databases such as SCOPUS and Web of Science, as well as search engines such as Google Scholar. A systematic search of articles published in the last ten years was carried out, followed by a critical analysis of the results to identify trends, challenges and future opportunities. The results demonstrated that finite element-based models (FEM) have advanced significantly, allowing more accurate simulations of structural behavior under various loading conditions. Additionally, the use of artificial intelligence (AI) techniques is gaining ground, providing tools to predict structural failures and optimize designs with greater efficiency. Hybrid approaches that combine traditional and modern methods, integrating advanced sensors and big data to improve the accuracy of assessments, were also identified. Furthermore, innovations in advanced models have considerably improved the ability to assess structural strength, although challenges remain in terms of experimental validation and scalability. It is concluded that the adoption of these advanced methodologies in the practice of civil engineering promises to contribute to the development of safer and more efficient structures.

Keywords: finite elements, artificial intelligence, structural failures, earthquake resistance.

Introducción

La innovación es uno de los distintivos humanos que crea expectativas en todos los sectores de la vida, influenciando aspectos diversos de diferente índole en la sociedad, de allí que se compartan y/o divulguen nuevas alternativas de realizar y evaluar las áreas en cuestión. En este particular se hace un esfuerzo en acometer innovadores modelos de avanzada en los desarrollos actuales para los trabajos incursos en la resistencia estructural, pertinencia que se hace necesaria en vista de que la evaluación de la resistencia estructural permite garantizar la seguridad, rentabilidad y durabilidad de las construcciones, que hoy con el avance de la tecnología han surgido innovaciones en modelos avanzados más precisos, exitosos, puntuales y hasta matemáticos, de lo que se denota como uno de los principales problemas es la necesidad de desplegar iniciativas innovadoras de avanzada para formular y desarrollar nuevas herramientas con mejores estándares de diseño universalmente y científicamente aceptados.

Es fundamental señalar que la evaluación estructural en ingeniería implica realizar un análisis matemático de las estructuras existentes, considerando cargas gravitacionales y/o sísmicas para determinar su estado actual. Esta evaluación es esencial no solo para el mantenimiento y seguridad de las es-

estructuras, sino también para acometer modificaciones como ampliaciones de niveles o reformas. Además, la legislación nacional vigente detalla cuidadosamente los procedimientos y requisitos para la evolución y evaluación estructural de las edificaciones.

Las evaluaciones estructurales consisten en un chequeo minucioso, valoración, contrastación y ponderación detallada de cada uno de los elementos estructurales involucrados en el diseño y desarrollo de una estructura. Existen diversos ejemplos de este tipo de evaluaciones. Por ejemplo, si en una institución se detectan grietas en las columnas, es crucial realizar una notificación inmediata. Esta notificación activa el protocolo correspondiente para que se lleve a cabo un diagnóstico y evaluación detallados de la situación.

En casos donde se necesite aumentar las cargas de una estructura, que originalmente fueron diseñadas para un máximo específico, es fundamental realizar una evaluación estructural actualizada. Este ajuste puede ser necesario si se añaden pesos adicionales, como muebles, tabiquería en las losas u otros materiales que no estaban contemplados en el diseño inicial. Si estas consideraciones no se incluyeron desde el principio, es imprescindible llevar a cabo una evaluación estructural detallada para analizar y adaptar la estructura a las nuevas condiciones. Las fases a desarrollar para ejecutar una evaluación estructural son, primeramente,

En la fase 1, se procede con la inspección de campo realizando un chequeo y/o evaluación como observador de la estructura objetivo, donde se registran los tamaños de las fisuras, se mapean las rajaduras visibles y se identifican problemas constructivos presentes.

En la fase 2, se procede con la verificación de planos estructurales con la situación actual de la estructura. Si se encuentran diferencias, estas se anotan para su consideración en el análisis. En ausencia de planos estructurales, se debe replantear la edificación y realizar estudios de resistencia del concreto y mediciones del acero en los elementos estructurales.

En la fase 3, se procede con el estudio de campo adicional de la inspección y los requerimientos del proyecto, como estudios de mecánica de suelos, pruebas de resistencia del concreto o análisis de las cuantías de acero.

En la fase 4, se procede con el análisis estructural que consta de un análisis matemático de la estructura utilizando toda la información recopilada en las fases anteriores, que resulta de un diagnóstico de la edificación.

Muchas edificaciones existentes fueron diseñadas de acuerdo con normas antiguas y carecen de suficientes provisiones sísmicas. A menudo, estas estructuras sufren de malas prácticas en el uso de materiales y en la construcción. Como resultado, muchas de ellas tienen una resistencia deficiente a las cargas laterales y una capacidad insuficiente para disipar energía. Esto puede hacer que pierdan rápidamente su resistencia durante temblores, terremotos u otros movimientos sísmicos, lo que podría llevar al colapso parcial o total de la estructura. Las consecuencias de esto pueden ser graves, incluyendo pérdidas humanas, económicas y materiales

Otro ejemplo relevante es la evaluación estructural en edificios de concreto. La importancia de esta evaluación radica en que muchos edificios construidos con concreto no son adecuados para soportar actividad sísmica, lo que puede causar daños considerables durante sismos. En consecuencia, es imperativo desarrollar y aplicar nuevos métodos de evaluación estructural que mejoren la situación actual y aseguren una mayor resistencia sísmica (Guzmán Martínez, 2018).

Materiales y Métodos

La metodología utilizada para este desarrollo científico se basa esencialmente en la revisión bibliográfica de literatura disponible en Evaluación de la Resistencia Estructural, además se insistió en recoger información de trabajos de investigación aprobados de reconocidas universidades o sitios web a nivel mundial y artículos científicos debidamente acreditados como Scielo y Scopus entre otras, con lo cual se lograría la triangulación de los datos que llegan a formar la información, en tal sentido, se establecieron categorías, subcategorías y las respectivas unidades de análisis para posteriormente hacer el cruce de información a través de la triangulación.

Es una encomiable labor de los investigadores como científicos en el área, el conocimiento en el área de desempeño específico, en tal sentido se precisa de materiales y métodos en los procesos inherentes. De tal manera que se conoce la necesidad de innovar en la evaluación para modificar los procesos con nuevos esquemas, nuevos procedimientos y nuevos modelos estructurales, entonces Es relevante destacar la importancia de establecer un método confiable para evaluar el comportamiento no lineal de las estructuras de concreto reforzado expuestas a sismos de alta intensidad, así como para determinar su condición estructural. En este sentido, se ha llevado a cabo un estudio preliminar utilizando cuatro modelos simulados en tres programas que ayudados de la inteligencia artificial (IA) de análisis basados en elementos

finitos: Opensees, ATENA y SAP2000, con lo cual este tipo de análisis desarrollado busco optimizar las técnicas de evaluación estructural y mejorar la precisión en la predicción de la respuesta sísmica de las estructuras.

Métodos de evaluación estructural basados en desempeño

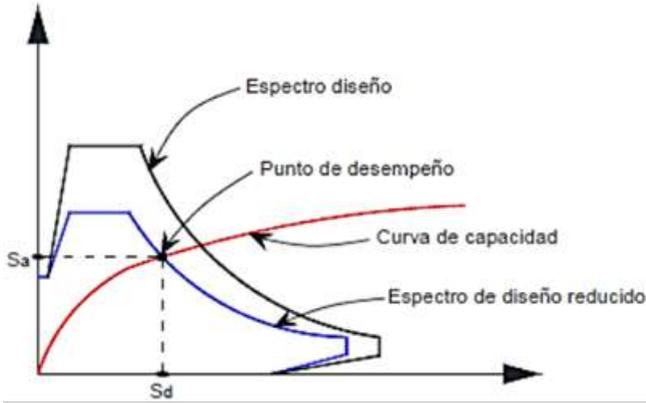
Frecuentemente, los niveles de daño especificados en las normativas se correlacionan con ciertos valores de desplazamientos calculados mediante análisis dinámico incremental. Este tipo de análisis se conoce como análisis basado en el objetivo de desempeño de las estructuras. Recordando que los objetivos de desempeño definen los rangos de comportamiento deseados de una estructura frente a la acción sísmica, considerando aspectos económicos y de seguridad:

- En el caso I: ocupación inmediata (IO), este criterio es el más común para instalaciones esenciales y se refiere a un sismo severo con un período de retorno de aproximadamente 475 años. El objetivo es que la estructura esté en condiciones de ser ocupada inmediatamente después del sismo, sin requerir reparaciones extensas.
- En el caso II: seguridad a la vida (LS), este nivel busca garantizar que el daño a la estructura no ponga en riesgo la seguridad de los ocupantes. Después de un sismo, es posible que los elementos estructurales sufran daños localizados que sean reparables. Este rendimiento es típico en edificios diseñados según códigos modernos para sismos severos.
- En el caso III: prevención del colapso (CP), este nivel de desempeño se enfoca en permitir daños significativos en los elementos estructurales y no estructurales sin que la estructura llegue al colapso. Los daños pueden ser extensos, especialmente en los elementos estructurales, y a menudo no son reparables.

Método del espectro de capacidad

Figura 6.

Método del espectro de capacidad.



Este método tiene como base a todos los procedimientos posteriores para la evaluación, denotando que la capacidad de una estructura se define mediante la llamada Curva de capacidad, en la cual se grafica el desplazamiento de azotea versus el cortante basal, esta curva se obtiene a través de un análisis pushover y la demanda sísmica está representada por un espectro de diseño.

Método de diseño sísmico basado en desplazamientos para marcos reforzados

En el diseño sísmico basado en fuerzas, se utilizan análisis lineales para determinar los elementos mecánicos necesarios para las estructuras. Estos análisis se fundamentan en fuerzas derivadas de espectros de diseño elásticos, las cuales se ajustan mediante factores de reducción que tienen en cuenta el comportamiento inelástico de las estructuras, que permite la aceptación de ciertos daños en los elementos estructurales durante sismos severos, por lo cual la tendencia actual en ingeniería sísmica es mejorar la estimación y el control del comportamiento de los edificios ante diversos niveles de intensidad sísmica, a través de la gestión directa de los factores o parámetros que afectan la respuesta estructural, donde el enfoque se conoce como la filosofía de diseño sísmico basada en el desempeño.

Métodos de rehabilitación estructural en estructuras de concreto reforzado

Nivel de desempeño

La premisa fundamental para cualquier metodología efectiva en la evaluación de edificios radica en la definición clara y precisa de los niveles de desempeño, ajustados a la categoría de riesgo de cada estructura. Es importante tener en cuenta que el costo económico asociado a alcanzar un nivel más alto de certeza en el desempeño de los edificios puede ser desproporcionado en relación con el beneficio adicional y la vida útil restante de la estructura. Por lo tanto, se recomienda diferenciar los niveles y objetivos de desempeño para estructuras nuevas en comparación con estructuras existentes. Un ejemplo de este enfoque es el ASCE 41-17, que proporciona directrices específicas para estas distinciones (López Menjivar, Hernández de Paz, & Sunley, 2020).

En este contexto, es esencial considerar los objetivos básicos de desempeño equivalentes para nuevos estándares de construcción (BPON, por sus siglas en inglés). La premisa fundamental es evaluar o reforzar las estructuras existentes para que alcancen un nivel de desempeño comparable al de edificios diseñados según los estándares de construcción más recientes, definiendo como es el grado de daño esperado, tanto estructural como no estructural, ante una determinada intensidad sísmica y al poseer un objetivo de desempeño, se está estableciendo el nivel de daño que se considera aceptable en la edificación en caso de un evento sísmico.

La FEMA-273 (Federal Emergency Management Agency) establece varios métodos para aplicar cargas laterales estáticas en el análisis estático no lineal de estructuras. Y la ASCE 41 requiere que la evaluación y rehabilitación de estructuras tengan un objetivo de desempeño sísmico claramente definido, que se refiere a alcanzar un nivel específico de rendimiento sísmico en relación con el riesgo considerado, esta establece objetivos de desempeño diferenciados para edificaciones nuevas y para estructuras existentes, basándose en sus categorías de riesgo y el nivel de amenaza sísmica. Para la FEMA 273 y el ASCE 41 se proponen dos métodos principales para la rehabilitación de estructuras denominados: Rehabilitación Simplificada y Rehabilitación Sistemática.

Rehabilitación Simplificada

En lo concerniente a la rehabilitación simplificada, esta se aplica a edificios pequeños con una configuración regular, especialmente en áreas con riesgo sísmico moderado o bajo. Este método no es adecuado para todos

los tipos de edificios y está diseñado para cumplir únicamente con objetivos limitados de rehabilitación.

La rehabilitación simplificada utiliza un análisis y diseño básicos que son adecuados para edificios pequeños y regulares, donde no se requiere un procedimiento analítico complejo. Generalmente, busca alcanzar un nivel de desempeño de protección a la vida para un nivel de riesgo sísmico de BSE-1. Aunque menos complejo que la rehabilitación sistemática, este método tiene limitaciones en cuanto a la altura del edificio y la zona sísmica. A menudo, requiere una evaluación menos exhaustiva o un análisis parcial para cumplir con un nivel específico de desempeño.

El procedimiento para aplicar este método incluye:

- Identificar el tipo de modelo del edificio.
- Evaluar las deficiencias existentes.
- Seleccionar una rehabilitación completa o parcial.

Rehabilitación Simplificada

La rehabilitación sistemática es aplicable a cualquier tipo de edificio y requiere una revisión exhaustiva de cada elemento estructural existente. Este enfoque se centra en el comportamiento no lineal de la estructura, desarrollando un modelo matemático que se utiliza para el diseño preliminar a través de procedimientos lineales y no lineales, tanto estáticos como dinámicos. Este método es especialmente útil cuando la rehabilitación simplificada no es adecuada y es muy completo, abarcando todos los requisitos necesarios para alcanzar cualquier nivel de desempeño especificado, en la aplicación de este proceso para llevarlo a cabo se sigue los siguientes pasos:

- Evaluar las deficiencias existentes.
- Seleccionar la estrategia de rehabilitación adecuada.
- Elegir el procedimiento de análisis apropiado.
- Considerar los requisitos generales del proyecto.

Rehabilitación Sistemática

En lo concerniente a la rehabilitación sistemática se puede utilizar para cualquier edificio y se debe revisar cada elemento estructural existente, enfocándose en un comportamiento no lineal en la respuesta de la estructura, la cual se desarrolla como un modelo matemático para el diseño preliminar utilizando los procedimientos lineales y no lineales mencionados anteriormen-

te, ya sean estáticos o dinámicos siendo utilizado particularmente cuando no se puede utilizar una rehabilitación simplificada. Es muy completo y contiene todos los requisitos para alcanzar cualquier nivel de desempeño especificado y para su procedimiento se sigue el siguiente orden:

- Considerar las deficiencias
- Seleccionar la estrategia de rehabilitación
- Seleccionar el procedimiento de análisis
- Considerar los requisitos generalesFinal del formulario

Programas. SAP2000

El software de aplicación SAP2000 (Structural Analysis Program) es una herramienta informática avanzada que utiliza elementos finitos y presenta una interfaz gráfica amigable en 3D orientada a objetos, lo que facilita una visualización clara y detallada. Este software está diseñado para realizar de manera integral la modelación, el análisis y el dimensionamiento de una amplia gama de problemas de ingeniería estructural.

El SAP2000 es reconocido por su flexibilidad, interactividad y seguridad para analizar diversos tipos de estructuras, su capacidad de cálculo y la fiabilidad de sus resultados, con versatilidad en la modelación permite su aplicación en el diseño de puentes, edificios, estadios, presas, estructuras industriales, estructuras marítimas y toda infraestructura que requiera análisis y dimensionamiento.

Ahora en cuanto a las cargas, SAP2000 permite generar automáticamente cargas sísmicas, de viento y vehiculares. Además, ofrece funciones para el dimensionamiento y verificación automática de estructuras de hormigón armado, perfiles metálicos, de aluminio y conformados en frío, de acuerdo con normativas europeas, americanas, canadienses y otras.

Evaluación

Metodologías para la evaluación de edificios dañados por sismos

La evaluación de edificios dañados busca establecer los niveles de daños en una edificación y que puede constituirse en un primer criterio de habitabilidad en los días posteriores a la ocurrencia de un sismo severo. Posteriormente se procede a evaluar con más profundidad aquellas estructuras que, dependiendo de su primera calificación, no han podido catalogarse como seguras o habitables y a las cuales se les evalúa su vulnerabilidad a partir de su condición de daño. Dentro del contexto de la velocidad de la respuesta a la evaluación de edificios dañados

tiene como objetivo principal determinar los niveles de daño en una edificación, lo cual puede servir como un primer criterio para establecer su habitabilidad en los días posteriores a un sismo severo. Una vez realizada esta evaluación inicial, se procede a un análisis más detallado de aquellas estructuras que, según la calificación preliminar, no se han clasificado como seguras o habitables. En este análisis más profundo, se evalúa la vulnerabilidad de la estructura en función de su estado de daño.

En relación con la rapidez requerida para llevar a cabo la evaluación estructural después de un sismo, se pueden distinguir tres etapas de evaluación:

En la etapa 1: evaluación rápida

Esta etapa consiste en una evaluación visual realizada mediante listas de verificación diseñadas para identificar daños potenciales o reales a través de una inspección rápida del edificio, generalmente desde el exterior. La evaluación se enfoca en determinar el nivel de daño y la habitabilidad del edificio. Cada inspección suele durar aproximadamente media hora y se clasifica en tres categorías:

- Verde: Sin daño estructural significativo. Los daños en los sistemas no estructurales pueden ser leves o inexistentes. Los edificios en esta categoría pueden ser considerados habitables y están disponibles para su uso inmediato.
- Amarillo: Daño ligero a moderado tanto en los sistemas estructurales como no estructurales. El acceso al edificio está restringido para los ocupantes hasta que se realice una evaluación más detallada.
- Rojo: Daño severo o colapso en los sistemas estructurales y no estructurales. El acceso al edificio está completamente prohibido para los ocupantes. Se indicará si es necesario realizar apuntalamiento, utilizar equipos especializados o acordonar el área. Los edificios clasificados como rojos pasan directamente a la Etapa 3 de evaluación para un análisis más exhaustivo.

En la etapa 2: evaluación intermedia

Esta etapa se aplica a las edificaciones que en la Etapa 1 fueron clasificadas con bandera verde o amarilla. La evaluación intermedia se realiza mediante una inspección visual detallada desde el interior de la estructura. En esta fase, se analiza el nivel de seguridad y la vulnerabilidad sísmica del edificio, considerando los daños observados y utilizando un formulario basado en una metodología para estimar la vulnerabilidad.

Las edificaciones clasificadas con bandera verde en la Etapa 1 serán revisadas para determinar si presentan vulnerabilidades adicionales. Por otro lado, las estructuras con bandera amarilla pueden cambiar su clasificación a verde (habitables y utilizables de inmediato), mantenerse en amarillo (acceso restringido a ocupantes) o cambiar a roja (acceso prohibido). En esta etapa también se determinará si se necesita apuntalamiento, equipo especializado o acordonamiento.

La Etapa 2 puede durar entre tres y cuatro semanas, con cada evaluación individual promediando dos horas. Se debe elaborar un breve informe para cada inspección realizada.

En la etapa 3: evaluación estructural

La Etapa 3 se aplica a los edificios que han recibido clasificación de bandera amarilla o roja en las evaluaciones anteriores. En esta fase, se lleva a cabo un análisis estructural detallado del comportamiento sísmico del edificio, siguiendo las normativas vigentes en cada país o metodologías establecidas para la rehabilitación. Este análisis permite determinar la capacidad estructural de la edificación y decidir si es viable su rehabilitación basada en aspectos técnicos, económicos y financieros, o si, por el contrario, se debe proceder a su demolición.

En el caso de los edificios clasificados con bandera verde en las etapas anteriores, también se puede realizar una evaluación para determinar si es necesario llevar a cabo una rehabilitación, considerando los mismos factores técnicos, económicos y financieros.

Esta etapa involucra procedimientos de cálculo más avanzados que los empleados en las etapas previas. Generalmente, se requiere un levantamiento exhaustivo de información sobre la estructura, que puede incluir ensayos destructivos y no destructivos, así como pruebas de laboratorio. El objetivo es identificar qué estructuras pueden ser rehabilitadas y cuáles deben ser demolidas.

La Etapa 3 suele ser realizada por una empresa consultora en ingeniería, y la metodología empleada en esta fase es responsabilidad del ingeniero encargado junto con el propietario del edificio. Se recomienda seguir los procedimientos establecidos en documentos como el ATC 52-4 (ATC, 2015), FEMA 306 (ATC, 1998), FEMA 352 (ATC, 2000), entre otros.

Para evaluar los efectos del daño causado por un terremoto en el desempeño sísmico futuro de un edificio, es necesario realizar un análisis de des-

empeño tanto en el estado dañado del edificio como en su estado previo al sismo, considerando uno o más objetivos de desempeño sísmico. Si se determina que el desempeño del edificio dañado es significativamente inferior al previsto para su condición antes del sismo, se deben desarrollar medidas de rehabilitación en función del desempeño esperado. Este análisis se divide en dos fases:

a) Fase de Investigación:

El objetivo principal de esta fase es recopilar la información básica en un formato que facilite la evaluación de los efectos del daño en el desempeño sísmico futuro del edificio. Los aspectos clave a considerar incluyen:

- Información sobre la amenaza sísmica: Datos relacionados con los niveles de desempeño esperados en función de la amenaza sísmica.
- Datos del edificio: Configuración estructural, planos, estudios de suelos, edad del edificio, y su uso actual o cambios en el uso.
- Identificación de componentes: Análisis de los componentes estructurales y no estructurales, su comportamiento, y cómo estos afectan la resistencia total del edificio.
- Documentación del daño: Registro detallado del daño sufrido por el edificio.
- Clasificación del daño: Evaluación y clasificación de los daños en los distintos componentes.

Cabe destacar que gran parte de esta información ya habrá sido recopilada durante las dos etapas de evaluación previas.

b) Fase de Evaluación:

En esta fase, la evaluación del daño se lleva a cabo con base en un objetivo de desempeño definido para cuantificar los efectos del daño. La elección del objetivo de desempeño para un edificio es una decisión política que debería ser determinada por las autoridades regulatorias, considerando factores como la edad, tamaño, uso del edificio, entre otros. Sin embargo, en general, la decisión queda en manos del ingeniero y del propietario del edificio. En algunos casos, puede ser necesario considerar múltiples objetivos de desempeño.

Una vez recopilados los efectos del daño causado por el sismo, el ingeniero encargado cuantifica estos efectos en el edificio en su totalidad. Para

ello, se emplea el concepto de curva de capacidad, que relaciona un parámetro global de desplazamiento con la fuerza lateral impuesta por el sismo sobre la estructura. El desplazamiento global máximo durante un terremoto depende de las deformaciones elásticas e inelásticas de cada componente individual de la estructura y su combinación en el sistema de respuesta global.

El nivel de desempeño estructural se define como un estado límite de daño estructural. Por ejemplo, el nivel de desempeño “Ocupación Inmediata” se define por un parámetro global de desplazamiento y un parámetro global de fuerza. Cuando estos parámetros son superados, el edificio puede presentar daños leves o moderados en los componentes, pero aún conserva un margen de seguridad contra el colapso total o parcial. De manera análoga, se definen otros niveles de desempeño estructural.

Resultados

Al presentarse esta etapa del estudio científico, y habiendo evaluado toda la información y triangulado las unidades de análisis, las categorías y subcategorías acaecidas, se expone como la inteligencia artificial (IA), big data, la nube, la tecnología 3D, en físico y virtualmente, han estado ganando terreno frente a los modelos pasados de evaluación, se denota como la evolución avanzada significativamente en los programas informáticos desarrollados con software de alto nivel que están desbordando barreras y mitos en diversas áreas del conocimiento humano. El avance e innovación continua, se han de esperar desarrollos mucho más espectaculares que los actuales, en tal sentido se propone la estimulación del uso de las herramientas tecnológica para efectuar estos cálculos en las evaluaciones de la resistencia estructural.

Conclusiones

La presente investigación ha identificado avances significativos en los modelos de evaluación para la resistencia estructural, evidenciando una clara transición desde métodos tradicionales hacia enfoques tecnológicamente avanzados que incorporan inteligencia artificial, procesamiento de big data y simulaciones computacionales de alto rendimiento. Los modelos basados en elementos finitos (FEM) han demostrado ser fundamentales en el análisis estructural contemporáneo, permitiendo simulaciones más precisas del comportamiento de las estructuras bajo diversas condiciones de carga, mientras que la integración de técnicas de inteligencia artificial está transformando la capacidad predictiva, facilitando la identificación temprana de posibles fallos y optimizando los diseños con mayor eficiencia.

Los enfoques híbridos que combinan metodologías tradicionales con tecnologías modernas, junto con las metodologías de evaluación basadas en desempeño, representan un cambio paradigmático en el análisis estructural, permitiendo definir objetivos específicos de rendimiento adaptados a las necesidades particulares de cada edificación. La aplicación de software especializado como SAP2000 ha facilitado el modelado y análisis integral de estructuras complejas, mientras que los protocolos de evaluación estructural post-sismo en sus tres etapas (rápida, intermedia y estructural) representan un avance metodológico crucial para garantizar la seguridad pública tras eventos sísmicos.

Persisten importantes desafíos en cuanto a la validación experimental de los modelos avanzados y su escalabilidad para diferentes tipos de estructuras, lo que sugiere la necesidad de continuar investigando para mejorar su aplicabilidad universal. Los métodos de rehabilitación estructural, tanto simplificados como sistemáticos, ofrecen alternativas viables para intervenir edificaciones existentes, adaptándolas a los estándares actuales de resistencia sísmica sin necesidad de demolición completa.

Estas innovaciones en los modelos de evaluación de resistencia estructural están contribuyendo significativamente al desarrollo de infraestructuras más seguras y resilientes, particularmente en regiones con alta actividad sísmica. Se recomienda fomentar la capacitación continua de los profesionales en estas nuevas tecnologías, establecer marcos regulatorios que incentiven su implementación en la práctica cotidiana, y promover la investigación colaborativa entre academia e industria para perfeccionar estos modelos y adaptarlos a los contextos específicos de diferentes regiones, salvaguardando vidas humanas y optimizando recursos económicos en el desarrollo y mantenimiento de infraestructuras críticas.

Referencias Bibliográficas

- Guzmán Martínez, L. (2018). Métodos para la Evaluación y Rehabilitación Estructural en Edificios de Concreto Reforzado. Universidad de Veracruz, Boca del Río, Veracruz. Recuperado el 24 de julio de 2024
- López Menjivar, M. A., Hernández de Paz, J., & Sunley, S. (2020). Lineamientos para la Evaluación de la Vulnerabilidad y Readequación Estructural. Recuperado el 20 de julio de 2024, de <https://srt.snet.gob.sv/tallerdivulgacion/Amenaza/LINEAMIENTOS%20PARA%20LA%20EVALUACION%20DE%20LA%20VULNERABILIDAD%20Y%20READECUACION%20ESTRUCTURAL.pdf>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Unidad 2

Diseño de vivienda autosustentable
con bloques de adición porcentual
de aserrín para el cantón Paján en la
provincia de Manabí.

AUTORES: Cristhian Rubén Choez Abata; Raúl Alberto Choez López; Fernando Alexander
García Saldarriaga



SABEREC 5.0

Diseño de vivienda autosustentable con bloques de adición porcentual de aserrín para el cantón Paján en la provincia de Manabí.

Design of a Self-Sustainable House with Sawdust-Added Blocks for the Paján Canton in the Manabí Province.

Resumen

Dada la creciente necesidad de viviendas sostenibles, se ha intensificado la búsqueda de materiales de construcción ecológicos. Uno de estos materiales es el bloque de cemento con adición porcentual de aserrín, que reduce la huella ambiental, mejora las propiedades térmicas y acústicas de las viviendas. Este estudio se enfoca en el diseño de viviendas autosustentables utilizando estos bloques, analizando la viabilidad y los beneficios de su implementación. El objetivo de estudio es evaluar la efectividad y las ventajas del uso de bloques con adición porcentual de aserrín en la construcción de viviendas autosustentables. Se realizó una revisión bibliográfica de estudios previos que analizaron las propiedades de los bloques con aserrín. Los estudios revisados indican que los bloques con adición de aserrín presentan una resistencia adecuada para su uso en viviendas, mejoran significativamente el aislamiento térmico y acústico, y reducen la cantidad de cemento necesario, disminuyendo así las emisiones de CO₂. La utilización de bloques de cemento con adición de aserrín es una alternativa viable y beneficiosa para la construcción de viviendas autosustentables. Además de las mejoras en las propiedades de los materiales, se contribuye a una construcción más ecológica y sostenible.

Palabras claves: Sostenibilidad, materiales ecológicos, eficiencia energética, aislamiento, construcción verde.

Abstract

Given the growing need for sustainable housing, the search for environmentally friendly building materials has intensified. One of these materials is the cement block with percentage addition of sawdust, which reduces the environmental footprint, improves the thermal and acoustic properties of the houses. This study focuses on the design of self-sustainable housing using these blocks, analyzing the feasibility and benefits of their implementation. The objective of the study is to evaluate the effectiveness and advantages of using blocks with a percentage addition of sawdust in the construction of self-sustainable housing. A literature review of previous studies that analyzed the properties of blocks with sawdust was carried out. The studies reviewed indicate that blocks with added sawdust have adequate strength for use in housing, significantly

improve thermal and acoustic insulation, and reduce the amount of cement required, thus reducing CO2 emissions. The use of cement blocks with the addition of sawdust is a viable and beneficial alternative for the construction of self-sustainable housing. In addition to the improvements in the properties of the materials, it contributes to a more ecological and sustainable construction.

Keywords: Sustainability, ecological materials, energy efficiency, insulation, green construction.

Introducción

Este proyecto de construcción de vivienda unifamiliar de interés social en el cantón Paján se propone como un estudio de caso, orientado a la estructuración del modelo de vivienda proyectado para dicha zona. A través de esta iniciativa, se pretende desarrollar y aplicar metodologías y herramientas inherentes a la administración de proyectos, teniendo en cuenta que, debido a la escala limitada del proyecto, su alcance es relativamente modesto. En consonancia con esta realidad, la capacidad de contratación de mano de obra será restringida durante la ejecución de la construcción. A lo largo de este proceso, se aborda la organización, planificación y metodología de seguimiento.

Como parte integral de la planificación, se ha recurrido a herramientas tecnológicas de vanguardia, tales como Ms Project 2016 y Excel, además de diseñarse formatos específicos para el seguimiento y control, los cuales serán de suma utilidad al momento de evaluar la obra en su etapa de ejecución.

El diseño de una estrategia robusta para el proceso constructivo es de vital importancia, ya que orienta la asignación eficiente de los recursos disponibles. Partiendo de esta premisa, se plantea una estrategia fundamentada en las mejores prácticas en la planificación de obras civiles, adaptadas al contexto de la construcción del modelo de vivienda. De este modo, se aspira a que el presente documento se constituya como una fuente de referencia académica para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, así como para aquellos vinculados a disciplinas afines en el ámbito de la edificación y las obras civiles.

Materiales y Métodos

La fabricación de ladrillos de cemento, conocidos comúnmente como bloques de concreto, es un proceso industrial que requiere una cuidadosa selección de materiales y la implementación de técnicas de producción estandarizadas para garantizar un producto final que cumpla con los más altos estándares de resistencia y durabilidad.

Materiales:

Cemento Portland: El componente primordial es el cemento Portland, un material aglutinante cuyo protagonismo en el proceso radica en su capacidad de generar una reacción química con el agua, conocida como hidratación, que confiere al ladrillo su resistencia estructural. Se prefiere el uso de cemento Portland tipo I, debido a sus propiedades de fraguado y resistencia iniciales.

Agregados finos (Arena): Los agregados finos, generalmente representados por la arena, son esenciales para proporcionar al ladrillo su estabilidad estructural. La arena empleada debe ser limpia, homogénea y exenta de impurezas, lo que garantiza una textura uniforme y un comportamiento mecánico óptimo. La granulometría fina de la arena favorece una mejor compactación y acabado superficial.

Agregados gruesos (Grava o piedra triturada): La inclusión de agregados gruesos, como grava o piedra triturada, responde a la necesidad de dotar al ladrillo de una estructura más robusta. Estos elementos coadyuvan en la resistencia a la compresión y en la longevidad del bloque, especialmente en aplicaciones que demandan altos niveles de carga.

Agua: La calidad del agua utilizada en la mezcla es crítica, ya que influye directamente en la reacción química del cemento. El agua debe estar libre de contaminantes y compuestos que puedan interferir con la hidratación del cemento, asegurando así un fraguado adecuado y una resistencia final óptima.

Aditivos (Opcional): En ciertas formulaciones, se emplean aditivos que optimizan diversas propiedades del ladrillo. Estos pueden incluir plastificantes, que mejoran la trabajabilidad de la mezcla; aceleradores, que reducen el tiempo de fraguado; o agentes impermeabilizantes, que disminuyen la porosidad del bloque, aumentando su resistencia a la penetración de agua.

Métodos:

Preparación de la mezcla: El aserrín se mezcla con cemento, arena, agua y otros posibles aditivos. La proporción de aserrín varía según el tipo de ladrillo que se desea obtener, pero generalmente se usa entre un 5% y un 20% del volumen total de agregados.

Moldeo y compactación: Una vez mezclados los materiales, se procede a moldear los ladrillos en los moldes correspondientes. El aserrín ayuda a reducir la densidad de la mezcla, lo que facilita la compactación en el molde.

Curado: Los ladrillos de cemento con aserrín deben pasar por un proceso de curado similar al de los ladrillos convencionales, en el que se asegura una correcta hidratación del cemento para obtener la resistencia adecuada. En algunos casos, se recomienda un curado prolongado para asegurar que el aserrín esté bien integrado en la matriz de cemento.

Tipos de investigación

La investigación se lleva a cabo en este proyecto con bloques de adición porcentual de aserrín para el cantón Paján, con vistas a la construcción de viviendas unifamiliares, se fundamentó en una metodología de investigación aplicada. Esta metodología se eligió debido que a sus resultados permiten abordar de manera directa como indirecta los problemas identificados durante la implementación de bloques de adición porcentual de aserrín.

Método de investigación

1. Diseño de Experimentos

- **Selección de Proporciones:** Se definirán diversas proporciones de aserrín a añadir a los bloques para evaluar sus efectos en las propiedades del material.
- **Fabricación de Muestras:** Se procederá a la elaboración de bloques con distintas concentraciones de aserrín, conforme a los criterios establecidos para la investigación.

2. Ensayos y Evaluaciones

Propiedades Físicas: Se medirán parámetros tales como densidad, absorción de agua y resistencia a la compresión.

Propiedades Térmicas: Se evaluará la conductividad térmica y el comportamiento aislante de los bloques.

Propiedades Mecánicas: Se realizarán pruebas de resistencia y durabilidad para determinar el desempeño estructural.

Análisis de datos

Análisis Cuantitativo

Se realizará un análisis detallado de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, así como de los datos económicos y técnicos recopilados durante la investigación.

Análisis Cualitativo

Se evaluará la percepción del mercado y la aceptación por parte de los usuarios finales, con el objetivo de comprender la viabilidad práctica y la receptividad del material en el contexto real.

Resultados

Los ensayos realizados sobre los bloques con adición porcentual de aserrín revelan una serie de implicaciones significativas respecto a sus propiedades físicas. Se observó una disminución notable en la densidad del material, congruente con la inclusión de aserrín, un material de menor masa específica en comparación con los componentes tradicionales. La capacidad de absorción de agua, incrementada en los bloques con aserrín, es indicativa de su mayor porosidad, un atributo que, si bien beneficia la absorción de humedad, podría tener repercusiones adversas en la estabilidad dimensional del material. En cuanto a la resistencia a la compresión, los resultados evidencian una reducción significativa correlacionada con el aumento en la proporción de aserrín, especialmente en concentraciones superiores al 30%. Esta tendencia sugiere que la integridad estructural del bloque puede verse comprometida, lo que subraya la necesidad de ajustar las proporciones para mantener un equilibrio adecuado entre funcionalidad y sostenibilidad.

Los ensayos mecánicos muestran que los bloques con adición de aserrín exhiben una resistencia reducida en comparación con los bloques tradicionales. La disminución de la capacidad de carga, observada en los bloques con porcentajes altos de aserrín, pone de manifiesto la necesidad de evaluar cuidadosamente las aplicaciones estructurales de estos materiales. La resistencia mecánica de los bloques se ve afectada por la inclusión de aserrín, indicando que, a pesar de sus ventajas en aislamiento térmico, su uso en elementos estructurales requerirá ajustes y refuerzos adicionales para cumplir con las normativas vigentes.

Los datos recopilados sugieren que la producción de bloques con aserrín conlleva una menor huella de carbono en comparación con los bloques tradicionales. Este resultado es una indicación positiva de que el uso de materiales reciclados puede contribuir a una reducción significativa en el impacto ambiental. Sin embargo, es crucial continuar con la investigación para optimizar los procesos y minimizar cualquier impacto negativo derivado de la producción.

Los estudios de caso y las implementaciones prácticas de los bloques con aserrín en viviendas unifamiliares han mostrado una recepción favorable

por parte de usuarios y profesionales del sector. La aceptación se basa en los beneficios ambientales y económicos del material. No obstante, la integración en el mercado requiere una consideración detallada de los desafíos relacionados con la resistencia estructural y la adaptación de los métodos de construcción.

Conclusiones

- Los bloques de adición porcentual de aserrín presentan un potencial considerable para transformar la construcción de viviendas unifamiliares, combinando beneficios técnicos y ambientales. La adopción exitosa de esta tecnología dependerá de la continua investigación, la optimización de procesos y la integración efectiva de estos materiales en las prácticas de construcciones civiles actuales y futuras.
- Se presentarán las conclusiones derivadas de la investigación sobre la viabilidad técnica, económica y ambiental del uso de bloques con adición de aserrín en la construcción de viviendas unifamiliares.
- Se propondrán mejoras en la formulación y el proceso de producción de los bloques, así como sugerencias para aplicaciones prácticas y áreas de investigación futura.

Referencias Bibliográficas

Cabrera, M. I. (2018). Utilización de los concretos de alta resistencia y concretos celulares en la industria de la construcción ecuatoriana, clasificados por sectores: vivienda, electricidad, gas/petróleo, salud y educación. *INGENIO*, 1(1), 15-30.

Díaz García, J. A. (2019). Propiedades del concreto $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ en estado fresco al adicionarle biocarbon de aserrín en 5%, 7.5% y 10%, Chimbote-2019 (Tesis de Grado). Universidad Cesar Vallejo. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/51731>

Mattey, P. E., Robayo, R. A., Díaz, J. E., Delvasto, S., & Monzó, J. (2015). Application of rice husk ash obtained from agro-industrial process for the manufacture of nonstructural concrete blocks. *Revista latinoamericana de metalurgia y materiales*, 35(2), 285-294.

Tello Arellano, A. A., & DT-Varela Gallegos, S. C. (2014). Utilización de los desechos de la madera en el diseño de accesorios del vestuario femenino. Universidad Técnica de Ambato <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/>

bitstreams/f9f43273-9166-4a48-8bd1-9639bea7ef21/content

Yarleque, B., & Jhoana, L. (2018). Propiedades mecánicas del concreto ligero con incorporación de virutas de madera. Universidad Nacional Agraria la Molina. <http://45.231.83.156/bitstream/handle/20.500.12996/3859/bellido-yarleque-leddy-jhoana.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 4

Análisis teórico sobre la
implementación de bloques de
plástico reciclado para la
construcción de viviendas en Ecuador

AUTORES: Cristhian Javier Zambrano Cevallos; Ronny Fernando Román Solorzano; José Amable Tonguino Rodríguez; Diego Sornoza Parrales



SABEREC 5.0

Análisis teórico sobre la implementación de bloques de plástico reciclado para la construcción de viviendas en Ecuador

Theoretical analysis on the implementation of recycled plastic blocks for housing construction in Ecuador

Resumen

El impacto ambiental que provocan los materiales de construcción tradicionales ha impulsado la exploración de alternativas innovadoras que puedan dar soluciones sostenibles y eficientes en el ámbito de la construcción de infraestructuras físicas. En este contexto, el uso de plástico reciclado se presenta como una alternativa viable para mitigar el impacto ambiental y mejorar la calidad de vida de las personas. El objetivo de este estudio es analizar teóricamente la viabilidad de implementar bloques de plástico reciclado en la construcción de viviendas en el Ecuador. El presente trabajo está basado en un enfoque metodológico cualitativo dentro del paradigma interpretativo, centrado en una exhaustiva revisión bibliográfica y análisis de contenido. Los resultados de investigaciones realizadas en otros países indican que los bloques de plástico reciclado cumplen con los estándares de calidad requeridos para su uso en la construcción ya que poseen propiedades como: resistencia a la compresión, humedad, corrosión, aislamiento térmico y aislamiento acústico. Sin embargo, en el país actualmente no se cuenta con normativas y regulaciones que respalden el uso de materiales reciclados para el sector de la construcción. Los resultados permiten concluir que en el Ecuador la adopción de este sistema alternativo podría ser clave en la reducción del déficit habitacional, ofreciendo una solución de bajo costo y respetuosa con el medio ambiente.

Palabras claves: Bloques de mampostería; ingeniería de la construcción; reciclaje de desechos; sostenible, viviendas.

Abstract

The environmental impact caused by traditional construction materials has prompted the exploration of innovative alternatives that can provide sustainable and efficient solutions in the field of physical infrastructure construction. In this context, the use of recycled plastic is presented as a viable alternative to mitigate the environmental impact and improve people's quality of life. The objective of this study is to analyze theoretically the feasibility of implementing recycled plastic blocks in housing construction in Ecuador. The present work is based on a qualitative methodological approach within the interpretative paradigm, centered on an exhaustive bibliographic review and content analysis.

The results of research conducted in other countries indicate that recycled plastic blocks meet the quality standards required for their use in construction since they possess properties such as: resistance to compression, humidity, corrosion, thermal insulation and acoustic insulation. However, there are currently no norms and regulations in the country that support the use of recycled materials in the construction sector. The results allow us to conclude that in Ecuador the adoption of this alternative system could be key in the reduction of the housing deficit, offering a low cost and environmentally friendly solution.

Keywords: Masonry blocks; construction engineering; waste recycling; sustainable, housing.

Introducción

Los materiales de construcción tradicionales han provocado impacto ambiental. Por tal razón, se impulsa la exploración de alternativas innovadoras que puedan dar soluciones sostenibles y eficientes en el ámbito de infraestructuras físicas, ante la necesidad de la población de tener viviendas asequibles donde los materiales de plástico reciclados incorporan el concepto de economía circular y la reducción de la contaminación.

En este orden, la Organización de Naciones Unidas (ONU, 2024), busca eliminar la contaminación por productos plásticos, que constituye un objetivo importante del Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas. A nivel mundial, el uso de plástico reciclado es una opción viable para mitigar el impacto ambiental, optimizando el problema del manejo de residuos sólidos, al ser una provisión en la construcción de mampuestos, que contribuye a la disminución del uso de materia prima como el cemento, arena y varios agregados pétreos.

En la actualidad existen diversos estudios sobre la viabilidad de implementar bloques de plástico reciclado en la construcción de viviendas hacia la reducción de su déficit. En Latinoamérica, específicamente en Colombia, se demuestra con análisis técnico y financiero que la implementación de los bloques con polímeros de plástico reciclado, cumplen con las características y normas de los sistemas convencionales constructivos y, a su vez, brindarían un mejor costo y reducirían los tiempos de ejecución en obra (Piñeros y Herrera, 2018). En Perú, se determina el nivel que se afecta las propiedades del ladrillo de concreto adicionándole Polietileno Tereftalato (PET) por arena para la construcción de viviendas (Coronel y Dueñas, 2020), asimismo hay comparación de costos del ladrillo PET recomendando el uso de este con material reciclado para viviendas unifamiliares por su precio menor y acorde

para bajas temperaturas debido a su propiedad de aislante térmico (Bedón y Flores, 2021).

De la misma manera, en Argentina, realizan investigaciones para las construcciones de viviendas sustentables con bloques de plástico reciclado (Escalada, 2019; Halimi et al. 2023). En Ecuador, también se desarrollan diversas investigaciones sobre la caracterización de los bloques sintéticos o ecológicos (Ávila y Núñez, 2022; Núñez et al. 2023) y su factibilidad (Hernández y Molina 2022; Quiñonez 2021). Sobre esto, en particular, en la práctica, cabe destacar que, en Montecristi provincia de Manabí existe una fábrica de bloques de plástico reciclado, impulsando progreso para la zona.

Bajo este contexto, la metodología se basa en el paradigma interpretativo, método cualitativo, a partir del cual se realiza la descripción y revisión documental de los textos, tesis y artículos científicos. Para tal fin se utilizó un metaanálisis desarrollando una matriz que generó el análisis de contenido, con la preminencia de ofrecer una reflexión crítica, cumpliendo con el propósito principal de este estudio, analizar teóricamente la viabilidad de implementar bloques de plástico reciclado en la construcción de viviendas en el Ecuador.

El uso de bloques de plástico reciclado en la construcción de viviendas se presenta como una solución innovadora y sostenible para enfrentar problemas ambientales y sociales. En Ecuador, por los desafíos constantes, del manejo de residuos plásticos y la necesidad de viviendas asequibles, esta tecnología podría ofrecer múltiples beneficios. En función a lo expuesto, la evaluación de la viabilidad de su implementación requiere analizar aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales.

Materiales y Métodos

La investigación está basada en un enfoque metodológico cualitativo dentro del paradigma interpretativo, que se caracteriza por tener una concepción de la realidad compleja, subjetiva y vivencial, la relación sujeto-objeto es subjetivista. La investigación pretende una comprensión holística, no traducible a términos matemáticos, sino poniendo énfasis en la profundidad de la información. De acuerdo a Güereca (2016): “el paradigma interpretativo ya no busca conocer la “realidad”, sino la interpretación que cada sujeto -colectivo e individual- hace de la misma” (pág. 31).

En correspondencia, la investigación según el grado de profundidad tuvo carácter descriptivo. Apunta Palella y Martins (2017), que “el propósito de este nivel es el de interpretar realidades de hecho. Incluye descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de

los fenómenos.” (pág. 92). En razón de lo referido, es significativo porque se buscó caracterizar los bloques de plástico reciclado en la construcción de viviendas en el Ecuador para ser analizados e interpretados teóricamente demostrando la viabilidad de su implementación.

En relación al diseño de la investigación es bibliográfico de tipo documental. “El diseño bibliográfico utiliza los procedimientos lógicos y mentales propios de toda investigación: análisis, síntesis, deducción, inducción, entre otros” (Palella y Martins, 2017 pág. 87). Se fundamenta en la revisión sistemática, rigurosa y profunda de material documental. Esto constituyó el escenario para el sustento de fuentes electrónicas.

En la recolección de datos, se efectuó un metaanálisis para la determinación de los estudios sobre bloques de plástico reciclado en la construcción de viviendas en el Ecuador, con la búsqueda sistematizada bibliográfica teniendo como población los buscadores especializados de datos indexadas: Google Académico, Scielo, Latindex, Redalyc, Science Direct y Repositorio de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. En función a la población, se seleccionó una muestra intencional o por conveniencia, empleando Google Académico y Repositorio de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. La exploración en el descriptor booleano se efectuó con palabras claves que fueron las dos variables. La elección de los artículos científicos y tesis publicadas, se escogió bajo los criterios de inclusión y exclusión.

Los criterios de inclusión (ci):

- ci-1. Fecha de publicación desde 2019 hasta 2024.
- ci-2. Revistas indexadas y tesis de investigación.
- ci-3. En español.

Los criterios de exclusión (ce):

- ce-1. Investigaciones sin acceso al texto completo.
- ce-2. Investigaciones de otros países.
- ce-3 Investigaciones basadas en bloques de arcilla.

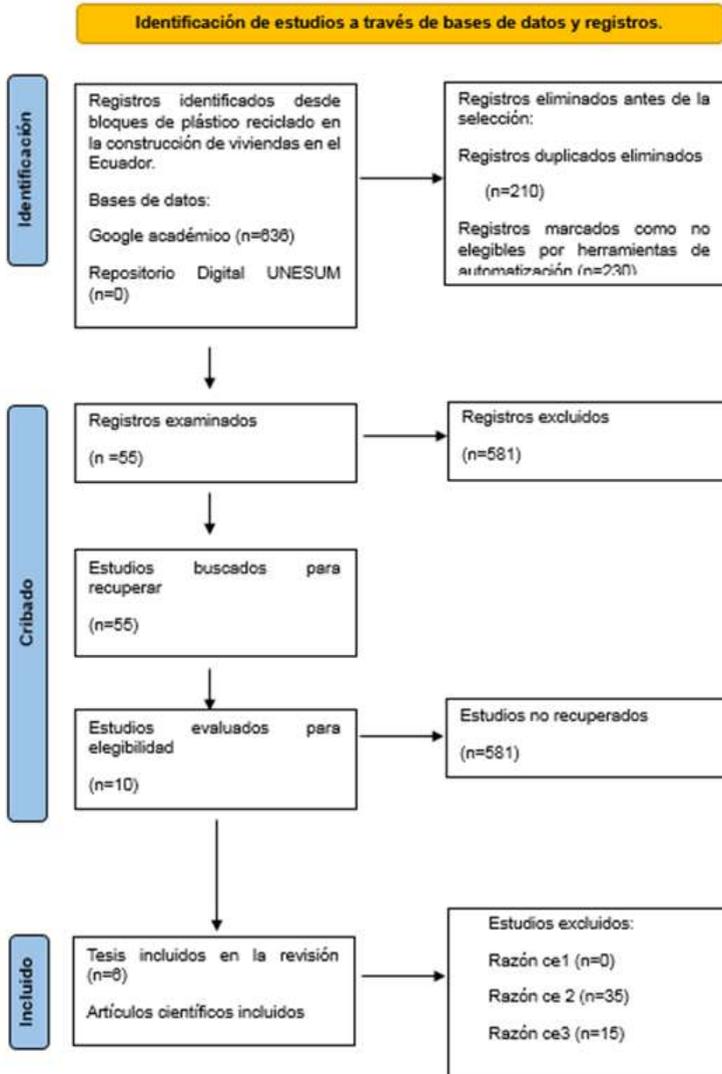
El procesamiento de los datos, se orientó con la técnica de análisis de la información, análisis de contenido, porque es apropiada para el estudio del fenómeno en cuestión, como resultado de los hallazgos de la búsqueda, lectura y documentación.

Resultados y discusión

Seguidamente se muestran los resultados de la indagación.

Figura 7.

Diagrama de flujo del metaanálisis de búsqueda de acuerdo a PRISMA 2020.



Fuente: Zambrano (2024).

Al revisar las bases de datos que fueron buscadores especializados se obtuvieron 636 documentos, por los descartes automatizados, no fueron elegibles 581 estudios debido a que habían duplicados y otros eran resúmenes, informes de seminarios y foros. Por tal razón, quedaron 55 estudios, porque les dan cumplimiento a los criterios de inclusión ci1 ci2 y ci3 (Fecha de publicación desde 2019 hasta 2024, de revistas indexadas y tesis de investigación, y en español). Después se pasaron por los criterios de exclusión, quedando como resultados en el criterio ce1 (Investigaciones sin acceso al texto completo) no hubo resultados, en el ce2 (Investigaciones de otros países) se eliminaron 35 y en el ce3 se eliminaron la mayor cantidad de documentos 15 Investigaciones basadas en el en bloques de arcilla, en cuanto al alcance lo cual no estaría en concordancia con el campo de estudio de este trabajo. Finalmente se incluyeron 10 documentos, 6 tesis y 4 artículos científicos, las cuales se refieren a bloques de plástico reciclado en la construcción de viviendas en el Ecuador.

Con base a estos estudios que arrojó el metaanálisis de búsqueda de acuerdo a PRISMA 2020, se realizó una matriz con la viabilidad de implementar bloques de plástico reciclado en la construcción de viviendas en el Ecuador.

Tabla 3.

Tesis.

Nº	Autores	Año	Título	Principales hallazgos
1	Flores	2019	Ladrillos de plástico reciclado para mampostería no portante.	El PET es un material no tóxico, por lo tanto, no se corre riesgos de que produzca emisiones contaminantes, ya sea en el interior o exterior de una vivienda. La fabricación del ladrillo PET resulta fácil, tomando los debidos cuidados. Al ser un material muy liviano, se reducen las cargas muertas existentes en una construcción, por ende, se produce un ahorro de material por ser muy liviano, resistente y por su porcentaje de absorción de agua, lo convierte en un material apto para la construcción de muros no portantes. De acuerdo a los ensayos realizados, tanto de flexión, absorción de agua y compresión, el resultado obtenido indica que la resistencia es mayor de la que exigen las normas ASTM e ISO aplicadas, por lo tanto, este recurso garantiza su resistencia y durabilidad.

2	Becerra	2022	Diseño ambiental y análisis económico de bloques con agregados de plástico reciclado (Pet), en la ciudad de Cuenca.	Estudió las características del Polietileno Tereftalato (PET) para determinar si el material, podría ser utilizado en la construcción de bloques tipo (B); para ello, se buscó la mejor resistencia frente al ensayo de compresión, siendo esta la dosificación 1:2, a partir de la misma, se elaboraron dieciocho morteros de prueba con los porcentajes del 10, 25, 35, 40, 50 y 65 % del PET triturado en reemplazo del árido. A través de pruebas físico-mecánicas, el 35% de PET triturado resulto la mezcla óptima para la fabricación del bloque ecológico con dimensiones de 20 x 12 x 40 cm, el prototipo adquirió una resistencia de 104,63 kg/cm ² , cumpliendo con la normativa y superando a sus pares constructivos como el bloque de hormigón y pómez.
3	Hernández y Molina	2022	Uso factible del bloque sintético tipo lego para mampostería no estructural de viviendas de interés social en la ciudad de Portoviejo.	Los bloques sintéticos de lego tienen un beneficio en cuanto al tiempo de fabricación que un bloque tradicional ya que solo es plástico con varios procesos comunes como lavado, trituración, fundición y desmolde del bloque; además que el plástico se solidifica rápido en el molde al enfriarse el plástico. Los bloques sintéticos de lego pueden tener un costo de fabricación muy variado ya que hay que recolectar cuatro diferentes tipos de plásticos todo dependerá de las condiciones sociales y económicas del entorno. Los bloques sintéticos de lego pesan aproximadamente 1,101 gramos es que más liviano que un bloque tradicional (bloque de mortero con cemento y arena) que pesa aproximadamente 1.075 gramos en promedio.
4	Quiñonez	2021	Estudio de factibilidad para la fabricación de bloque de hormigón con botella PET como alternativa de construcción para la reducción de impacto ambiental	El bloque de hormigón con PET es de gran utilidad para ahorrar tiempo y costo de dinero, adicional a sus efectos en la reducción del impacto ambiental. El estudio económico registró cifras positivas de acuerdo a los indicadores como el VAN y la TIR. Los resultados del análisis de la Matriz de Leopold determinaron que los procesos y actividades productivas de la fábrica presentan un impacto moderado, es decir, que para que se proceda con la recuperación se necesita un tiempo breve con acciones de mitigación simple.

5	Holguín	2020	Evaluación de prototipo de bloques ecológicos fabricados a partir de plásticos reciclados para la construcción de obras menores.	Se confirma la hipótesis planteada, debido a que se presenta mejoras en la propiedad física – mecánica y de resistencia a la compresión, determinando que el porcentaje de PET óptimo es del 20% ya que la resistencia aumentó en un 68% respecto al bloque convencional, por lo que se cumple con la NTE INEN 3066, 2016. Al analizar los resultados de resistencia a la compresión se obtuvo que el diseño que mayor resistencia se obtuvo fue con un porcentaje de incorporación de PET del 20%, obteniendo una resistencia a la compresión de 5,9 MPa que 77 comparado con la resistencia del bloque convencional 3,5 MPa, existe un incremento de 2,4 MPa correspondiente a un incremento del 68%.
6	Arévalo y Guamán	2019	Evaluación de viabilidad para la comercialización de Ladrillos y Placas Prefabricadas de Polímero Reciclado para la Construcción.	Es un producto innovador que se preocupe por la reparación del daño que ocasionan los desechos plásticos al medio ambiente. También es primordial que los desechos sean aprovechados de una mejor manera. Mediante la aplicación de cálculos se pudo establecer la demanda proyectada en el corto plazo, que fue de más de 260.000 unidades de bloques mensuales, para que el proyecto sea viable.

Tabla 4.

Artículos científicos.

Nº	Autores	Año	Título	Principales hallazgos
1	Sornoza et al.	2022	Materiales alternativos empleados en la construcción de viviendas en Ecuador: una revisión	El eco ladrillo es un elemento de construcción innovador elaborado a partir de la combinación de desechos sólidos del hogar, las botellas plásticas con su tapa, sean de agua o de otras bebidas, debidamente compactadas. Los beneficios de su aplicación implican su facilidad de transporte y almacenamiento, una tecnología fácil y sencilla de reciclaje que usa la energía humana renovable, reduce la contaminación ambiental, es aislante y sismo resistente.
2	Ávila y Núñez	2022	Caracterización de bloques con plástico reciclado mediante ensayos de compresión.	En cuanto a la elaboración de los ensayos mecánicos de compresión estos fueron realizados siguiendo los procedimientos establecidos por la normativa de construcción ecuatoriana NTE INEN 3066, en donde se sometieron 15 probetas, las cuales tenían composiciones diferentes de entre 20%, 40%, 60% y 80% de tereftalato de polietileno (PET). De igual forma se sometieron 3 probetas de bloques tradicionales para realizar las respectivas comparaciones entre los resultados obtenidos a partir de los ensayos de compresión y en cuyos resultados se obtuvo que los bloques con un 40% de PET poseían en promedio un mayor esfuerzo a la compresión.

3	Nuñez et al.	2023	Elaboración y caracterización de un material compuesto con polietileno de tereftalato para la fabricación de bloques	Realizaron ensayos de compresión y flexión para determinar las propiedades mecánicas de las probetas y compararlas con las características especificadas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción y la norma NTE INEN 3066 que determinan los requisitos y métodos de ensayo para bloques de hormigón, también se determinó la inflamabilidad con la muestra al 40 por ciento de plástico reciclado basado en la norma BS EN ISO 11925-2:2010 y por último, se encontró la conductividad térmica del material compuesto, fundamentado en el estándar ISO 8302.
4	Cañar y Delgado	2021	Diseño de proceso productivo para elaborar ladrillos fabricados a partir de la utilización del plástico reciclado "PET"	Es una nueva alternativa económica y sustentable que reemplace la convencional, con la estimación de costos necesarios para la elaboración de este elemento constructivo tiene factibilidad en cuanto al costo unitario, en base a los costos reales directos e indirectos de la producción, donde se obtuvo una excelente relación costo-beneficio.

Discusión

En este apartado se presenta de manera organizada una interpretación de la viabilidad de implementar bloques de plástico reciclado en la construcción de viviendas en el Ecuador, que requiere del análisis de aspectos técnicos, económicos y ambientales, información obtenida de la revisión documental de las fuentes electrónicas, tesis y artículos científicos. Estos hallazgos dieron luces para que surgieran las categorías de análisis, además de concebir una reflexión teórica que representa la evidencia científica de la investigación. Bajo estas circunstancias, se buscó dilucidar la construcción de un saber; para transformarlo en un aporte teórico, propio de la técnica de análisis del contenido previamente mencionada.

Viabilidad técnica

Los ladrillos de plástico reciclado han demostrado ser una opción segura y efectiva para la construcción (Sornoza et al., 2022). Su fabricación implica un proceso relativamente sencillo que incluye la recolección y clasificación de residuos plásticos, seguidos de un proceso de limpieza y triturado. Según Hernández y Molina (2022), “los plásticos con varios procesos comunes como lavado, trituración, fundición y desmolde del bloque; además que el plástico se solidifica rápido en el molde al enfriarse el plástico” (p.85). En este proceso el material triturado se mezcla con una pequeña cantidad de cemento y agua, se moldea en forma de ladrillo y se seca al sol.

Por otro lado, los bloques que contienen entre 20% y 40% de PET cumpliendo con la normativa de construcción ecuatoriana NTE INEN 3066 (Holguín 2020; Sornoza et al., 2022; Ávila y Núñez, 2022; Nuñez et al. 2023). Los

bloques sintéticos de lego son más livianos que un bloque tradicional (Hernández y Molina, 2022). De acuerdo a Flores (2019) la flexión, absorción de agua y compresión, obtenida de sus ensayos muestra que “la resistencia es mayor de la que exigen las normas ASTM e ISO aplicadas, por lo tanto, este recurso garantiza su resistencia y durabilidad” (pág.46).

Igualmente hay que subrayar lo que menciona Sornoza et al. (2022), los bloques de plástico reciclado son aislantes y sismo resistentes. Al respecto, es de indicar que las propiedades de aislamiento térmico y acústico son superiores a los materiales tradicionales, lo cual es beneficioso en climas diversos como los de Ecuador.

Viabilidad económica

Los estudios han indicado que la producción de estos bloques reciclados es más económica y menos compleja en comparación con los ladrillos tradicionales de arcilla o cemento (Quiñonez, 2021; Cañar y Delgado, 2021). Esta realidad permite que pequeñas y medianas empresas participen en su fabricación, promoviendo la economía circular, al reducir la cantidad de residuos plásticos y generando empleo en la industria del reciclaje y la construcción, en comunidades vulnerables como es el caso que existe en el cantón Montecristi. Aunado a lo expuesto, se proporciona accesibilidad para las comunidades de bajos ingresos, asegurando que las viviendas construidas con estos bloques sean asequibles.

Viabilidad ambiental

El uso de bloques de plástico reciclado contribuye significativamente a la reducción de residuos plásticos en el medio ambiente (Arévalo y Guamán, 2019) lo que conlleva a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero. En este sentido, asevera Flores (2019) “El PET es un material no tóxico, por lo tanto, no se corre riesgos de que produzca emisiones contaminantes” (p.41). Al mismo tiempo, estos ladrillos son más ligeros y resistentes que los tradicionales, lo que facilita su transporte y manejo en obras.

Referido al impacto ecológico, la fabricación de bloques de plástico reciclado tiene una menor huella de carbono comparada con la producción de materiales de construcción tradicionales. En cuanto a la sostenibilidad, promover el uso de materiales reciclados ayuda a preservar los recursos naturales y fomenta prácticas de construcción sostenible.

Conclusiones

- En la investigación se detectaron 636 estudios sobre sobre bloques de plástico reciclado en la construcción de viviendas en el Ecuador. Sin embargo, a pesar de ser una temática ampliamente tratada, en la revisión detallada específicamente del país, que cumplieran los criterios definidos solo se encontraron 10 publicaciones.
- La implementación de bloques de plástico reciclado en la construcción de viviendas en Ecuador no solo es viable desde un punto de vista técnico y económico, sino que también ofrece beneficios ambientales significativos. La creciente aceptación de estas prácticas en diversas regiones sugiere un futuro prometedor para su uso en la construcción sostenible.
- La producción local de bloques de plástico reciclado puede contribuir a la reducción del déficit habitacional en Ecuador, ofreciendo soluciones de vivienda asequible y de calidad.
- El país actualmente no se cuenta con normativas y regulaciones que respalden el uso de materiales reciclados para el sector de la construcción, por lo tanto, hay que asegurar que los bloques de plástico reciclado cumplan con las normativas de construcción.

Referencias Bibliográficas

- Arévalo, G. y Guamán, F. (2019). *Evaluación de viabilidad para la comercialización de ladrillos y placas prefabricadas de polímero reciclado para la construcción*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral].
- Ávila, K. y Núñez, L. (2022). Caracterización de bloques con plástico reciclado mediante ensayos de compresión. *Boletín Científico Ideas Y Voces*, 2(2), 44-62. <https://ciciap.org/ideasvoces/index.php/BCIV/article/view/19>
- Bedón, L. y Flores, R. (2021). *Diseño de una vivienda unifamiliar utilizando plástico reciclado, en la tablada en el Distrito de Villa María del Triunfo*. [Tesis de titulación, Universidad Ricardo Palma]. https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/4788/T030_71897993_T%20%20FLORES%20QUISPE%20REYSER%20LEDVIR.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cañar, R., y Delgado, A. (2021). *Diseño de proceso productivo para elaborar ladrillos fabricados a partir de la utilización del plástico reciclado "PET"*.

[Tesis de grado, Universidad Estatal de Milagro. <https://repositorio.une-mi.edu.ec/bitstream/123456789/5556/1/Ca%c3%b1ar%20Guevara%20Ronald%20Steven.pdf>

Coronel y Dueñas, (2020). *Evaluación de las propiedades de ladrillo de concreto con la sustitución parcial de la arena por plástico reciclado PET*. [Tesis de maestría, Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/59834/Coronel_COJ-Due%c3%b1as_AJE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Escalada, M. (2019). *Estudio y viabilidad del ECO Ladrillo con molienda de botellas de PET reciclado para la construcción de viviendas sustentables: Estudios de casos en la Ciudad de Resistencia-Chaco*. Universidad Nacional del Nordeste. Tesis de especialista]. https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/53047/RIUNNE_FING_TE_Escalada_MO.pdf?isAllowed=y&sequence=1

Flores, R. (2019). *Ladrillos de plástico reciclado para mampostería no portante*. [Trabajo de titulación, Universidad Católica de Cuenca].

Güereca, R. (2016). *Guía para la investigación cualitativa: etnografía, estudio de casos e historia de vida*. Universidad Autónoma Metropolitana. México.

Halimi, S., Martínez, Oga, L. y Filippín, C. (2023). ¿Utopía o realidad? Factibilidad de un proyecto de vivienda multifamiliar con materiales reciclados en el centro de Argentina. *Revista180*, (51), 41-55. [https://dx.doi.org/10.32995/rev180.num-51.\(2022\)](https://dx.doi.org/10.32995/rev180.num-51.(2022)).

Hernández, A., y Molina D. (2022). *Uso factible del bloque sintético tipo lego para mampostería no estructural de viviendas de interés social en la ciudad de Portoviejo*. [Tesis de pregrado, Universidad San Gregorio de Portoviejo]. <http://repositorio.sangregorio.edu.ec/bitstream/123456789>

Holguín, L. (2020). *Evaluación de prototipo de bloques ecológicos fabricados a partir de plásticos reciclados para la construcción de obras menores*. [Trabajo de titulación, Universidad Agraria del Ecuador.]. [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/HOLGUIN%20AVILA%20LUIS%20EDUARDO_compressed\(1\).pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/HOLGUIN%20AVILA%20LUIS%20EDUARDO_compressed(1).pdf)

Núñez, P., Palacios, F., Taranto, E. y Armijo, S. (2023). Elaboración y caracterización de un material compuesto con polietileno de tereftalato para la fabricación de bloques. *Perfiles*, 1(29), 52-62. <https://doi.org/10.47187/perf.v1i29.206>

Organización de Naciones Unidas. (ONU, 2024). *Cómo reducir el impacto de los plásticos de un solo uso*. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/como-reducir-el-impacto-de-los-plasticos-de-un-solo-uso#:~:text=Cuando%20los%20consumidores%20no%20pueden,se%20pueden%20reutilizar%20o%20redestinar.>

Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 372(71), 1-22. Doi: 10.1136/bmj.n71

Palella, S. y Martins, F. (2017). *Investigación cuantitativa*. (4ª edición). Caracas: FEDUPEL.

Piñeros y Herrera (2018). Proyecto de factibilidad económica para la fabricación de bloques con agregados de plástico reciclado (PET), aplicados en la construcción de vivienda.

Quiñonez, K. (2021). *Estudio de factibilidad para la fabricación de bloque de hormigón con PET como alternativa de construcción para la reducción de impacto ambiental*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2c413ef8-ab2c-4218-86fa-4ed0a8a9b082/content>

Sornoza, J., Caballero, B. Vélez, J. y Zambrano, R. (2022). Materiales alternativos empleados en la construcción de viviendas en Ecuador: una revisión. *Pol. Con.* 69(7), 1072-1097. DOI: 10.23857/pc.v7i4.3875

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 5

Reforzamiento mediante polímeros
reforzados con fibras (FRP) en vigas
de hormigón armado

AUTORES: Haminthon Alexander Carreño Rosado; Byron Manuel Mendoza Delgado; Hugo Enrique Castro Parrales; Flery Jasmina Moncayo García



SABEREC 5.0

Reforzamiento mediante polímeros reforzados con fibras (FRP) en vigas de hormigón armado

Fiber-reinforced polymer (FRP) reinforcement of reinforced concrete beams

Resumen

En sus variadas formas y configuraciones los sistemas FRP ofrecen una alternativa de diseño aprovechable para la construcción de nuevas estructuras y la rehabilitación de estructuras existentes. Sin embargo, a pesar de la gran cantidad de investigación en cuanto al desempeño y cualidades de los materiales FRP, aún existen grandes incertidumbres concernientes a las posibles fallas prematuras debido al desligamiento de las fibras FRP externamente fijadas. El presente trabajo trata de presentar un comprensivo aprovechamiento hacia el conocimiento del comportamiento flexional de estructuras de hormigón reforzadas con fibras FRP. Este estudio realiza una comparación de varias configuraciones de reforzamiento con FRP y desarrolla criterios que pueden ser utilizados en futuras aplicaciones al momento de escoger una configuración dada. Pautas de diseño basadas en criterios del ACI con referencia al uso de FRP en aplicaciones de reparación, son provistas durante el desarrollo de esta tesis. Una investigación conformada de dos etapas fue conducida para examinar el comportamiento de estructuras reforzadas con varios sistemas FRP, la investigación fue diseñada para asegurar la utilización completa de los esquemas de reforzamiento y prevenir la falla prematura de los sistemas reparados. Un total de quince modelos a pequeña escala de vigas típicas de hormigón reforzado fueron construidos y probadas en la primera fase de la investigación, para caracterizar los mecanismos de transferencia entre el concreto y el FRP. Durante la segunda fase de la investigación fue evaluado el comportamiento de las láminas externamente fijadas a través de pruebas a cuatro diferentes grupos de configuraciones de reforzamiento.

Palabras Claves: reforzamiento, Fibras – FRP - Hormigón

Abstract

In its several forms and configurations FRP systems provide an useful design choice towards construction of new structures and existing structures refurbishing. However even though greater amount of research about FRP performance and features, still exists Deep uncertainty concerns to possible premature failure as a result of externally bond FRP delamination. Present work tries to show a comprehensive approach towards understanding the flexural behaviour of FRP strenghtened concrete structures. This study makes a comparison among various strengthening configurations and develops criteria that could

be used in future applications at time to choice a specific configuration. Design guidelines based on ACI criterio regarding the use of FRP in retrofitting applications are provided through this tesis development. A two-steps program was conducted to examine the performance of concrete structures strengthened with various FRP systems, program was designed to ensure full use of strengthening schemes and avoid premature failure of the retrofitted system. A total of 15 small-scale models of typical reinforced concrete beams were builded and tested in the first step of research to characterize the load mechanisms between FRP and concrete. During second step of research was evaluated the externally bonded FRP laminate performance through test to four different groups of strengthening configurations.

Keywords: reinforcement, Fibers - FRP – Concrete.

Introducción

Una estructura de hormigón armado se proyecta y construye para soportar una serie de acciones de distintas características y magnitudes durante su vida útil dentro de unas condiciones aceptables de servicio, sin embargo, pueden existir cambios durante la concepción, la ejecución o incluso durante la vida útil de la estructura, que afecten negativamente a la capacidad resistente de la misma y puedan llevarla hasta el colapso. La necesidad de reparación y reforzamiento de las obras civiles deterioradas ha llegado a ser un importante desafío afrontado por las industrias a nivel mundial, en algunos casos el reforzamiento y reparación son necesarios para solventar errores humanos en la etapa de diseño o resolver fallas de ejecución durante la construcción.

Varias técnicas de reforzamiento han sido desarrolladas para satisfacer el incremento de la capacidad de carga o cumplir un cambio en la servicialidad de la estructura, los sistemas FRP ofrecen a los diseñadores una excelente combinación de propiedades no disponible en otros materiales, que hacen de los FRP ideales para las aplicaciones de reforzamiento y representan una solución potencial para la crisis de la infraestructura civil. Es importante destacar que dependiendo de la orientación del tejido este puede ser más fuerte en una dirección determinada o igualmente fuerte en todas las direcciones, de ahí la importancia en la elección del número y orientación de las fibras que forma el tejido para obtener la aplicación (Pedraza Rosas, Meza, & Andres, 2022).

En este trabajo se presenta un análisis experimental del reforzamiento de vigas con fibra de carbono, en donde se evidencia la capacidad de resistencia ante las solicitaciones de cargas que presenta el elemento con la adición

del refuerzo. La investigación de reforzamiento de vigas con material compuesto, tiene como interés comprobar la eficacia que este método de reforzamiento aporta en la reparación de elementos a flexión, a su vez se manifiesta la importancia que tiene la dirección de aplicación del tejido en la absorción de esfuerzos.

Materiales y Métodos

Metodología de la investigación

El presente proyecto es de tipo experimental y descriptiva, previa la definición de las secciones de los elementos vigas; luego se procederá a la realización del diseño del hormigón, posterior fundición de las muestras y ulterior reforzamiento.

Método de Investigación. - Se inicia la ejecución del proyecto mediante la previa adquisición de los conocimientos existentes con respecto a los sistemas en estudio, por medio de la lectura y análisis crítico del material literario.

Método Experimental. - Se elaborarán diferentes ensayos en vigas armadas sin refuerzo y vigas reforzadas con fibras de carbono, cuyo fin será obtener datos que permitan revelar el comportamiento que presenta el elemento sometido a flexión a ensayar con el material de refuerzo.

Método Deductivo. - En base a los fundamentos científicos se procederá a la obtención de varias conclusiones que servirán de eje principal para la culminación del proyecto.

Materiales utilizados

Hormigón y acero: El hormigón utilizado para la elaboración de las vigas, se diseña para obtener una resistencia de 250Kg/cm. Se determina las características mecánicas del hormigón mediante los ensayos a compresión sobre las probetas cilíndricas de 300 mm x 150 mm. Para las armaduras principales se usa varillas de acero de 8 cm y como estribos varillas de acero de 6 cm de diámetro.

Sistema de refuerzo con FRP: La fibra de carbono empleada para el reforzamiento exterior de los especímenes corresponde a la fibra comercial SikaWrap 600C, adherida a la superficie del hormigón mediante la formulación de la solución comercial epoxídica Sikadur 300C.

Resultados

Resultado de ensayo

Propiedades del material FRP compuesto

En el presente capítulo se desarrolla la fase experimental de la investigación, cuyo contenido recopila métodos, observaciones y resultados logrados al reforzar vigas modelos de hormigón con laminados de fibra de carbono Sikawrap 600C, además se especifican equipos y medios empleados en los ensayos, para transferir los esfuerzos a la viga, (prensa, gato, entre otros).

Para el reforzamiento se usó el tejido unidireccional de carbono Sikawrap 600C, combinado en campo con la resina Sikadur 301 sobre la superficie del elemento que se va a reforzar, las principales características de los materiales primos, así como el compuesto son las siguientes:

Propiedades de la fibra

Resistencia a la tensión	620.000 Psi (4.300)
Módulo de elasticidad	34.9 Psi (240.000)
Elongación	1.55%
Densidad	1.81. g/cc
Espesor	0.337 mm (0.0133 pulgadas)

Propiedades de la lámina curada

Resistencia a la tensión	139.000 Psi (960)
Módulo de elasticidad	10.6 Psi (73100)
Elongación	1.33 %
Espesor	1.0 mm
Dirección de la fibra	0° unidireccional

Propiedades del epóxico Sikadur 301

Relación de la mezcla:	A:B = 3:1 en volumen
Vida en el recipiente:	40 minutos (masa de 1 galón)
Tiempo de contacto:	90 minutos
Temperatura de deflexión (HDT):	47°

Las propiedades de los sistemas de refuerzo son proporcionadas por el fabricante, es importante distinguir si las propiedades a ser utilizadas corresponden a la fibra de carbono o al sistema compuesto, es decir la fibra en estado húmedo o saturado con el epóxico.

Geometría de las vigas

Se elaboraron especímenes de hormigón armado con sección de 15 cm de ancho por 15 cm de altura y 60 cm de longitud, armados con 2 varillas de 8 cm de diámetro en sentido longitudinal y tres vinchas de 6 cm de diámetro, que servirán de elementos de ensayo y que luego serán rehabilitadas con la fibra de carbono; se diseñó la mezcla de concreto para obtener la resistencia a compresión del hormigón $f'c = 250$

Figura 8.

Esquema colocación de varillas en las vigas de concreto.

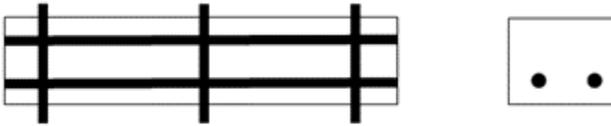


Tabla 5.

Composición de la mezcla de concreto para un volumen de 310 [(dm)]³.

Componentes	Cantidad (Kg)
Cemento Portland ordinario	105
Arena	197
Grava	287
Agua	59.3

Se realizaron ensayos a compresión de cilindros probeta a fin de comprobar la resistencia del concreto utilizado en la elaboración de las vigas, se utilizaron dos probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura, las cuales se prepararon y curaron según prescriben las normas ASTM.

Tabla 6.

Resistencia a la compresión de la formulación desarrollada con el diseño de 250 [kg/cm]².

Nº Cilindro	Días	Carga máxima registrada Kgf	Resistencia a la compresión	Variación porcentual
1	7	28729.51	162.58	65%
2	7	27450.13	155.34	62%
3	14	40210.36	227.55	91%
4	14	38994.6	220.67	88%

Las vigas fueron descimbradas a las 24 horas del colado y posteriormente se siguió el proceso de curado, las roturas de los cilindros se las realizaron a los 7 y 14 días, resultando un hormigón con características permisibles al diseñado.

Figura 9.

Ensayos de las probetas.



Descripción de ensayos en vigas

Los ensayos de las vigas se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales perteneciente a Sika Durán, donde se contó con la colaboración de personal de planta calificado en la consecución del proceso de investigación, es necesario acotar que este ensayo comúnmente se aplica a vigas de concreto sin acero de refuerzo, sin embargo, para añadir naturalismo a los ensayos y observar el agrietamiento por cortante y flexión en elementos reales, se determinó elaborar las vigas con acero de refuerzo, luego de lo cual se procedió a la fisuración de las mismas aplicando un porcentaje de carga hasta la aparición de las grietas en el elemento.

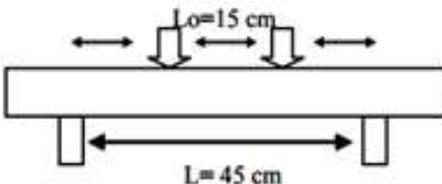
Prensa hidráulica

El equipo utilizado fue la prensa Ele Accutek con capacidad de carga máxima de 2000 KN, empleada para realizar ensayos de tracción y compresión a elementos elaborados a escalas, la función básica de la misma es comprobar la resistencia de los diferentes tipos de materiales y obtener sus propiedades mecánicas como: Módulo de elasticidad, esfuerzo de fluencia, capacidad de resistencia a la carga.

La prensa cuenta con accesorios de ensayo a flexión de cambio rápido y rodillos ajustables, lo que permite realizar configuraciones de punto de carga en el punto central o en dos puntos sobre la viga, para la determinación del módulo de rotura; los rodillos de carga ajustable admiten realizar pruebas con muestras de longitudes desde 305 mm. (12 pulg.) hasta 760 mm. (30 pulg.), cumpliendo con las especificaciones ASTM y AASHTO.

Figura 10.

Esquema de aplicación de las cargas que se sobre los especímenes a ensaya.



Calibrador

Durante los ensayos se utilizó también un calibrador, instrumento encargado de exteriorizar con bastante exactitud las medidas de las deflexiones que el espécimen experimenta al testear los elementos en la prensa, una vez

surgidos los esfuerzos internos de carga sobre las vigas se procede a su lectura en periodos de tiempo. El calibrador utilizado en los ensayos corresponde al vernier pie de rey Mitutoyo con carátula (reloj), tornillos de fijación incorporados como parte de sus características físicas, y reloj para una mejor precisión de toma de lecturas en milímetros. La resolución del instrumento es 0.02 mm. que corresponden a una vuelta de la carátula, la exactitud del calibrador se debe principalmente a la graduación de sus escalas, el diseño de la guía del cursor, el paralelismo y perpendicular de sus palpadores.

Figura 11.

Calibrador, instrumento empleado para medir las deflexiones presentes en las vigas de ensayo.



Comportamiento a la falla en vigas sin reforzar

Las vigas se ensayaron con una carga central repartida en dos puntos de aplicación de carga sobre la viga como lo describe la imagen, a una velocidad de incremento de carga de 0.45 KN/sg y sostenimiento de carga cada 5 KN.

Figura 12.

Viga N° 1 y Viga N° 2 ensayadas antes de reforzar.



Figura 13.

Viga N° 3 y Viga N° 4 ensayadas antes de reforzar.



Figura 14.

Viga N° 5 y Viga N° 6 ensayada antes de reforzar.



Figura 15.

Viga N° 7 y Viga N° 8 ensayada antes de reforzar.



Con estos ensayos realizados se procedió a reforzar las vigas definiendo cuatro casos de estudio experimental, tres vigas para cada uno de los tipos de refuerzo, para proceder a realizar una comparativa de los resultados.

- Reforzamiento en U al corte, CFRP fijado transversalmente.
- Reforzamiento en U al corte, CFRP fijado longitudinalmente.
- Reforzamiento inferior a flexión, CFRP fijado transversalmente.
- Reforzamiento inferior a flexión, CFRP fijado longitudinalmente.

Figura 16.

Representación esquemática de la colocación del refuerzo externo en U, en la viga de concreto.

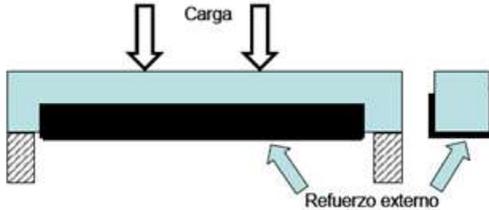
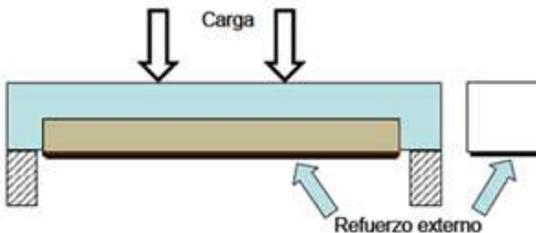


Figura 17.

Representación esquemática de la colocación del refuerzo externo inferior, en la viga de concreto.



La orientación del tejido otorga al elemento características mecánicas distintas según estén alineadas o no con la aplicación de los esfuerzos, las fibras ofrecen sus mejores propiedades cuando se orientan en la dirección de las tensiones, por lo tanto se observará el comportamiento que tiene la viga de acuerdo a la orientación del tejido, el aumento en porcentaje de la capacidad a flexión y a corte en cada tipo de refuerzo, comportamiento dúctil del elemento, modos de falla, diagramas de carga desplazamiento, a fin de analizar el comportamiento de manera individual mediante los diferentes tipos de refuerzo hechos en las vigas (Correa Duarte, 2017).

Metodología de aplicación del refuerzo

Para el ensayo de las vigas reforzadas calculamos la longitud teórica de desarrollo de la fibra de refuerzo, para lo cual utilizamos la fórmula 1.31 y obtenemos el valor:

$$l_{df} = \sqrt{\frac{nt_f E_f}{\sqrt{f'c}}} = \sqrt{\frac{1 * 1mm * 73100MPa}{\sqrt{25MPa}}} = 120.91mm$$

Se procedió a tomar las medidas de la cantidad de fibra a ser utilizada, de acuerdo a la tipología de reforzamiento establecido (flexión y corte). Los materiales empleados en el proceso de corte del tejido fueron, flexómetro para determinar la longitud del material y tijera con filo para evitar restar resistencia o deshilar la fibra.

Figura 18.

Componentes A y B del epóxico y mezcla homogénea final al combinar los componentes.



Se procede a rellenar las fisuras existentes en la viga con el epóxico ayudándose en la aplicación con una brocha fina, esto lo realizamos a fin de proporcionar una superficie continua del elemento a la fibra imprimada.

Figura 19.

Sellado de fisuras existentes en la viga con el epóxico Sikadur 301.



Luego se procede a recubrir la superficie del elemento con la misma mezcla de epóxico a fin de proporcionar un sustrato firme y sellado para la fibra, durante el proceso es necesario el uso de guantes, ropa protectora y bastante ventilación, puesto que el epóxico es volátil y de olor y tacto bastante agresivo.

Figura 20.

Recubrimiento de la superficie de la viga con en el epóxico.



Aplicada esta primera capa de epóxico se coloca la fibra curada y húmeda sobre el sustrato seco de epóxico aplicado en la viga y se sujeta firmemente la fibra por medios mecánicos al elemento para evitar que se suelte antes de secar.

Figura 21.

Detalle de recubrimiento inferior de las vigas reforzadas en forma transversal y en forma longitudinal.



Figura 22.

Detalle de recubrimiento en U de las vigas reforzadas en forma transversal y en forma longitudinal.



El tejido saturado con el epóxico e imprimado en la superficie de los especímenes de hormigón, se mantuvo en fraguado durante una semana, tiem-

po necesario para consecutivamente realizar los ensayos y determinar los resultados de desempeño del material en las vigas. Para ello fue necesario mantener los elementos protegidos de efectos negativos de lluvia y de altas temperatura solar.

Metodología de ensayo de las vigas

La metodología aplicada a las vigas reforzadas similar a la utilizada en las vigas originales, se coloca cada viga en la prensa con la configuración de carga en dos puntos sobre la viga tal como se muestra, las vigas reforzadas a flexión en la parte inferior de la viga presentaron diferentes fallas según fue la orientación dada a la fibra.

Figura 23.

Aplicación de la carga a viga reforzada en cara inferior con fibra orientada perpendicular a la fisura.



Las vigas con refuerzo longitudinal exhibieron las fallas típicas por desprendimiento de la fibra o el sustrato al momento de alcanzar las resistencias límites, arrancando incluso parte del concreto subyacente a la zona de desprendimiento como se puede apreciar.

Figura 24.

Vista de fisuras por delaminación de la fibra en un extremo de la viga reforzada en U.



Las vigas con refuerzo paralelo al plano de falla presentaron fallas tempranas por apertura de la fibra sobre la grieta generada, con tensiones mucho menores y rotura del epóxico, el ensayo agrandó las fisuras ya presentes puesto que la orientación del tejido no fue la correcta en este caso; sin embargo, se aprecia un ligero aumento en la resistencia de la viga producto del trabajo conjunto del tejido y el epóxico.

Figura 25.

Vista y detalle de las fisuras generadas de viga ensayada con reforzamiento transversal.



Figura 26.

Vista y detalle de falla del tejido de viga con reforzada con fibra orientada en forma incorrecta.



La Tabla 7 muestra la variación en los valores medios observados en las vigas al ser ensayada antes de ser reforzadas y después del refuerzo. En la misma se pone en evidencia un incremento considerable en recuperación de la capacidad de carga de acuerdo al tipo de refuerzo realizado en el espécimen, y consecuentemente un incremento en la tensión y flecha máxima.

Tabla 7.

Variación de valores medios en los ensayos de las vigas antes y después de ser reforzadas.

Variación de valores medios observados En los ensayos de las vigas antes de ser Reforzadas y después de la colocación del Frp				Tipología del refuerzo
Vigas	Valores promedios			
	Carga Máxima	Tensión	Flecha	
Vigas sin refuerzo	33.8	4.366	4	Inferior Flexión, CFRP perpendicular a fisura
Vigas reforzadas	92.20	12.29	8	
Variación	173%	181.5%	100%	
Vigas sin refuerzo	32.4	4.30	3.63	Inferior Flexión, CFRP perpendicular a fisura
Vigas reforzadas	84.35	11.25	7.6	
Variación	160%	162%	109%	
Vigas sin refuerzo	35.5	4.73	4	U Corte, CFRP perpendicular a fisura
Vigas reforzadas	118	15.79	8.6	
Variación	232%	234%	115%	
Vigas sin refuerzo	35.6	4.75	4	U Corte, CFRP paralelo a fisura
Vigas reforzadas	65.10	8.68	6.67	
Variación	82.9%	83%	66.75%	

En la tabla 8 se muestra los resultados obtenidos en las vigas ensayadas antes y después de ser reparadas con la fibra de carbono

Tabla 8.

Resultados en las vigas ensayadas antes y después de ser reparadas con la fibra de carbono.

Resultados obtenidos en las vigas ensayadas antes y después de ser reparadas con la fibra de carbono						
Vigas sin refuerzo			Vigas reforzadas			
Carga Máxima	Tensión	Flecha	Carga Máxima	Tensión	Flecha	Tipología del refuerzo
35.9	4.785	4.2	91.3	12.17	8	Inferior Flexión, CFRP perpendicular a fisura
31.2	4.157	3.7	88.350	11.778	7.6	Inferior Flexión, CFRP perpendicular a fisura
34.3	4.571	4.1	96.945	12.923	8.4	Inferior Flexión, CFRP perpendicular a fisura
33.2	4.424	3.7	81.6	10.88	7.4	Inferior Flexión, CFRP paralelo a fisura

Conclusiones

- Todos los modos de falla del reforzamiento con materiales FRP son frágiles e incluyen una posible separación del FRP del sustrato de hormigón (delaminación) dependiendo de la resistencia del concreto utilizado, el área de FRP utilizada y el anclaje proporcionado al laminado externo.
- Los especímenes ensayados presentan las fallas típicas asociadas al reforzamiento con materiales FRP, fallas prematuras por la delaminación del material de refuerzo con desprendimiento del recubrimiento del concreto o descosido de la fibra en el caso de una mala orientación del FRP, no se presentaron fallas por rotura del FRP.
- Se comprobó la restitución de la capacidad de carga que el reforzamiento con la fibra de carbono proporciona a las vigas, aumentando en gran medida esta propiedad conjuntamente con la deflexión de la viga antes de presentar daño apreciable en el elemento y considerárase incapaz de seguir soportando carga.
- Las configuraciones de reforzamiento de las vigas estudiadas: a flexión-corte con CFRP perpendicular a la fibra, a flexión-corte con CFRP paralelo a la fibra, a flexión con CFRP perpendicular a la fibra,

a flexión con CFRP paralelo a la fibra, presentaron sin excepción un aumento de la capacidad de resistencia y de la flexibilidad en los elementos reparados.

- La configuración a flexión-corte con CFRP paralelo a las fisuras demostró el menor de los aumentos en la capacidad de resistencia de las vigas que las demás configuraciones a pesar del confinamiento en las tres caras.
- La configuración a flexión-corte con CFRP perpendicular a las fisuras demostró el mayor de los aumentos en la capacidad de resistencia de las vigas que las demás configuraciones, debido no solo al confinamiento en las tres caras sino también a la orientación del tejido, lo cual demuestra que la orientación de las fibras es de especial relevancia a la hora de contribuir en la restitución de las propiedades de la viga fisurada.
- La reparación de las vigas con el material compuesto luego de ser debilitadas permitió volver a hacer uso de los especímenes, lo cual demuestra que la utilización del FRP resulta una alternativa realmente útil y comparativamente más económica para la recuperación de la operatividad de estructuras que opciones como el deshuso o la demolición de las mismas, o incluso el uso de otras formas de refuerzo.
- La longitud de desarrollo de la fibra utilizada fue mayor (el doble) que la calculada, de tal forma que la lámina se extendió por toda la cara inferior de la viga, permitiendo una mayor área de fijación de la fibra y por tanto aumentando la capacidad tensil de la fibra.
- La fibra FRP tiene un costo poco práctico en la utilización para reforzamiento de pequeñas estructuras especialmente si se trata de usos habitacionales, por tanto, es ventajoso el uso de otros sistemas de reforzamiento tradicionales para estos casos.
- La cantidad de información referente a los FRP si bien es apreciable deja muchas incertidumbres especialmente referentes a su utilización en elementos a cortante, dado que las formulaciones y metodología de diseño son adaptaciones de las utilizadas en otros tipos de reforzamiento especialmente en el uso de acero

Referencias Bibliográficas

- Correa Duarte, N. A. (2017). Comportamiento ante cargas cíclicas del reforzamiento de uniones viga-columna de concreto reforzado construidas antes del código de 1984 utilizando CFRP. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Pedraza Rosas, A. L., Meza, T., & Andres, S. (2022). Estudio del comportamiento mecánico a tensión de un material compuesto con matriz polimérica de resina epoxi reforzado con fibras de carbono de alta resistencia con un tejido cuatriaxial. Universidad Industrial de Santander. Obtenido de <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/d0ea2568-9b2e-46e5-9c74-62370778286b/content>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 6

La eficiencia y sostenibilidad en
rellenos sanitarios para avances en
infraestructuras físicas. una revisión de
la literatura

AUTORES: Gladys Elena Garay Ríofrío; José Eduardo Cornejo López; Byron Manuel Mendoza
Delgado; Víctor Alejandro Lino Calle



SABEREC 5.0

La eficiencia y sostenibilidad en rellenos sanitarios para avances en infraestructuras físicas. una revisión de la literatura

Efficiency and sustainability in landfills for advances in physical infrastructures. in physical infrastructures. a review of the literature

Resumen

En las áreas urbanas, los rellenos sanitarios desempeñan un papel primordial en la gestión de residuos sólidos. Con el aumento de las poblaciones en las ciudades, la cantidad de residuos generados también crece, presentando desafíos significativos para la sostenibilidad ambiental y la eficiencia operativa de estos sitios. Gestionar eficazmente los rellenos sanitarios es fundamental para mitigar los impactos ambientales negativos, como las emisiones de gases de efecto invernadero, la contaminación del suelo y del agua. El objetivo de este trabajo es analizar las prácticas y tecnologías actuales utilizadas en la gestión de rellenos sanitarios que contribuyen a la eficiencia y sostenibilidad. La revisión se basa en una recopilación de estudios académicos, informes técnicos y artículos de conferencias que abordan temas relacionados con la eficiencia y sostenibilidad en rellenos sanitarios. Se utilizaron bases de datos académicas como Scopus, ScienceDirect, Web of Science y Google Scholar para identificar publicaciones relevantes. Los estudios seleccionados fueron analizados en términos de las tecnologías y prácticas propuestas, sus impactos ambientales, operativos y las recomendaciones para su implementación. La implementación de tecnologías avanzadas en rellenos sanitarios, como la recogida de biogás, gestión de lixiviados, reciclaje de materiales, compactación y cobertura, y sistemas de monitorización en tiempo real, ha mejorado significativamente la eficiencia operativa, reduciendo la contaminación y prolongado la vida útil de estos sitios. Se concluye que la adopción de tecnologías avanzadas, así como también las prácticas eficientes en los rellenos sanitarios son importantes para mejorar la gestión operativa y reducir los impactos ambientales.

Palabras clave: Eficiencia, infraestructura física, residuos sólidos. relleno, sostenibilidad.

Abstract

In urban areas, landfills play a key role in solid waste management. With increasing populations in cities, the amount of waste generated is also growing, presenting significant challenges to the environmental sustainability and operational efficiency of these sites. Effectively managing landfills is critical to mitigate negative environmental impacts, such as greenhouse gas emissions,

soil and water contamination. The objective of this paper is to analyze current practices and technologies used in landfill management that contribute to efficiency and sustainability. The review is based on a compilation of academic studies, technical reports and conference papers that address issues related to landfill efficiency and sustainability. Academic databases such as Scopus, ScienceDirect, Web of Science and Google Scholar were used to identify relevant publications. The selected studies were analyzed in terms of the proposed technologies and practices, their environmental and operational impacts, and recommendations for implementation. The implementation of advanced technologies in landfills, such as biogas collection, leachate management, material recycling, compaction and capping, and real-time monitoring systems, has significantly improved operational efficiency, reduced pollution and prolonged the useful life of these sites. It is concluded that the adoption of advanced technologies as well as efficient landfill practices are important to improve operational management and reduce environmental impacts.

Keywords: Efficiency, physical infrastructure, solid waste. filling, sustainability.

Introducción

La gestión de residuos sólidos es un desafío creciente en el contexto de la infraestructura urbana, donde la eficiencia y sostenibilidad de los rellenos sanitarios son fundamentales. Los avances tecnológicos recientes han permitido desarrollar sistemas de monitoreo que optimizan la operación de estos sitios, minimizando los impactos ambientales. Esta revisión de la literatura se centra en las innovaciones tecnológicas y las prácticas sostenibles implementadas en la gestión de rellenos sanitarios, destacando su importancia para mejorar la eficiencia operativa y mitigar riesgos ambientales.

La recolección y manejo de residuos sólidos en los municipios es un proceso complejo que involucra varias etapas como clasificación, almacenamiento, transporte, procesamiento y disposición final. Estas actividades están directamente relacionadas con el medio ambiente, la salud y la economía. Factores como las políticas públicas y los aspectos culturales y socio-políticos son esenciales para garantizar un entorno sostenible. La gestión eficaz de los residuos sólidos municipales implica que estos se recuperen, reutilicen y reciclen en su totalidad, evitando así su acumulación en vertederos. Para lograrlo, es necesaria la intervención tanto en aspectos técnicos como no técnicos (Ortiz Castro & Contreras Rivera, 2023).

A nivel internacional, la gestión de residuos sólidos ha cobrado una relevancia creciente, especialmente en las grandes ciudades de América Latina y el Caribe. Se proyecta que la generación de residuos sólidos en estos países aumenta entre un 2% y un 3% anualmente, lo cual presenta un reto significativo para la sostenibilidad ambiental. Desde la Cumbre de la Tierra de 1992, la ONU ha establecido metas para reducir la producción de residuos y mejorar su manejo, enfatizando la importancia de la educación y la participación ciudadana en estos esfuerzos (Sáez & Urdaneta, 2014). El caso de Alemania es un ejemplo destacado de éxito en el ámbito del reciclaje. En 2017, el país fue reconocido como el líder mundial en reciclaje y se ha consolidado como uno de los referentes globales en cuanto a legislación sobre responsabilidad, reciclaje, tratamiento y disposición de residuos (Dávila et al., 2021) principalmente compuestos orgánicos volátiles, metales pesados, macro inorgánicos (N y P).

En Latinoamérica, el aumento de residuos sólidos ha sido claramente perceptible debido al crecimiento poblacional. En México, por ejemplo, las últimas décadas han visto un notable incremento en la cantidad de desechos, lo que ha llevado a que los rellenos sanitarios resulten insuficientes (Sarango & Bernardo, 2023). Ecuador muestra una situación diversa en la gestión de residuos sólidos. Datos de 2020 indican que cada ciudadano urbano produce alrededor de 0.84 kg de residuos al día. Aunque algunos municipios han puesto en marcha proyectos de gestión integral, el país sigue enfrentando retos importantes. En la actualidad, el 53% de los municipios utilizan rellenos sanitarios, mientras que el 47% recurren a botaderos a cielo abierto, lo que subraya la necesidad de mejorar tanto la infraestructura como las políticas de gestión (Espinosa, 2023; Hoyas, 2022).

Además, en 2010, el Ministerio del Ambiente lanzó el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS) con el fin de fomentar una gestión de residuos más integral y sostenible en los municipios. Se han establecido políticas que siguen el principio de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), lo que implica que las industrias deben encargarse de la recuperación y el reciclaje de sus productos. Además, se han creado normas técnicas para estandarizar los colores en la separación de residuos en el origen, promoviendo una clasificación más eficiente (Alcocer et al., 2019).

Entre las tecnologías avanzadas implementadas para mejorar la gestión de rellenos sanitarios se incluyen la recolección y utilización de biogás, la gestión eficiente de lixiviados, el reciclaje de materiales, y la compactación y cobertura de residuos. Estas prácticas buscan prolongar la vida útil de los rellenos, así como minimizar su impacto ambiental, contribuyendo así a una

gestión más sostenible y eficaz de los residuos sólidos. En palabras de Zumárraga (2022)

Los rellenos sanitarios constituyen una fuente importante de biogás, resultado del proceso de descomposición biológica bajo condiciones anaerobias de residuos sólidos de origen orgánico, compuesto por metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). La cantidad y composición del mismo dependen de las características de dichos residuos, como la humedad, la compactación y la edad del relleno sanitario (pág. 1).

Existen tres tipos de rellenos sanitarios: mecanizado, semi mecanizado y manual. El relleno sanitario mecanizado está diseñado para grandes ciudades que generan más de 40 toneladas diarias de residuos sólidos y requiere maquinaria pesada y una infraestructura compleja. El semi mecanizado es para localidades que producen entre 16 y 40 toneladas diarias, combinando maquinaria y trabajo manual para una compactación eficiente. El relleno sanitario manual se adapta a pequeñas comunidades con menos de 15 toneladas diarias, utilizando herramientas y trabajo manual debido a limitaciones económicas (Gutiérrez & Martínez, 2023).

Zavala et al. (2024), destacan que “el desarrollo sostenible se ha convertido en un imperativo global en respuesta a la creciente conciencia sobre los impactos negativos de las actividades humanas en el medio ambiente y en las comunidades” (p. 3). Este reconocimiento subraya la urgencia de abordar los desafíos ambientales y sociales con soluciones innovadoras.

En este sentido, la relevancia de esta investigación radica en la necesidad de actualizar y optimizar las prácticas de gestión de rellenos sanitarios mediante la incorporación de tecnologías y metodologías que promuevan la sostenibilidad y eficiencia operativa. Este estudio realiza una revisión exhaustiva de la literatura científica disponible, evaluando el estado actual del conocimiento y las tendencias emergentes en el manejo de rellenos sanitarios.

El objetivo de esta investigación analizar las prácticas y tecnologías actuales utilizadas en la gestión de rellenos sanitarios que contribuyen a la eficiencia y sostenibilidad. Se plantea la hipótesis de que la implementación de tecnologías avanzadas y prácticas sostenibles en los rellenos sanitarios mejora significativamente la eficiencia operativa y reduce los impactos ambientales asociados a la gestión de residuos sólidos.

Materiales y Métodos

La presente investigación tuvo como finalidad realizar un balance de los estudios sobre la gestión de rellenos sanitarios, enfocándose en evaluar la evolución de las prácticas y tecnologías implementadas en el periodo reciente. Se centró en examinar cómo se desarrollaron las estrategias para mejorar la eficiencia y sostenibilidad en la administración de residuos, identificando tanto los avances significativos como los desafíos persistentes. A través de un análisis detallado de la literatura académica y técnica publicada en bases de datos académicas reconocidas, incluyendo Scopus, ScienceDirect, Web of Science y Google Scholar, entre 2014 y 2024, se buscó resaltar las temáticas recurrentes, las tendencias emergentes y los debates actuales que configuraron el campo. Para lograr esto, se empleó un enfoque cualitativo combinado con el análisis textual discursivo (ATD), permitiendo una comprensión profunda y matizada de los discursos y prácticas en la gestión de rellenos sanitarios.

A continuación, se presentan los criterios de búsqueda y selección de artículos, así como el enfoque del análisis cualitativo utilizado en esta investigación sobre la eficiencia y sostenibilidad en la gestión de rellenos sanitarios. Estos criterios y el proceso de selección permitieron identificar los estudios más relevantes y actuales para proporcionar una visión integral sobre las prácticas y tecnologías en este campo.

Tabla 9.

Criterios de Búsqueda, Selección y Enfoque del Análisis.

Categoría	Criterios
Criterios de Inclusión	<ul style="list-style-type: none">- Estudios publicados entre 2014 y 2024- Temas relacionados con la eficiencia y sostenibilidad en la gestión de rellenos sanitarios- Artículos de revistas académicas, informes técnicos y documentos de conferencias- Publicados en revistas y conferencias reconocidas y revisadas por pares- Documentos en inglés o español
Criterios de Exclusión	<ul style="list-style-type: none">- Estudios publicados antes de 2014- Documentos que no aborden directamente la gestión de rellenos sanitarios- Estudios duplicados en diferentes bases de datos- Documentos a los que no se pudo acceder en su totalidad- Documentos en idiomas distintos al inglés y español

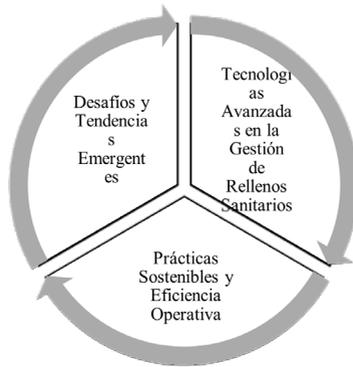
<p>Proceso de Selección</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Búsqueda sistemática en bases de datos académicas: Scopus, ScienceDirect, Web of Science, Google Scholar - Identificación de 50 artículos relevantes - Revisión de títulos y resúmenes para verificar pertinencia - Selección final de 17 artículos que cumplieron los criterios de inclusión
<p>Enfoque del Análisis</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Identificación de temáticas recurrentes - Análisis de tendencias emergentes - Examen de debates y desafíos en la sostenibilidad y eficiencia de los rellenos sanitarios

La Tabla 9 muestra los criterios detallados para la búsqueda, selección y enfoque del análisis en la investigación sobre la gestión de rellenos sanitarios. Se establecieron criterios de inclusión que abarcan estudios publicados entre 2014 y 2024, enfocados en la eficiencia y sostenibilidad, provenientes de revistas académicas, informes técnicos y conferencias reconocidas, y disponibles en inglés o español. Se excluyeron documentos anteriores a 2014, que no traten directamente la gestión de rellenos sanitarios, sean duplicados, inaccesibles en su totalidad o en idiomas distintos al inglés y español. El proceso de selección incluyó una búsqueda sistemática en bases de datos académicas, identificando 50 artículos relevantes y seleccionando 17 después de revisar títulos y resúmenes. El enfoque del análisis consistió en identificar temáticas recurrentes, analizar tendencias emergentes y examinar debates y desafíos en la sostenibilidad y eficiencia de los rellenos sanitarios.

Se aplicó un enfoque cualitativo para el Análisis Textual Discursivo (ATD) de los documentos seleccionados. El ATD es una metodología que examina cómo se construyen y comunican significados en textos y discursos mediante el estudio de su estructura, lenguaje, contexto social y cultural, y relaciones de poder. En el texto proporcionado, se utilizó este enfoque para analizar cómo se presentan y argumentan las innovaciones tecnológicas en la gestión de rellenos sanitarios y la sostenibilidad en la gestión de residuos. El análisis identificó cómo se estructuran los argumentos, cómo se emplea el lenguaje para destacar avances y desafíos, y cómo se contextualizan estos temas dentro de las prácticas y políticas actuales. Al hacerlo, el análisis reveló cómo los discursos sobre tecnologías avanzadas y enfoques integradores reflejan y responden a las preocupaciones ambientales y socioeconómicas contemporáneas. El análisis se centró en tres aspectos principales:

Figura 27.

Aspectos principales derivados del ATD.



Se llevó a cabo una deconstrucción de los textos del corpus mediante un enfoque sistemático que descompuso los discursos y documentos en sus componentes fundamentales para analizar cómo se construyen y comunican los significados. Este proceso implicó una revisión detallada de cada texto, identificando las estructuras narrativas, los términos clave y los patrones retóricos utilizados. Se examinó cómo los autores presentan y argumentan las ideas sobre la gestión de rellenos sanitarios, prestando especial atención a las prácticas y tecnologías destacadas. Además, se analizaron las implicaciones de las elecciones lingüísticas y cómo estas reflejan o desafían las ideologías y políticas actuales. El objetivo fue desentrañar las distintas capas de significado y entender cómo los textos contribuyen a la configuración del discurso en el campo de la gestión de residuos.

Resultados

En esta sección, se presentan los resultados derivados del análisis textual discursivo y la revisión de la literatura en torno a tres áreas clave en la gestión de residuos sólidos: Tecnologías Avanzadas en la Gestión de Rellenos Sanitarios, Gestión de Residuos Sólidos, e Innovaciones y Retos en el Manejo de Residuos. Estos resultados ofrecen una comprensión profunda de los avances recientes y los desafíos persistentes en cada área.

Tecnologías avanzadas en la gestión de rellenos sanitarios

La implementación de tecnologías avanzadas en la gestión de rellenos sanitarios, como la captura de biogás y el tratamiento de lixiviados, ha sido importante para reducir la contaminación. Estas tecnologías minimizan la emi-

sión de gases tóxicos, permitiendo la recuperación de energía de los residuos, lo cual contribuye a prolongar la vida útil de los rellenos y mejorar la eficiencia en su manejo (Becerra, 2021; Cárdenas et al., 2022). En el ámbito de la gestión integral de residuos, los sistemas de monitoreo en tiempo real juegan un papel transformador. Estos sistemas permiten una vigilancia continua que facilita la detección temprana de problemas y la optimización de las operaciones, lo que resulta en una gestión más eficaz y sostenible de los rellenos sanitarios (Albán, 2022; Tangarife & Torres, 2020).

Además de la captura de biogás y el tratamiento de lixiviados, la compactación adecuada y la cobertura de los residuos son prácticas fundamentales que mejoran la eficiencia operativa. Estas técnicas ayudan a reducir el impacto ambiental al optimizar la disposición de los residuos y minimizar la contaminación generada. La adopción de tecnologías avanzadas también incluye el reciclaje de materiales, que juega un papel vital en la gestión de residuos. La incorporación de estas tecnologías asegura que los residuos se manejen de manera más eficiente y alineada con las normativas ambientales, lo que reduce los impactos negativos tanto ambientales como socioeconómicos (Cárdenas et al., 2022; Machorro-Román et al., 2020).

El avance en la tecnología de gestión de rellenos sanitarios ha llevado a una notable mejora en la sostenibilidad. El uso de técnicas avanzadas para la recogida de biogás y la gestión de lixiviados no solo contribuye a la reducción de la contaminación, sino que también mejora la eficiencia en la administración de los residuos, prolongando la vida útil de los sitios de disposición. Finalmente, la integración de sistemas de monitoreo en tiempo real, junto con tecnologías para la gestión de lixiviados y biogás, ha optimizado significativamente la gestión de rellenos sanitarios. Estos sistemas permiten una administración más precisa y una respuesta rápida a los problemas, promoviendo una gestión más sostenible y eficaz de los residuos sólidos (Barrera Valdivia, 2023; Barrera Valdivia et al., 2022; Machorro-Román et al., 2020; Venegas Sahagun & Mancha Gálvez, 2023).

Gestión de residuos sólidos

Para alcanzar una gestión más sostenible de los residuos industriales, es crucial adoptar un enfoque integrador desde la Economía Ecológica. Utilizando herramientas como el Análisis de Ciclo de Vida y el Análisis Energético, junto con métodos de evaluación multicriterio, se pueden implementar prácticas más responsables y eficaces. Estas propuestas no solo optimizan las prácticas ambientales, sino que también proporcionan un marco metodológico útil

para profesionales y tomadores de decisiones, facilitando así el camino hacia un desarrollo industrial más sostenible y respetuoso con el medio ambiente (Valdés & López, 2019).

Por su parte, La optimización de la gestión de residuos sólidos mediante infraestructuras a gran escala destaca la identificación de economías de escala y la mitigación ambiental al centralizar el tratamiento de residuos. Estrategias para superar la oposición comunitaria mediante ubicaciones estratégicas y comunicación efectiva son propuestas clave. Estos hallazgos muestran cómo se pueden reducir costos y mejorar la eficiencia en el tratamiento de residuos sólidos, logrando al mismo tiempo la aceptación de la comunidad afectada (Chuquirima & Guamán, 2015; Marcos, 2017). Un enfoque integral hacia la sostenibilidad ambiental y socioeconómica se destaca mediante la aplicación de la fitorremediación en lixiviados de relleno sanitario. La innovación tecnológica y la mejora en la eficiencia de procesos, respaldadas por análisis de ciclo de vida (ACV), evidencian beneficios ambientales. La conversión de residuos en productos comerciales y la promoción de prácticas sostenibles son aspectos relevantes que subrayan áreas cruciales para futuras investigaciones y desarrollo en esta disciplina (Gática & Mozombite, 2021).

Se subraya la necesidad de ver los residuos como recursos, evidenciando diferencias operativas y vulnerabilidades en ciudades como Tokio, México, Madrid y París. El papel del sector informal en países en desarrollo para mejorar la eficiencia urbana y adaptarse a deficiencias normativas es fundamental. Sin embargo, se señalan vacíos como la limitada cobertura geográfica y la falta de un análisis detallado del sector informal. Además, la omisión de tendencias futuras y el impacto de nuevas tecnologías, junto con la falta de exploración de factores sociales y culturales y posibles cambios en políticas y regulaciones, resaltan áreas cruciales para investigación futura (Ortiz Castro & Contreras Rivera, 2023).

Innovaciones y retos en el manejo de residuos

El análisis de diversos estudios sobre la gestión de residuos sólidos y la eficiencia de sistemas de tratamiento muestra avances significativos, pero también revela áreas críticas que necesitan atención. Los humedales de flujo subsuperficial horizontal han demostrado ser eficaces en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios, removiendo de manera significativa materia orgánica, nutrientes y plomo, especialmente cuando se utiliza *Cyperus haspan*. Sin embargo, la investigación destaca la falta de análisis sobre otros contaminantes y la necesidad de evaluar mejor la influencia de las especies

vegetales y la capacidad de los humedales para adaptarse a variaciones en la carga contaminante y estacional (Jiménez-Cerón et al., 2018) constructed wetlands have been widely used for the purification of wastewater, representing an alternative method that offers multiple advantages when compared to other treatment systems. The present study assessed the efficiency of six horizontal subsurface flow constructed wetlands (HSSFCW).

En cuanto a los diseños propuestos para la gestión de residuos, el desarrollo de un Relleno Sanitario Manual (RSM) en Sidcay y la implementación de un relleno sanitario en El Tambo son ejemplos de proyectos que buscan adaptarse a las necesidades locales y mejorar la sostenibilidad ambiental mediante la valorización de residuos y la reducción de impactos. No obstante, estos proyectos presentan vacíos importantes, como la falta de análisis profundos sobre los impactos socioeconómicos a largo plazo y la necesidad de una mayor participación comunitaria en la planificación y ejecución. Además, la propuesta de una planta de tratamiento en Chiclayo, que incluye un relleno sanitario mecanizado y recuperación de biogás, subraya la importancia de abordar los aspectos económicos y la aceptación social para garantizar la viabilidad del proyecto a largo plazo (Ricaldi et al., 2021).

La investigación también destaca la utilidad de metodologías como el análisis espacial multicriterio para seleccionar áreas adecuadas para rellenos sanitarios, aunque se recomienda la inclusión de más criterios específicos para mejorar la precisión de la selección. Además, el estudio de una máquina peletizadora en Namora enfatiza la necesidad de información empírica sobre la gestión actual de residuos, así como una evaluación más exhaustiva de los impactos socioeconómicos y ambientales. Por otro lado, la evaluación de la estabilidad de los taludes en el relleno sanitario Carrapacho muestra que, a pesar de cumplir con normativas, se requieren recomendaciones adicionales para mejorar la estabilidad y gestionar riesgos potenciales (Estacio et al., 2021; Ramos & Gorraiz, 2016).

Conclusiones

La investigación realizada confirma que la implementación de tecnologías avanzadas y prácticas sostenibles en la gestión de rellenos sanitarios contribuye de manera significativa a mejorar la eficiencia operativa y a reducir los impactos ambientales asociados con la gestión de residuos sólidos. Los resultados obtenidos muestran que tecnologías como la captura de biogás, el tratamiento de lixiviados, y los sistemas de monitoreo en tiempo real juegan un papel crucial en la optimización de la operación de los rellenos sanitarios.

Estas tecnologías no solo han permitido una reducción en la emisión de gases tóxicos y la minimización de la contaminación, sino que también han prolongado la vida útil de los rellenos y mejorado la eficacia de su manejo. Asimismo, las prácticas sostenibles como la compactación adecuada de residuos, la cobertura eficiente y el reciclaje de materiales han demostrado ser fundamentales para mejorar la eficiencia operativa y minimizar el impacto ambiental. La integración de un enfoque basado en la Economía Ecológica y el uso de herramientas como el Análisis de Ciclo de Vida han proporcionado un marco valioso para la optimización de las prácticas de gestión de residuos.

Se concluye que la adopción de tecnologías avanzadas en la gestión de rellenos sanitarios, como la captura de biogás y el tratamiento de lixiviados, es crucial para reducir la contaminación y mejorar la eficiencia operativa. Estos métodos, junto con sistemas de monitoreo en tiempo real, optimizan la gestión de residuos y contribuyen a una administración más sostenible. Además, un enfoque integrador que combine herramientas como el Análisis de Ciclo de Vida y métodos de evaluación multicriterio es esencial para mejorar la sostenibilidad en la gestión de residuos industriales, así como para superar la oposición comunitaria y adaptar las prácticas a los desafíos emergentes. Finalmente, las innovaciones en el tratamiento de lixiviados y la necesidad de una mayor participación comunitaria en los proyectos locales destacan la importancia de continuar investigando y adaptando las estrategias para abordar impactos socioeconómicos, mejorar la precisión en la selección de áreas para rellenos y gestionar riesgos potenciales.

Referencias Bibliográficas

- Albán, I. (2022). Caracterización de residuos sólidos municipales y diseño de relleno sanitario. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 4(7). <https://doi.org/10.38186/difcie.47.03>
- Alcocer, P., Cevallos, O., & Knudsen, J. (2019). Mejoramiento de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en el Cantón de Quevedo, Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 11(5), 362–367.
- Barrera Valdivia, I. (2023). Modelo sostenible para gestión de residuos sólidos inorgánicos en la región Valle de Zamora, Michoacán. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 6, e318. <https://doi.org/10.46380/rias.vol6.e318>

- Barrera Valdivia, I., Hernández García, G., & Mendoza Méndez, C. E. (2022). Los rellenos sanitarios, una solución paliativa a la problemática de residuos sólidos en Zamora, Michoacán, México. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 3(2), 1111–1126. <https://doi.org/10.56712/latam.v3i2.170>
- Becerra, Y. (2021). *Identificación de un área apta para la instalación de un relleno sanitario, utilizando sistemas de información geográfica en el distrito de Catilluc – San Miguel* [Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4087>
- Cárdenas, R. del P., López, G. A., Talero, D., Cely, A. P., Murillo, L. M., Velasco, G. A., & Contreras, F. (2022). Impacto ambiental y riesgos potenciales generados en los rellenos Sanitarios – Revisión narrativa de la literatura. *Revista Investigación En Salud Universidad de Boyacá*, 9(2), 100–117. <https://doi.org/10.24267/23897325.746>
- Chuquirima, K., & Guamán, A. (2015). *Evaluación del índice de sostenibilidad social, económico y ambiental del relleno sanitario de Porlón de la Ciudad Riobamba, Provincia de Chimborazo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Dávila, A. R., Linares, I., Castillo, L. A., & Martínez, V. (2021). Gestión de los residuos sólidos urbanos y su efecto en el aire, agua y suelo. *Revista Alfa*, 5(15), 428–452. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i15.128>
- Espinosa, J. (2023). *La gestión integral de los residuos: la política local como garantía de los derechos ambientales, estudio de caso ciudad de Loja* (Vol. 5). FLACSO Ecuador.
- Estacio, J. M., Tinoco, O. R., Díaz, J., & Moore, R. K. (2021). Geographic Information Systems and Location of a Sanitary Landfill in Cerro de Pasco. *Revistas - Universidad Nacional Mayor de San Marcos*.
- Gática, C., & Mozombite, J. (2021). *El derecho a un ambiente sano y los residuos sólidos en el relleno sanitario de San Martín - 2020* [Universidad Cesar Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/59628/Rios_SJG-Salvador_BDS-SD.pdf?sequence=1%0Ahttps://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/104849
- Gutiérrez, C., & Martínez, A. (2023). *Ubicación De Rellenos Sanitarios* [Universidad de Magdalena]. <https://acortar.link/fRjjuZ>

- Hoyas, A. (2022). El mercado de la gestión de residuos sólidos urbanos en Ecuador. *Icex*, *45*, 1–84.
- Jiménez-Cerón, Y. F., Delgado-Calvache, L. I., Fernández-Tulande, C., & Pino-alegría, H. M. (2018). (2018). Humedales Construidos Y Determinación De Conductividades Hidráulicas En Clima Tropical Treatment of Leachate Using Constructed Wetlands and Determination of Hydraulic. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *21*(2), 543–552.
- Machorro-Román, A., Rosano-Ortega, G., Tavera-Cortes, M. E., Flores-Trujillo, J. G., Maimone-Celorio, M. R., Martínez-Tavera, E., Martínez-Gallegos, S., & Rodríguez-Espinosa, P. F. (2020). Sustentabilidad y evaluación del impacto del relleno sanitario del Municipio de Carmen en Campeche, México. *La Granja*, *32*(2), 72–92. <https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.06>
- Marcos, J. C. (2017). *Rellenos sanitarios en Puebla, un estudio descriptivo (Tesina) Centro de investigación y docencia económicas, A.C.* Centro de Investigación y docencia económica.
- Ortiz Castro, G., & Contreras Rivera, J. R. (2023). Políticas públicas, gestión de residuos sólidos municipales y sostenibilidad ambiental. Una revisión. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *6*(6), 12258–12278. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.4253
- Ramos, A., & Gorraiz, J. (2016). Estabilidad de taludes de un relleno sanitario: caso carrapacho, Chiquinquirá, Boyacá. *RIUPTC*, 1–17.
- Ricaldi, J. A., Huaman, M. S., & Callupe, N. G. (2021). *Diseño de un relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales en el distrito de El Tambo - Huancayo 2021* [Universidad Continental]. https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/4039/1/TL_GarateDavilaCarlita.pdf
- Sáez, A., & Urdaneta, J. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, *20*(3), 121–135.
- Sarango, C., & Bernardo, R. (2023). *Factores correlacionales de un sistema de relleno sanitario sostenible y sustentable en Arenillas – Ecuador*. *7*(1), 3033–3047. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.1.2023.3033-3047>
- Tangarife, M., & Torres, S. (2020). *Evaluación De La Eficiencia De Remoción De Sólidos Suspendidos Totales De Los Lixiviados Generados En El Relleno Sanitario Regional Presidente, Municipio De San Pedro Valle Del*

Cauca, Mediante El Pre-Tratamiento a Través De Un Sistema Combinado De Filtros [Universidad Central del Valle del Cauca]. <https://repositorio.uceva.edu.co/handle/20.500.12993/2024>

- Valdés, A., & López, E. (2019). Gestión de residuos industriales y sostenibilidad. Necesidad de un enfoque de economía ecológica. *Universidad y Sociedad*, *11*, 118–124.
- Venegas Sahagun, B. A., & Mancha Gálvez, E. E. (2023). Percepción del riesgo de habitar en las inmediaciones de un sitio de disposición final, El Salto, México. *Revista de Ciencias Ambientales*, *57*(2), 1–18. <https://doi.org/10.15359/rca.57-2.5>
- Zavala, C., Lino, V., Cordero, M., & Sornoza, D. (2024). El rol de la Ingeniería Civil en el desarrollo sostenible: Tendencias y desafíos. *Revista Alcance*, *7*(1), 1–13. <https://doi.org/10.47230/ra.v7i1.57>
- Zumárraga, F. (2022). *Estimación de la producción de biogás para un futuro módulo del relleno sanitario en la ciudad de Necochea, Buenos Aires, Argentina*. Universidad FASTA.

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 7

Importancia de calidad y control en
instalación de placa base de
estructura metálica para cimentación
en viviendas de hasta dos pisos.

AUTORES: Luiggis A Ceballos Baquerizo; Jefferson D Guaranda Pincay; Edison J Véliz Gómez; Gerardo D Pincay Brawn



SABEREC 5.0

Importancia de calidad y control en instalación de placa base de estructura metálica para cimentación en viviendas de hasta dos pisos.

Importance of quality and control in the installation of base plates for metallic structures in the foundations of up to two-story houses.

Resumen

El presente artículo analiza la importancia de la calidad y el control en la instalación de placas base de estructuras metálicas para cimentación en viviendas de hasta dos pisos. Se realizó un previo análisis en la ejecución e instalación de estas placas para viviendas de hasta dos plantas, se pudo verificar visualmente en tiempo real emplear métodos de instalación y fijación los cuales no están basados bajo ninguna normativa técnica. Concluida la evaluación se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura existente y se diseñó una encuesta estructurada basada en la escala de Likert para evaluar las percepciones de 40 profesionales del sector de la construcción. El análisis de los datos se realizó mediante el software estadístico SPSS, lo que permitió obtener una visión cuantitativa y detallada de las prácticas y conocimientos actuales sobre la calidad y el control en la instalación de placas base. Los resultados indican una percepción mayoritariamente positiva respecto a la importancia de mantener altos estándares de calidad y un control preciso durante el proceso de instalación, reflejada en medidas de tendencia central como la media y la mediana, y en la dispersión de las respuestas. Estos resultados manifiestan la necesidad de adoptar prácticas de control de calidad eficientes y consistentes para prevenir problemas estructurales y asegurar la estabilidad y durabilidad de las viviendas. La metodología empleada, basada en una revisión de la literatura y el análisis de encuestas con SPSS, demuestra ser eficaz para cuantificar y evaluar de manera precisa el entendimiento y prácticas actuales, proporcionando una base estable para recomendaciones prácticas y mejoras en las normativas de construcción. Este estudio contribuye significativamente al conocimiento de los factores importantes que afectan la calidad y el control en la instalación de placas base.

Palabras claves: Estructuras metálicas, cimentación, placas base, control de calidad, análisis estadísticos.

Abstract

This article examines the importance of quality and control in the installation of base plates for metal structures used in the foundations of two-story houses. A preliminary analysis of the execution and installation of these plates re-vea-

led the use of methods not based on any technical standards. Following this evaluation, a comprehensive literature review was conducted, and a structured survey based on the Likert scale was designed to assess the perceptions of 40 construction professionals. Data analysis using the SPSS statistical software provided a detailed quantitative view of current practices and knowledge regarding quality and control in base plate installation. The results indicate a predominantly positive perception of the importance of maintaining high-quality standards and precise control during the installation process, as reflected in central tendency measures such as the mean and median, and in the dispersion of responses. These findings highlight the need for efficient and consistent quality control practices to prevent structural issues and ensure the stability and durability of buildings. The methodology, based on literature review and survey analysis with SPSS, proves effective in quantifying and accurately assessing current understanding and practices, providing a solid foundation for practical recommendations and improvements in construction standards. This study significantly contributes to the understanding of critical factors affecting quality and control in base plate installation

Keywords: metallic structures, foundation, base plates, quality control, statistical analysis.

Introducción

La instalación de la placa base en estructuras metálicas es un componente importante en la construcción de viviendas de hasta dos pisos. Este elemento constituye el punto de partida para la transferencia de cargas desde la superestructura hacia la cimentación, por lo cual su correcta ejecución es fundamental para la estabilidad y seguridad de la edificación (Smith, J. y Jones, P, 2019). La importancia de la calidad y el control en este proceso no puede ser subestimada, ya que cualquier deficiencia puede comprometer la integridad estructural de las edificaciones y aumentar los riesgos durante su vida útil.

La calidad en la instalación de la placa base involucra varios aspectos técnicos, desde la selección adecuada de los materiales hasta el cumplimiento estricto de las normativas de construcción. La utilización de materiales de alta calidad asegura la durabilidad y resistencia de la estructura, mientras que el cumplimiento de los estándares constructivos garantiza que la edificación pueda soportar las cargas previstas sin presentar fallas estructurales (García, 2018).

El control del proceso de instalación es igualmente importante. Un control riguroso implica la supervisión constante de todas las etapas del montaje,

asegurando que se sigan los procedimientos establecidos y que se tomen medidas correctivas ante cualquier desviación. Este control no solo incluye la verificación de las dimensiones y alineación de la placa base, también la inspección de las conexiones y anclajes, que deben cumplir con los requisitos especificados en los planos de diseño (Miller, A. y Davis, J., 2020).

Las conexiones de las placas base de las columnas son la interfaz crítica entre la estructura de acero y la base. Estas conexiones se utilizan en edificios para soportar cargas de gravedad y funcionan como parte de los sistemas de resistencia a las cargas laterales. Además, se utilizan para el montaje de equipos y en estructuras de soporte exteriores, donde pueden verse afectadas por la vibración y la fatiga debido a las cargas de viento (American Institute of Steel Construction, 2016).

Las placas base y las varillas de anclaje suelen ser los últimos elementos de acero estructural que se diseñan, pero son los primeros elementos que se requieren en el lugar de trabajo. Las demandas del cronograma junto con los problemas que pueden ocurrir en la interfaz del acero estructural y el hormigón armado hacen que sea esencial que los detalles de diseño tengan en cuenta no solo los requisitos estructurales, sino que también incluyan la consideración de los problemas de construcción, especialmente los procedimientos y tolerancias de instalación de las varillas de anclaje. No se puede subestimar la importancia de la colocación precisa de las varillas de anclaje (American Institute of Steel Construction, 2016).

El material de la Guía 1 del AISC tiene como objetivo proporcionar pautas para que los ingenieros y fabricantes diseñen, detallen y especifiquen las conexiones de columnas, placas base y varillas de anclaje de una manera que evite problemas comunes de fabricación y montaje (American Institute of Steel Construction, 2016).

La selección de materiales y los detalles de diseño de las placas base pueden afectar significativamente el costo de fabricación y montaje de las estructuras de acero. No solo es importante diseñar la conexión de la placa base de la columna para los requisitos de resistencia, también es importante reconocer que estas conexiones afectan el comportamiento de la estructura. En el análisis estructural se hacen suposiciones sobre las condiciones de contorno representadas por las conexiones. Los modelos que comprenden elementos de vigas o armaduras normalmente idealizan la conexión de la base de la columna como una condición de contorno articulada o fija. Una caracterización incorrecta puede generar errores en las derivas calculadas, lo que lleva

a momentos de segundo orden no reconocidos si se sobreestima la rigidez, o a tamaños excesivos de columnas del primer piso si se subestima la rigidez (American Institute of Steel Construction, 2016).

Los estudios recientes han demostrado que una adecuada gestión de la calidad y el control en la instalación de placas base puede reducir significativamente los problemas estructurales y los costos de mantenimiento a largo plazo (Rodríguez, L. y Pérez, H., 2021). Además, la implementación de metodologías como el Building Information Modeling (BIM) ha facilitado el seguimiento y la gestión eficiente de este proceso, permitiendo una mayor precisión y reducción de errores en la construcción (Lopez, 2017).

Para investigar más a fondo estos aspectos, se ha diseñado una encuesta basada en la escala de Likert, la cual será aplicada a profesionales y técnicos del sector de la construcción. El análisis de los resultados se realizará utilizando el software estadístico SPSS, lo que permitirá obtener una visión detallada y cuantitativa de la percepción y prácticas actuales en relación con la calidad y el control en la instalación de placas base (Johnson, P. y Brown, T., 2022).

El objetivo de este artículo es destacar la importancia de la calidad y el control en la instalación de placas base de estructuras metálicas para cimentación en viviendas de hasta dos pisos. La correcta instalación de la placa base en estructuras metálicas es relevante para la estabilidad y seguridad de las edificaciones. Sin embargo, en el sector de la construcción, a menudo se presentan deficiencias en la calidad de los materiales y en el control de los procesos de instalación, lo que puede causar problemas estructurales y elevados costos de mantenimiento a largo plazo. Por consiguiente, se presenta la siguiente formulación del problema: ¿Cómo influye la calidad y el control en la instalación de la placa base de estructuras metálicas para cimentación en la seguridad y durabilidad de viviendas de hasta dos pisos?

Debido a esto, se propone el siguiente objetivo para responder a la formulación del problema: analizar la influencia de la calidad y el control en la instalación de placas base de estructuras metálicas en la seguridad y durabilidad de viviendas de hasta dos pisos, evaluando prácticas actuales, identificando deficiencias y proponiendo mejoras mediante encuestas Likert y análisis con SPSS.

Materiales y Métodos

El estudio se basó en un enfoque cuantitativo, utilizando técnicas estadísticas para analizar los datos obtenidos y extraer conclusiones. Se aplicaron métodos teóricos, como el analítico-sintético y el inductivo-deductivo. Ade-

más, mediante el método empírico, se llevaron a cabo observaciones para verificar la ejecución de las actividades planificadas (Lino et al., 2024).

Se aplicó una encuesta basada en la escala de Likert a un grupo de profesionales del sector de la construcción, y se analizaron los datos obtenidos mediante el software estadístico SPSS, utilizando una escala de Likert de 5 puntos, donde 1 representa “Totalmente en desacuerdo” y 5 “Totalmente de acuerdo”. Las preguntas fueron formuladas para evaluar la percepción de los participantes sobre diversos aspectos de la calidad y el control en la instalación de placas base.

La encuesta fue diseñada para captar información detallada sobre las opiniones de los profesionales respecto a diversos aspectos de la instalación de placas base. Las respuestas fueron analizadas utilizando medidas de tendencia central (media y mediana) y de dispersión (desviación estándar) para identificar patrones y variabilidad en las percepciones de los participantes.

La recolección de datos se llevó a cabo en un periodo de dos semanas. Los participantes fueron contactados y se les solicitó completar la encuesta de manera anónima. La encuesta fue administrada tanto en formato físico como digital, utilizando plataformas en línea para facilitar la participación y asegurar la integridad de los datos recolectados.

La muestra estuvo compuesta por 40 profesionales del sector de la construcción, seleccionados de manera no probabilística por conveniencia. Los participantes incluyen ingenieros civiles, arquitectos y técnicos especializados en la instalación de estructuras metálicas, con el fin de obtener una perspectiva integral y especializada del tema en estudio.

Estudio previo

Mediante una evaluación en tiempo real en obra se identificaron diversos problemas en la instalación de placas base, revelando fallas críticas en el anclaje. Estas deficiencias incluyeron la ausencia de barras de anclaje, roscas, tuercas y rondanas. Además, se detectó el uso de mortero sin la resistencia a la compresión adecuada, que debería ser al menos el doble de la resistencia del concreto en el cimiento. La evaluación también señaló la aplicación inadecuada de soldaduras, lo que contribuyó al pandeo de las placas. Este pandeo fue atribuido a factores como el espesor insuficiente de la placa, el uso de materiales de baja resistencia, y deficiencias en la conexión y fijación de las placas.

Estas observaciones manifiestan la importancia de apearse a los estándares de calidad y control en el proceso de instalación para evitar fallas estructurales que puedan comprometer la integridad y seguridad de las edificaciones. También, se resalta la necesidad de una supervisión calificada y el cumplimiento de las especificaciones técnicas durante la instalación de componentes importantes en la construcción de viviendas. En las siguientes figuras se muestran las falencias en ejecución de lo mencionado:

Figura 28.

Errónea fijación e instalación de placas base.



Figura 29.

Errónea fijación e instalación de placas base.



Nota: En la figura 28 y 29 se muestra que la placa no consta con un correcto anclaje, no presenta barras, roscas y pernos para la fijación de la misma.

Figura 30.

Errónea fijación e instalación de placas base.

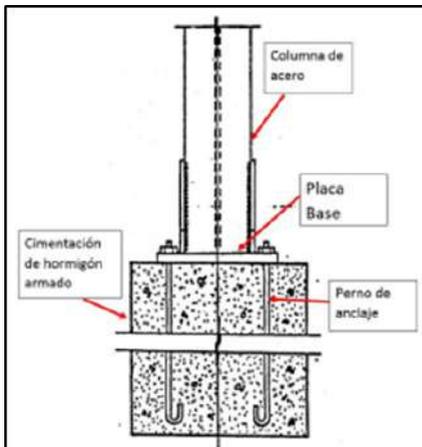


Nota: En la figura 30 se visualiza la aplicación inadecuada de la soldadura, por otra parte, se identifica el pandeo de la placa provocado por el insuficiente espesor de esta, así también como el material de baja calidad.

La correcta instalación de estas placas se identifica en la siguiente figura, mostrando detalles de anclajes y componentes importantes.

Figura 31.

Adecuada ejecución en la instalación y fijación de placas base.



Fuente: (Pacheco , 2016)

Los sistemas de placas base de anclajes son elementos metálicos conectados a dados de hormigón armado que sirven para transferir los esfuerzos que soporta la estructura de acero a sus cimentaciones de hormigón armado. La placa base y los pernos de anclaje son los dos componentes principales de este sistema. Las placas son un componente importante en la construcción de estructuras de acero porque son el único elemento que une los componentes estructurales a las cimentaciones. Y, al igual que cualquier otro componente, su diseño debe cumplir con ciertos estándares para que sea eficiente y seguro (**Pacheco , 2016**).

Esta evaluación, basada en un caso real de construcción, sirvió como punto de partida para llevar a cabo una encuesta destinada a determinar la importancia de la calidad y el control en la instalación de estos elementos.

Resultados y discusión

Los datos obtenidos de las encuestas fueron ingresados y analizados utilizando el software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). Se realizaron análisis descriptivos para determinar las medidas de tendencia central (media, mediana) y de dispersión (desviación estándar) de cada pregunta. Las tablas y gráficos generados permitieron visualizar de manera clara la distribución de las respuestas y las tendencias observadas entre los profesionales encuestados.

Resultados descriptivos

Tabla 10.

Estadística Relacionada a la Encuesta.

	N	Media	Mediana	Desv. estándar
Pregunta 1	40	4,35	5,00	0,97
Pregunta 2	40	4,25	4,00	0,95
Pregunta 3	40	4,42	5,00	0,93
Pregunta 4	40	4,35	5,00	0,89
Pregunta 5	40	4,22	5,00	1,12
Pregunta 6	40	4,27	5,00	0,98
Pregunta 7	40	4,37	5,00	0,89
Pregunta 8	40	4,32	5,00	0,91

Pregunta 9	40	4,42	5,00	0,78
Pregunta 10	40	4,35	5,00	1,00

La Tabla 10 muestra las estadísticas descriptivas de las respuestas obtenidas de la encuesta aplicada a 40 profesionales del sector de la construcción. Las medidas incluyen la media, mediana y desviación estándar para cada una de las 10 preguntas evaluadas en la escala de Likert.

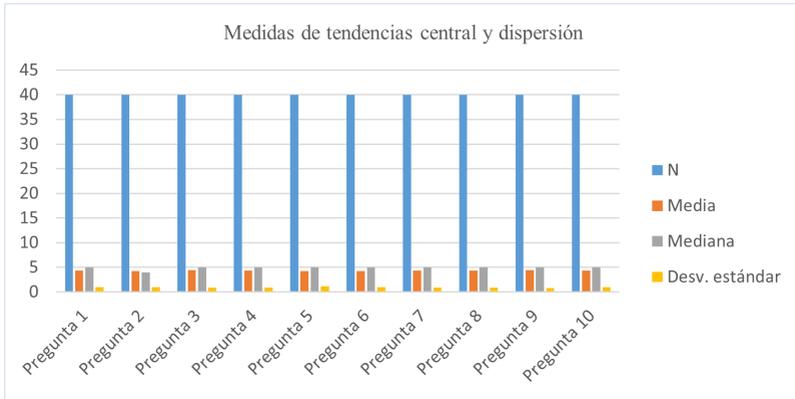
Las medidas de tendencia central y dispersión proporcionan una visión detallada de la percepción de los participantes sobre la importancia de la calidad y el control en la instalación de placas base de estructuras metálicas. Las medias de las respuestas oscilan entre 4.22 y 4.42, lo que indica una percepción general positiva hacia la calidad y el control en la instalación de placas base.

La pregunta 3 y la pregunta 9 presentan las medias más altas (4.42), sugiriendo una fuerte concordancia sobre aspectos específicos de la calidad y el control. La mediana es 5 para la mayoría de las preguntas, excepto la pregunta 2 que tiene una mediana de 4. Esto indica que la mayoría de los participantes seleccionaron las opciones más altas de la escala de Likert, reafirmando la importancia percibida de estos factores.

Las desviaciones estándar varían entre 0.78 y 1.12, lo que sugiere una variabilidad moderada en las respuestas. La pregunta 5 tiene la mayor desviación estándar (1.12), indicando una mayor dispersión de las respuestas en comparación con las otras preguntas. Esto podría reflejar diferencias en la percepción de la calidad en aspectos específicos de la instalación de placas base.

Figura 32.

Gráfica Relacionada a la Percepción de la Encuesta.



La figura 32 ilustra la distribución de las percepciones de los participantes sobre la importancia de la calidad y el control en la instalación de placas base, representando visualmente las tendencias observadas en la Tabla 10.

La figura muestra que la mayoría de las respuestas se concentran en los valores altos de la escala de Likert (4 y 5), lo que reafirma los resultados observados en la Tabla 1 sobre la percepción positiva de los participantes. La dispersión de las respuestas es moderada, con algunas variaciones en preguntas específicas como la pregunta 5, lo que coincide con la mayor desviación estándar observada en la tabla. Esta variabilidad puede indicar áreas donde los participantes tienen opiniones más divergentes, sugiriendo la necesidad de una mayor investigación o enfoque en esos aspectos.

La coherencia de altas puntuaciones indica que todos los participantes están de acuerdo en la importancia de la calidad y el control en la instalación de placas base. Esto puede indicar una comprensión común de los estándares y prácticas necesarios para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras.

La escala de Likert facilita la recolección de datos estandarizados porque permite cuantificar de manera efectiva las percepciones de los profesionales de la construcción sobre la calidad y el control en la instalación de placas base (Guil Bozal, 2006). Para realizar un análisis completo y detallado de estos datos, se puede utilizar el sofisticado programa estadístico SPSS, que proporciona medidas de tendencia central y dispersión que revelan patrones y variabilidades en las respuestas (Dicovsky y Pedroza, 2007). Esto no solo aumenta la confiabilidad y validez de los resultados, también nos permite una

interpretación estable de las percepciones y prácticas actuales en el sector de la construcción.

Conclusiones

En conclusión, la adopción de prácticas de control de calidad es significativa para prevenir problemas estructurales y asegurar la estabilidad y longevidad de las viviendas, proporcionando una base consistente para recomendaciones prácticas y mejoras en las normativas de construcción. La investigación sobre la importancia de la calidad y el control en la instalación de placas base de estructuras metálicas para cimentación en viviendas de hasta dos pisos ha demostrado ser esencial para garantizar la seguridad y durabilidad de las edificaciones. A través de una metodología precisa que incluyó una encuesta basada en la escala de Likert y el análisis de datos mediante el software SPSS, se ha podido cuantificar y evaluar de manera precisa las percepciones de los profesionales del sector de la construcción. Los resultados obtenidos revelan una percepción mayoritariamente positiva sobre la relevancia de mantener altos estándares de calidad y un control detallado durante el proceso de instalación. Las medidas de tendencia central y dispersión indican una aprobación general sobre la importancia de estos factores, con variaciones moderadas que sugieren áreas específicas para mejora continua.

Referencias Bibliográficas

- Correa Duarte, N. A. (2017). *COMPORTAMIENTO ANTE CARGAS CÍCLICAS DEL REFORZAMIENTO DE UNIONES VIGA-COLUMNA DE CONCRETO REFORZADO CONSTRUIDAS ANTES DEL CÓDIGO DE 1984 UTILIZANDO CFRP*. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Mas-industria. (28 de abril de 2017). Obtenido de <https://masindustria.com/web/disenio-ptar/>
- PEDRAZA ROSAS, A. L., MEZA, T., & ANDRES, S. (2022). *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO A TENSIÓN DE UN MATERIAL COMPUUESTO CON MATRIZ POLIMÉRICA DE RESINA EPOXI REFORZADO CON FIBRAS DE CARBONO DE ALTA RESISTENCIA CON UN TEJIDO CUATRIAXIAL*. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Obtenido de <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/d0ea2568-9b2e-46e5-9c74-62370778286b/content>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Unidad 3

Análisis hidráulico de un puente
utilizando HEC-RAS considerando
efectos del cambio climático

AUTORES: Erick Guadamud Soledispa; Walter Rodríguez Procel ; Miguel Eduardo Pionce
Soledispa; Jerson Vera Chilán



SABEREC 5.0

Análisis hidráulico de un puente utilizando HEC-RAS considerando efectos del cambio climático

Hydraulic analysis of a bridge using HEC-RAS considering effects of climate change.

Resumen

Este estudio examina el impacto del cambio climático en la estructura hidráulica de un puente en Jipijapa-Manabí, enfocándose en las variaciones de patrones de precipitación y el aumento del nivel del mar pueden aumentar el riesgo de daños estructurales y socavación. El objetivo es analizar el impacto del cambio climático en la estabilidad y funcionalidad de infraestructuras críticas utilizando el software HEC-RAS para simular diferentes escenarios de caudal bajo condiciones climáticas futuras proyectadas. Se analizó el aumento en los caudales máximos esperados y se evaluó la suficiencia de las medidas de mitigación actuales. Los resultados indican un incremento significativo en los caudales máximos simulados, así como también un aumento en el riesgo de socavación y daños estructurales. Se evidenció que las medidas de mitigación actuales podrían ser insuficientes bajo escenarios extremos de cambio climático (sequías o lluvias extremas). La investigación destaca la necesidad urgente de adaptar y reforzar las infraestructuras hidráulicas existentes para mejorar su resiliencia ante eventos naturales extremos. Se destaca como punto importante, incorporar el cambio climático en la planificación y diseño de infraestructuras para gestionar eficazmente los riesgos futuros en obras de ingeniería civil.

Palabras clave: Cambio climático, HEC-RAS, precipitaciones, infraestructura hidráulica, caudales máximos, resiliencia, gestión de riesgos.

Abstract

This study examines the impact of climate change on the hydraulic structure of a bridge in Jipijapa-Manabí, focusing on how variations in precipitation patterns and sea level rise can increase the risk of structural damage and scour. The objective is to analyze the impact of climate change on the stability and functionality of critical infrastructure using HEC-RAS software to simulate different flow scenarios under projected future climate conditions. HEC-RAS, a water flow modeling tool, was used to simulate flow scenarios under future climate conditions. The increase in expected peak flows was analyzed and the adequacy of current mitigation measures was evaluated. The results indicate a significant increase in simulated peak flows, suggesting an increased risk of scour and structural damage. It was evident that current mitigation measures

may be insufficient under extreme climate change scenarios. The research highlights the urgent need to adapt and strengthen existing water infrastructure to improve its resilience to extreme events. It is important to incorporate climate change into infrastructure planning and design to effectively manage future risks.

Keywords: Climate change, HEC-RAS, water infrastructure, peak flows, resilience, risk management.

Introducción

El cambio climático es un fenómeno global que está afectando significativamente los patrones climáticos y la frecuencia de eventos extremos en todo el mundo. Según el último informe (Masson-Delmotte et al., 2021), la influencia humana ha calentado el clima a un ritmo sin precedentes en los últimos 2000 años, lo que ha llevado a cambios generalizados y rápidos en la atmósfera, los océanos y la biosfera terrestre (Ranasinghe et al., 2021).

Uno de los fenómenos climáticos más importantes que se ha visto afectado es El Niño-Oscilación del Sur (ENSO); los cuales se demuestran en estudios recientes que el cambio climático está alterando la periodicidad e intensidad de los eventos ENSO (Cai et al., 2018). Señalan que el calentamiento global está aumentando la variabilidad de El Niño en el Pacífico oriental, lo que podría llevar a eventos más extremos en el futuro. Además, proyectan un aumento en la frecuencia de eventos de El Niño en los últimos 15 años (Holbrook et al., 2020).

En Ecuador, país particularmente vulnerable a los efectos del cambio climático (principalmente lluvias intensas) y del ENSO, se han observado impactos significativos en las últimas décadas (Catto & Dowdy, 2021).rainfall and ocean waves can have severe impacts on built and natural environments, contributing to the occurrence of disastrous events in some cases. These hazards are often caused by weather systems such as cyclones, fronts and thunderstorms. Previous studies typically examine one type of hazard and/or one type of weather system, with some studies in recent years starting to focus on compound hazards. Here we systematically examine compound hazards (extreme precipitation, extreme wind gusts, and extreme waves. Se ha documentado cómo el cambio climático está exacerbando los riesgos de inundaciones y deslizamientos de tierra en las regiones costeras del país, especialmente durante los eventos de El Niño o en grandes precipitaciones anuales (Piemontese et al., 2022).

La infraestructura hidráulica juega un papel crucial en la mitigación de estos impactos. Sin embargo, como señalan (Hassan et al., 2021), muchas de estas estructuras en Ecuador no están diseñadas para hacer frente a los escenarios climáticos futuros, lo que aumenta la vulnerabilidad de las comunidades costeras. En este sentido, (Tripathy Furlong et al., 2022) proponen la implementación de soluciones basadas en la naturaleza como estrategia complementaria para la adaptación al cambio climático en zonas costeras.

Es necesario considerar que el cambio climático influye significativamente en los estudios de sondeos eléctricos verticales (SEV) para la planificación de estructuras hidráulicas (Hazman & ÇeliK, 2014). Las variaciones en patrones de precipitación y temperatura afectan la humedad del suelo y los niveles freáticos, alterando la resistividad eléctrica medida (Chambers et al., 2014) the architecture of the underlying deposits requires investigation at a spatial resolution sufficient to characterize significant hydraulic pathways. Discrete intrusive sampling using conventional approaches provides insufficient sample density and can be difficult to deploy on soft ground. Here a noninvasive geophysical imaging approach combining three-dimensional electrical resistivity tomography (ERT). Esto requiere considerar escenarios climáticos futuros al interpretar los datos de SEV para ubicar estructuras hidráulicas (Garré et al., 2012), asegurando que las decisiones sean resilientes a largo plazo frente a los impactos del cambio climático en las condiciones hidrogeológicas locales (Merchán-Sanmartin et al., 2022)11, and 12. The recycling process is simple and contributes to improving the environment. Therefore, garbage management in Ecuador is a relevant issue that society must address regardless of the size of the community that generates it. In this case, university campuses need services and infrastructure, including waste management at the scale of a small city, because they require services like these (e.g., accommodation, transportation, cleaning, and waste management).

En este contexto, es fundamental analizar el impacto de los eventos climáticos extremos, como el ENSO, en áreas específicas de Ecuador. Este estudio se centra en el cantón de Jipijapa, utilizando datos históricos del INAMHI y aplicando cálculos hidrológicos para evaluar los riesgos potenciales. Además, se realizará una simulación del crecimiento de los afluentes que han causado daños en el puente “Daniel López” con el programa HEC-RAS, con el objetivo de proporcionar información valiosa para la planificación y adaptación frente al cambio climático en la región. Como señalan (Kim et al., 2022), este tipo de análisis locales son cruciales para desarrollar estrategias de adaptación efectivas y específicas para cada contexto.

Materiales y Métodos

Área de estudios

El cantón Jipijapa, ubicado en la provincia de Manabí, Ecuador, es focalizado para realizar estudios hidrológicos y del (ENOS) en las estructuras hidráulicas, específicamente en el puente “Daniel López” ubicado en el cantón de Jipijapa. La recolección de datos de precipitación obtenidos de los anuarios oficiales del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (Vallejo Valdivieso et al., 2018) y la ubicación geográfica de Jipijapa con coordenadas UTM es Zona 17S, 546000 E, 9850000 N (García et al., 2012); demuestran que tiene un problema hidrológico fuerte que puede afectar a la comunidad. Geomorfológicamente, la zona se caracteriza por una topografía irregular con colinas y valles, típica de la región costera de Manabí (Jiménez et al., 2017).

Figura 33.

Área de Estudio.



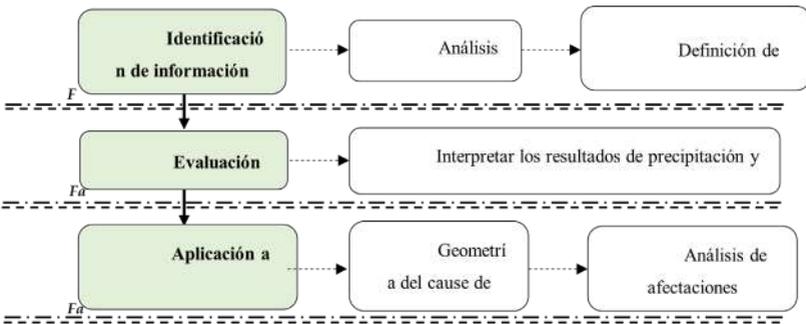
La metodología propuesta está estructurada en tres fases que abordan de manera integral el estudio hidráulico y climático. La primera fase, “Identificación y Análisis de Información”, sienta las bases del estudio mediante la recopilación exhaustiva de datos relevantes, su análisis detallado y la definición precisa de las estaciones meteorológicas de estudio. Esta etapa es crucial para establecer un fundamento sólido de información sobre el cual se desarrollarán las fases subsiguientes.

La segunda fase, “Evaluación del Cambio Climático”, se centra en el examen minucioso de los patrones climáticos y su evolución. En esta etapa, se recopilan y analizan datos históricos y actuales sobre precipitación y caudales, se identifican tendencias y patrones significativos, y se interpretan los resultados con un enfoque específico en la precipitación y los caudales máximos. Esta interpretación es fundamental para el posterior modelado en Hec-RAS, ya que proporciona los parámetros necesarios para simular escenarios futuros considerando los efectos del cambio climático.

La tercera y última fase, “Aplicación a la Modelación Hidráulica en Hec-RAS”, representa la culminación práctica del estudio. En esta etapa, se preparan los datos para su ingreso en el modelo Hec-RAS, se define con precisión la geometría del cauce en estudio, se ejecuta el modelo hidráulico y, finalmente, se realiza un análisis de las afectaciones basado en los resultados obtenidos. Esta fase final permite visualizar y cuantificar los posibles impactos de los cambios climáticos en el comportamiento hidráulico en el puente “Daniel López”, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos y la planificación de infraestructuras en la zona de estudio.

Figura 34.

Esquema General de interpretación, flujo de investigación.



En cuanto a la evaluación del cambio climático respecto a la calidad de las series históricas diarias de precipitación (P), se eliminaron todos los valores negativos y valores sobre un umbral específico para cada estación, establecido en base de registros de los anuarios meteorológicos publicados por el servicio meteorológico de Ecuador INAMHI (1970 - 2017). Todos los valores diarios fuera del umbral establecido fueron eliminados.

Las ecuaciones representan regresiones lineales simples para cada estación.

$$\beta_1 = \frac{n \cdot \sum_0^i (xi \cdot yi) - \sum_0^i (xi) \cdot \sum_0^i (yi)}{(n \cdot \sum_0^i (xi^2) - \sum_0^i (xi)^2) \cdot \beta_0}$$

Donde:

β_1 = pendiente de la línea de regresión

β_0 = intersección

xi = valores de la variable independiente (posiblemente el tiempo en años)

yi = valores de la variable dependiente (en este caso, probablemente la precipitación)

n = número de observaciones

Forma simplificada:

$$y = \beta_0 - \beta_1 x$$

Estas ecuaciones de regresión lineal permiten analizar la tendencia de la precipitación a lo largo del tiempo para cada estación. Un valor positivo de β_1 indica una tendencia al aumento de la precipitación, mientras que un valor negativo sugiere una tendencia a la disminución.

De esta manera podemos tener un indicador para evaluar las alteraciones o cambios del clima durante las últimas décadas (1971 – 2017), particularmente cambios en los valores medios y extremos, así como en la intensidad, frecuencia y duración de lluvias intensas respecto a variables de temperatura y precipitación. El análisis de estas regresiones lineales proporciona una herramienta valiosa para identificar y cuantificar estas tendencias a largo plazo en cada estación meteorológica.

También se llevó a cabo un análisis estadístico utilizando una prueba de bondad de ajuste mediante el método de Kolmogórov-Smirnov, con un nivel de confianza del 95%. Para esto es necesario incluir varias distribuciones, incluyendo Normal, Weibull-Gumbel, Log Pearson y Log Normal III, todas con un período de retorno de 25 años, con el objetivo de determinar el método más favorable para las condiciones específicas de las estaciones meteorológicas en Manabí respecto al cambio climático. Las fórmulas utilizadas para el cálculo de k(n) en diferentes distribuciones se muestran en la Tabla 11. Los valores críticos de la distribución para diferentes niveles de significancia (α) y

tamaños de muestra (n) se presentan en la Tabla 12. La selección del método más adecuado se enfocó en la comparación de los resultados obtenidos con cada distribución y su ajuste a las características particulares de las estaciones meteorológicas de la región.

Tabla 11.

Fórmulas para realizar las Bonda de ajustes.

Distribución	Fórmula para k(n)
General (parámetros conocidos)	$k(n) = \sqrt{n} + 0.12 + 0.11/\sqrt{n}$
Normal	$k(n) = \sqrt{n} - 0.01 + 0.85/\sqrt{n}$
Exponencial	$k(n) = \sqrt{n} + 0.12 + 0.11/\sqrt{n}$
Weibull	$k(n) = \sqrt{n}$

Tabla 12.

Parámetros alfa para realizar el 95% de cumplimiento.

Distribución	n	= 0.10	= 0.05	= 0.01
General	-	1.224	1.358	1.628
Normal	-	0.819	0.895	1.035
Exponencial	-	0.990	1.094	1.308
Weibull	10	0.760	0.819	0.944
Weibull	20	0.779	0.843	0.973
Weibull	50	0.790	0.856	0.988
Weibull	∞	0.803	0.874	1.007

Finalmente se utilizó Civil 3D para diseñar la geometría del río y el puente, considerando la topografía de Jipijapa. Se crearon líneas de nivel y secciones transversales. Las cuales fueron colocadas n HEC-RAS, se estimaron inundaciones en 19 secciones transversales y se analizó la infraestructura del puente entre las secciones 170 y 160. Se ingresa caudales obtenidos del análisis estadístico para un período de retorno de 25 años, junto con la pendiente de la solera obtenida de Civil 3D, para modelar el caudal y evaluar los efectos del fenómeno del cambio climático y ENSO Manabí-Jipijapa.

Resultados

En la Fase I, se analizan los datos representativos de las estaciones meteorológicas de Manabí, mostrando el comportamiento desde 1971 hasta 2017. Se observan variaciones en diferentes isoyetas y en las regresiones lineales. Para el estudio, se seleccionaron las estaciones con resultados significativos (aumento o disminución de lluvias). Los datos y gráficos correspondientes revelan una variación en las precipitaciones a lo largo de los años estudiados, influenciada por los cambios atmosféricos y las variaciones de temperatura debido al cambio climático.

Tabla 13.

Valores de Análisis respecto a una variación de 5 años muestra.

Año	M0005	M0056	M0162	M0185	M0176	M0458
1975	213.9	214.1	157.5	561.3	204.8	166.7
1980	39.1	95.8	27.5	8.7	104.0	16.2
1985	40.3	69.7	23.4	92.2	106.8	19.8
1990	32.2	57.2	15.4	311.7	-999	8.9
1995	139.5	98.3	58.8	224.4	522.4	45.7
2000	89.7	348.0	26.7	188.1	106.3	22.1
2005	64.1	277.8	38.4	9.1	29.3	24.4
2010	115.3	72.9	80.8	167.7	353.3	31.2
2015	28.9	295.2	53.7	86.2	231.8	4.1
2017	169.5	442.6	-999	-999	-999	-999
Máximo	213.9	442.6	157.5	561.3	522.4	166.7
Mínimo	28.9	57.2	15.4	8.7	29.3	4.1
Desv. Est.	64.7	139.7	45.1	173.1	170.1	51.5
Media	93.3	197.2	53.6	183.3	208.3	37.7

Tabla 14.

Valores de regresión lineal para las estaciones de estudio.

Estación	Ecuación	Estación	Ecuación
M0005	$y = 0.5606x - 1018.6$	M0451	$y = -0.8906x + 1910.8$
M0040	$y = 1.6745x - 3219.7$	M0453	$y = -0.1842x + 454.83$
M0056*	$y = 2.4339x - 4597.8$	M0454	$y = -0.1897x + 525.48$
M0162*	$y = -1.7842x + 3772.3$	M0455	$y = 0.723x - 1363.7$
M0165	$y = 0.4087x - 729.83$	M0457	$y = -0.5375x + 1136.8$
M0167	$y = 0.0023x + 130.64$	M0457	$y = -0.5375x + 1136.8$

M0169	$y = 0.404x - 733.98$	M0458	$y = 0.203x - 228.62$
M0176*	$y = -3.559x + 7189.6$	M0459	$y = 0.4968x - 779.28$
M0185*	$y = 2.5618x - 4959.8$	M0462	$y = 2.2736x - 4358.2$
M0447	$y = -0.0245x + 219.41$	M0475	$y = 0.5265x - 802.84$
M0448	$y = -1.2694x + 2576.4$	M0476	$y = 1.8252x - 3406.5$
M0449	$y = 0.0732x - 70.687$	M0477	$y = 1.6731x - 3107.8$
M0450	$y = -0.4066x + 867.81$	M0482	$y = 0.5904x - 1113$

Figura 35.

Gráficos de las 2 estaciones con problemas en la tendencia al cambio climático.

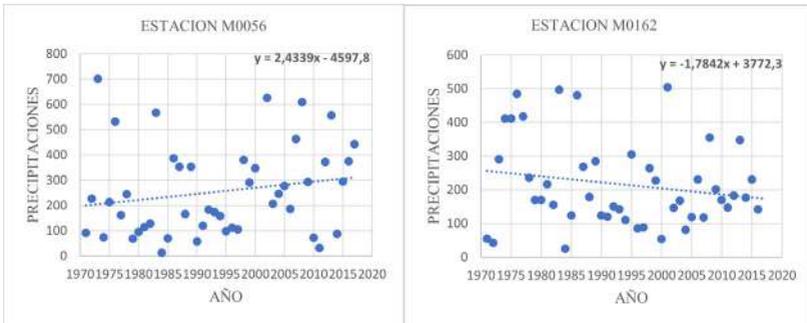
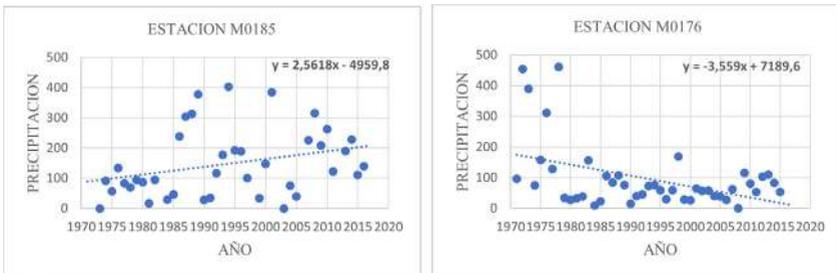


Figura 36.

Gráficos de 2 estaciones con problemas al cambio climático.

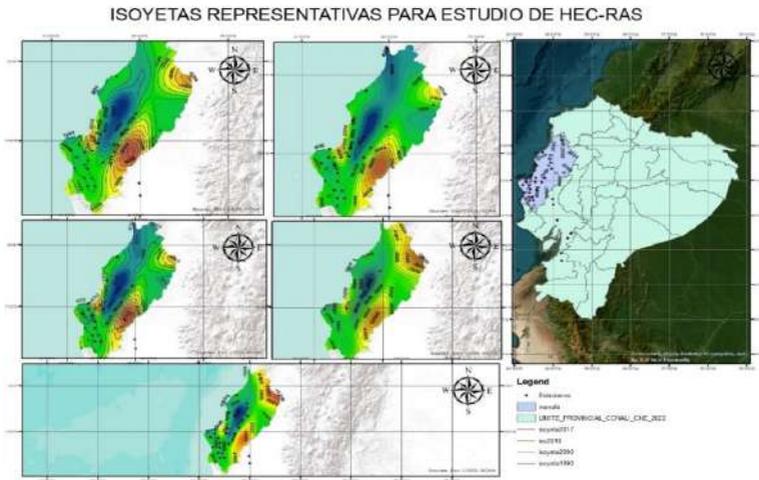


En la fase II, se lleva a cabo un análisis de la evolución del cambio climático mediante la elaboración de mapas de isoyetas utilizando ArcGIS. Estos mapas representan las precipitaciones más desfavorables a lo largo de los años de estudio. Además, se realiza una comparación de regresión lineal de temperatura durante el período de estudio para determinar la tendencia del cambio climático y proyectar las precipitaciones en los años futuros.

Los mapas de isoyetas revelan una variación significativa cada 10 años, lo que se traduce en un aumento de lluvias en ciertas áreas y una disminución de precipitaciones en otras zonas de Manabí, particularmente en Jipijapa. El modelado muestra un incremento gradual de las precipitaciones, lo cual podría ocasionar problemas en puentes y estructuras hidráulicas. Por otro lado, el análisis de temperaturas indica una tendencia que sugiere cambios climáticos significativos en el futuro. Estos resultados proporcionan información valiosa para la planificación y adaptación frente a los desafíos que plantea los eventos extremos como lluvias más intensas o también sequías en la región.

Figura 37.

ISOYETAS representación cada 10 años.



En el análisis de los datos hidrológicos, se consideraron los valores máximos de precipitación registrados en un período de tiempo determinado. Los resultados obtenidos indican que cuatro de las cinco estaciones hidrológicas estudiadas se ajustan a una Distribución Normal. Adicionalmente, se aplicó el método de Kolmogorov-Smirnov para evaluar la bondad de ajuste de los datos a diferentes distribuciones estocásticas. Este análisis estadístico proporciona una base sólida para la interpretación de los patrones de precipitación en las estaciones hidrológicas de estudio, lo cual es fundamental para la planificación y gestión de recursos hídricos en la región.

Tabla 15.

Bondad de ajuste de precipitaciones

Código	Estación	Gumbel (nivel) [cm]	Log Normal (nivel) [cm]	Log Pearson III (nivel) [cm]
M056	Chico Aj Portoviejo	508.804	465.256	417.018
H233	Junin Dj Est. Palmar	421.011	395.811	345.238
M0176	Pajan en Agua Fria	267.707	215.152	234.771
HAZD	Portoviejo en Picoaza	744.276	2.288.102	874.283

En la etapa final del análisis, se examinaron los valores de caudal máximo diario de las estaciones hidrológicas. De las estaciones inicialmente seleccionadas, solo dos proporcionaron datos relevantes para este parámetro. Estas fueron sometidas a la prueba de Kolmogorov-Smirnov, cuyos resultados indicaron que ambas estaciones presentan valores que se ajustan o tienden a una Distribución Normal. Consecuentemente, se procedió a realizar pruebas estadísticas adicionales sobre estos datos, cuyos resultados se presentan a continuación:

Tabla 16.

Valores de caudales de diseño para modelado.

Código	Estación	Gumbel (caudal) [m ³ /s]	Log Normal (caudal) [m ³ /s]	Log Pearson III (caudal) [m ³ /s]
M056	Chico Aj Portoviejo	60.523	112.081	52.572
H233	Junin Dj Est. Palmar	32.362	35.988	28.615

En la fase III, durante el análisis y modelado hidrodinámico del río y el puente “Daniel López” con el software HEC-RAS (Sistema de Análisis de Ríos del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos), se obtuvieron resultados importantes que brindan una comprensión detallada de la catástrofe que afectó al cantón Jipijapa. Esta simulación avanzada permitió visualizar y cuantificar el comportamiento del flujo de agua durante el evento extremo, incluyendo los niveles de inundación, las velocidades del flujo y las áreas de mayor riesgo. Los resultados no solo muestran la magnitud del desastre, sino que también destacan la creciente vulnerabilidad de la región ante eventos climáticos extremos, posiblemente intensificados por el cambio climático global. La información obtenida a través de este modelado es esencial para desarrollar estrategias precisas de mitigación y adaptación que refuercen la resiliencia de la comunidad frente a futuros eventos similares.

Figura 38.

Grafico en Civil 3D.

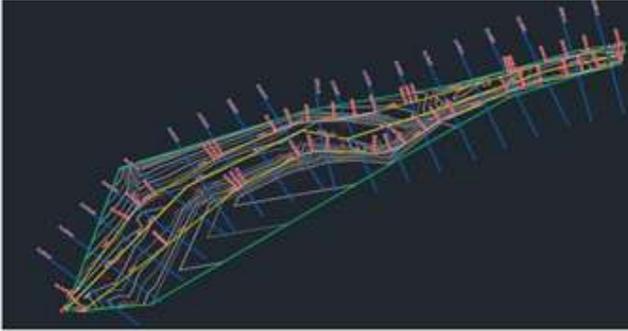


Figura 39.

Modelado en Hec-RAS.

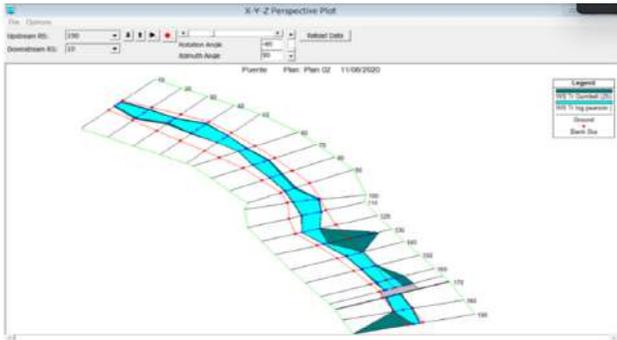


Figura 40.

Representación Hidráulica del modelado en HEC-RAS.

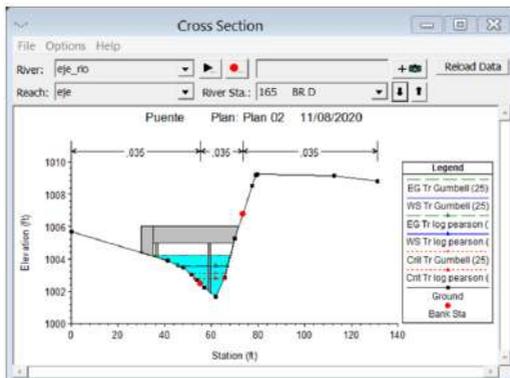


Figura 41.

Sección transversal respecto al plano 2.

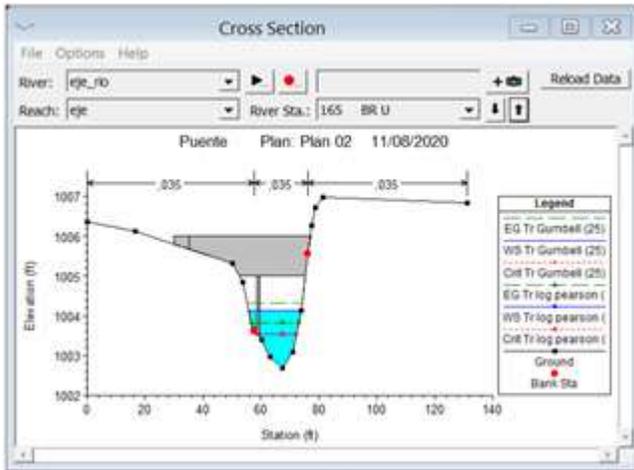
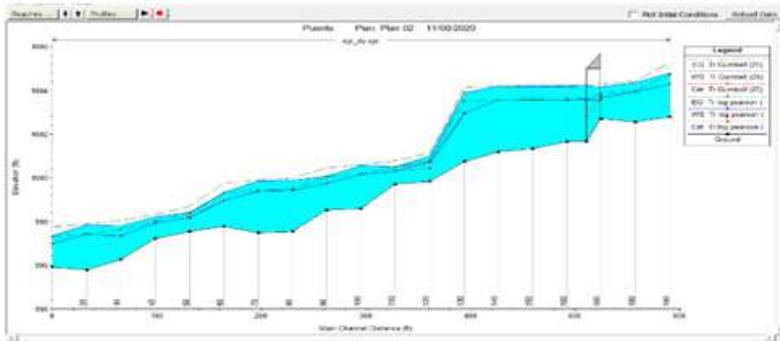


Figura 42.

Sección transversal respecto al plano 1.



El análisis de los datos meteorológicos e hidrológicos revela desafíos significativos en la gestión de infraestructuras hidráulicas en la región de Jipijapa. La variabilidad en los registros de precipitación entre las diferentes estaciones meteorológicas sugiere la necesidad de una red de monitoreo más densa para capturar con precisión los patrones de lluvia. Esta variabilidad, junto con la marcada diferencia en los caudales registrados a lo largo de los años (con variaciones de hasta un 4500%), subraya la importancia de considerar eventos extremos en el diseño y mantenimiento de infraestructuras. Además, la falta de estudios históricos sobre el estado del puente durante períodos de baja precipitación indica una posible negligencia en el mantenimiento y eva-

luación de infraestructuras críticas, lo que resalta la necesidad de un enfoque más proactivo en la gestión de estas estructuras.

La incertidumbre en los valores de caudal obtenidos a través de diferentes pruebas estadísticas pone de manifiesto la complejidad de modelar eventos hidrológicos extremos y la necesidad de enfoques múltiples en el análisis de datos. Aunque el puente Daniel López ha demostrado resistencia, el estudio sugiere la necesidad de medidas preventivas, como el aumento del borde libre y el refuerzo de terraplenes, para garantizar su integridad frente a futuros eventos extremos. En este contexto, la integración de herramientas de modelado avanzadas como HEC-RAS y Civil 3D en la planificación y gestión de infraestructuras hidráulicas se hace evidente para optimizar el diseño y la respuesta ante eventos climáticos extremos. Estas herramientas, combinadas con un monitoreo continuo y un mantenimiento adecuado, pueden mejorar significativamente la resiliencia de las infraestructuras críticas frente a los desafíos impuestos por el cambio climático y la variabilidad meteorológica.

Conclusiones

El estudio ha demostrado que el Fenómeno del Niño (ENOS) tiene un impacto significativo en el cantón Jipijapa, provocando períodos de altas precipitaciones que afectan tanto a la infraestructura como a la salud de la población. Se ha observado que el puente Daniel López, objeto central de esta investigación, muestra una notable resistencia frente a eventos de inundación asociados con ENOS, gracias a un diseño que supera los parámetros críticos de crecidas en términos de amplitud de lámina de agua, calado, velocidad y ángulo de esviaje. Sin embargo, las simulaciones realizadas con HEC-RAS para un período de retorno de 25 años revelan vulnerabilidades en el sistema de terraplén izquierdo, con varias secciones propensas a inundaciones debido a la baja pendiente longitudinal y taludes transversales de poca altura.

El modelado hidrológico indica que el puente podría sufrir daños estructurales con caudales de $70 \text{ m}^3/\text{s}$ o superiores, presentando un borde libre inferior a 1.2 m. Además, se ha identificado que la socavación afecta los estribos del puente, aunque en un área pequeña, lo que podría tener implicaciones estructurales significativas a largo plazo. Estos hallazgos subrayan la importancia de implementar medidas preventivas, como el aumento del borde libre y el refuerzo de terraplenes, para garantizar la integridad de la estructura frente a futuros eventos extremos.

En el contexto del cambio climático, estos resultados son especialmente relevantes. La proyección de un aumento en la frecuencia e intensidad de

fenómenos meteorológicos extremos, como los eventos ENOS, presenta desafíos adicionales para la gestión de infraestructuras hidráulicas. Es crucial que las autoridades locales y los planificadores tengan en cuenta estos escenarios climáticos futuros al diseñar, mantener y adaptar estructuras críticas como el puente Daniel López. La integración de herramientas de modelado avanzadas y el monitoreo continuo de las condiciones hidrológicas serán esenciales para desarrollar estrategias de resiliencia efectivas frente a un clima cambiante.

Referencias Bibliográficas

- Cai, W., Wang, G., Dewitte, B., Wu, L., Santoso, A., Takahashi, K., Yang, Y., Carréric, A., & McPhaden, M. J. (2018). Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming. *Nature*, *564*(7735), 201-206. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0776-9>
- Catto, J. L., & Dowdy, A. (2021). Understanding compound hazards from a weather system perspective. *Weather and Climate Extremes*, *32*, 100313. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100313>
- Chambers, J. E., Wilkinson, P. B., Uhlemann, S., Sorensen, J. P. R., Roberts, C., Newell, A. J., Ward, W. O. C., Binley, A., Williams, P. J., Gooddy, D. C., Old, G., & Bai, L. (2014). Derivation of lowland riparian wetland deposit architecture using geophysical image analysis and interface detection. *Water Resources Research*, *50*(7), 5886-5905. <https://doi.org/10.1002/2014WR015643>
- García, M. C., Piñeros Botero, A., Bernal Quiroga, F. A., & Ardila Robles, E. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia*. *Revista de Ingeniería*, *36*, 60-64. <https://doi.org/10.16924/revinge.36.11>
- Garré, S., Günther, T., Diels, J., & Vanderborght, J. (2012). Evaluating Experimental Design of ERT for Soil Moisture Monitoring in Contour Hedge-row Intercropping Systems. *Vadose Zone Journal*, *11*(4), vzj2011.0186. <https://doi.org/10.2136/vzj2011.0186>
- Hassan, M., Janda, M., & Machala, Z. (2021). Transport of Gaseous Hydrogen Peroxide and Ozone into Bulk Water vs. Electrospayed Aerosol. *Water*, *13*(2), 182. <https://doi.org/10.3390/w13020182>

- Hazman, Ö., & Çeli K, S. (2014). *Effects of Oral Anti-diabetic Agent Sitagliptin on Total Antioxidant and Oxidant Status in Rats with Type 2 Diabetes Mellitus*.
- Holbrook, N. J., Sen Gupta, A., Oliver, E. C. J., Hobday, A. J., Benthuyssen, J. A., Scannell, H. A., Smale, D. A., & Wernberg, T. (2020). Keeping pace with marine heatwaves. *Nature Reviews Earth & Environment*, *1*(9), 482-493. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0068-4>
- Jiménez, A. H., Macías, L. V., Basurto, C. A. N., Cedeño, Á. M. G., Arrieta, M. V., Zambrano, T. R., Gallo, F. M., Ormanza, K., Aguilar, R. V. L., & Alava, G. A. L. (2017). Variaciones En Algunas Propiedades Del Suelo Por El Cambio De Uso De La Tierra, En Las Partes Media Y Baja De La Microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, *38*(1), 50-56.
- Kim, S.-H., Kim, J.-B., & Bae, D.-H. (2022). Optimizing Parameters for the Downscaling of Daily Precipitation in Normal and Drought Periods in South Korea. *Water*, *14*(7), 1108. <https://doi.org/10.3390/w14071108>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, Ö., Yu, R., & Zhou, B. (Eds.). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Merchán-Sanmartin, B., Guadamud-Soledispa, E., Bravo-Murillo, G., & Carrión-Mero, P. (2022). **PROPOSAL FOR THE LOCATION OF A WASTE MANAGEMENT CENTER ON A UNIVERSITY CAMPUS: A CASE STUDY**. 121-132. <https://doi.org/10.2495/WMEI220111>
- Piemontese, L., Neudert, R., Oberlack, C., Pedde, S., Roggero, M., Buchadas, A., Martin, D. A., Orozco, R., Pellowe, K., Segnon, A. C., Zarbá, L., & Sietz, D. (2022). Validity and validation in archetype analysis: Practical assessment framework and guidelines. *Environmental Research Letters*, *17*(2), 025010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4f12>
- Ranasinghe, R., Ruane, A. C., Vautard, R., Arnell, N., Coppola, E., Cruz, F. A., Dessai, S., Islam, A. S., Rahimi, M., Ruiz Carrascal, D., Sillmann, J., Sylla, M. B., Tebaldi, C., Wang, W., & Zaaboul, R. (2021). Climate change information for regional impact and for risk assessment. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger,

N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, Ö. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1767-1926). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>

Tripathy Furlong, B., Adams, H., Boas, I., Warner, J., & Van Dijk, H. (2022). Gendered (im)mobility: Emotional decisions of staying in the context of climate risks in Bangladesh. *Regional Environmental Change*, 22(4), 123. <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01974-4>

Vallejo Valdivieso, P., Pincay, G., & Pilligua, P. (2018). *ASPECTOS PSICOSOCIALES DE LOS INTERNOS VARONES DEL CENTRO DE ADOLESCENTES EN CONFLICTO CON LA LEY QUE SUFRIERON MALTRATO FAMILIAR EN LA INFANCIA*. 327.

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 8

Análisis del diseño geométrico de
vías: revisión y tendencias actuales en
la literatura académica

AUTORES: Salomón Antonio Bravo Macías; Víctor Alejandro Lino Calle; Daniel David Carvajal Rivadeneira; Gonzalo Hernán Baque Barrera



SABEREC 5.0

Análisis del diseño geométrico de vías: revisión y tendencias actuales en la literatura académica

Analysis of roadway geometric design: review and current trends in the academic literature

Resumen

En la actualidad, el análisis del diseño geométrico de vías es fundamental debido al crecimiento urbano y a la creciente demanda de soluciones de movilidad sostenible. Este artículo tiene como objetivo realizar una revisión de la literatura académica reciente sobre el diseño geométrico de vías. Se busca identificar las tendencias actuales, los enfoques metodológicos y las innovaciones tecnológicas que están transformando este campo. Se llevó a cabo una revisión sistemática de artículos científicos, estudios de casos y publicaciones relevantes en bases de datos académicas. Se seleccionaron estudios que abordaran temas como el diseño para la seguridad vial, la optimización del flujo vehicular, la integración de infraestructuras sostenibles y la aplicación de nuevas tecnologías en el diseño geométrico de vías. Los resultados destacan diversas tendencias emergentes, como el uso de técnicas avanzadas de modelado y simulación para la evaluación de diseños, la incorporación de criterios de accesibilidad universal y la implementación de soluciones basadas en datos para mejorar la gestión del tráfico y la reducción de impactos ambientales. Se concluye que es vital integrar enfoques multidisciplinarios que consideren eficiencia operativa, seguridad vial, sostenibilidad ambiental e inclusión social en el diseño geométrico de vías.

Palabras clave: diseño vial, movilidad urbana, seguridad vial, sostenibilidad urbana, infraestructura sostenible, tecnologías de modelado vial.

Abstract

Nowadays, the analysis of roadway geometric design is essential due to urban growth and the increasing demand for sustainable mobility solutions. This article aims to review the recent academic literature on roadway geometric design. It seeks to identify current trends, methodological approaches and technological innovations that are transforming the field. A systematic review of scientific articles, case studies and relevant publications in academic databases was carried out. Studies were selected that addressed topics such as design for road safety, optimization of vehicular flow, integration of sustainable infrastructures and application of new technologies in road geometric design. The results highlight several emerging trends, such as the use of advanced modeling and simulation techniques for design evaluation, the incorporation of

universal accessibility criteria, and the implementation of data-driven solutions to improve traffic management and reduce environmental impacts. It is concluded that it is vital to integrate multidisciplinary approaches that consider operational efficiency, road safety, environmental sustainability and social inclusion in roadway geometric design.

Keywords: road design, urban mobility, road safety, urban sustainability, sustainable infrastructure, road modeling technologies.

Introducción

En la ingeniería civil, el diseño geométrico de vías es esencial para garantizar la seguridad y eficiencia del tránsito vehicular. Este proceso abarca la planificación detallada de la geometría de las carreteras, considerando factores clave como la longitud de los tramos, la velocidad de operación y la percepción del conductor. La finalidad es evitar cambios bruscos que puedan comprometer la seguridad, minimizando así el riesgo de accidentes. Al optimizar estos elementos, se contribuye al desarrollo de infraestructuras viales más seguras y funcionales (Borja, 2017).

En el ámbito Internacional, se compararon normativas de diseño de mini-rotondas en España, Estados Unidos y Colombia, evaluando parámetros geométricos, criterios de diseño, estética y seguridad. Mediante simulaciones en Vehicle Tracking, se analizaron diferentes configuraciones para determinar parámetros clave, como el ancho de carril y el diámetro del círculo inscrito, considerando los ángulos de entrada y salida y dos tipos de vehículos de diseño, con la finalidad de optimizar la selección de estos parámetros según el espacio disponible (Uribe & Villamil, 2021)

En América Latina, específicamente en Perú, se ha demostrado en estudios recientes que la implementación de sistemas expertos en el diseño geométrico de vías urbanas mejora significativamente tanto la productividad como la eficiencia. Estos sistemas optimizan procesos cruciales, como la evaluación de áreas y el alineamiento de rutas, reducen errores y aceleran las revisiones. Además, el uso detallado de modelos digitales en el diseño permite alcanzar los objetivos del proyecto dentro de los plazos establecidos, subrayando el impacto positivo de la tecnología en el desarrollo de infraestructuras (Rojas & Vilchez, 2024).

En Ecuador, estudios sobre el diseño geométrico de vías buscan mejorar la calidad de vida en las comunidades. Un ejemplo es la vía a la playa San José en Montecristi, Manabí, donde se identificó un suelo de tipo CL, con arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad. El terreno ondulado de la

carretera genera cambios en las pendientes, y actualmente, no cumple con las normas del MOP 2003. Por ello, se propone un rediseño geométrico que contemple una estructura de pavimento flexible adecuada para las condiciones del suelo (Endara & Delgado, 2024).

Las tendencias actuales en el diseño geométrico de vías están marcadas por un enfoque integral que combina sostenibilidad, tecnología avanzada y diseño inclusivo. La sostenibilidad se refleja en la adopción de materiales reciclados y técnicas que reducen el impacto ambiental. El uso de software de modelado avanzado permite optimizar el diseño y prever el comportamiento del tráfico de manera más precisa. Además, el diseño inclusivo se enfoca en garantizar la seguridad y accesibilidad de todos los usuarios de la vía, incluyendo peatones y ciclistas, promoviendo una infraestructura más equitativa (Valencia & Cruz, 2021).

Este trabajo se justifica por la necesidad de actualizar y optimizar el diseño geométrico de vías en Ecuador, teniendo en cuenta las mejores prácticas internacionales y las características específicas de cada región. En el contexto actual, donde el crecimiento urbano y la demanda de infraestructuras seguras y eficientes son cada vez más apremiantes, es importante que el país adopte un enfoque moderno y adaptado a sus condiciones particulares. Esto implica la incorporación de tecnologías avanzadas y sistemas expertos que permitan una planificación más precisa y efectiva, también la consideración de factores locales como las condiciones topográficas, climáticas y socioeconómicas, que varían significativamente entre las distintas regiones del país.

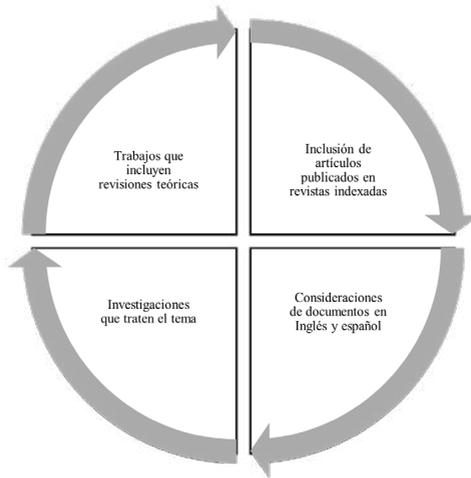
El objetivo de la investigación es realizar una revisión de la literatura académica reciente sobre el diseño geométrico de vías para identificar las tendencias actuales, los enfoques metodológicos y las innovaciones tecnológicas que están transformando este campo.

Materiales y métodos

El diseño geométrico de vías desempeña un papel fundamental en la ingeniería civil al afectar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad de las infraestructuras viales. En un contexto de rápido crecimiento urbano y creciente necesidad de soluciones de movilidad adaptadas a las exigencias modernas, es crucial actualizar y perfeccionar las prácticas en este campo. Para llevar a cabo esta revisión sistemática, se seleccionaron estudios basados en los siguientes criterios:

Figura 43.

Revisión sistemática.



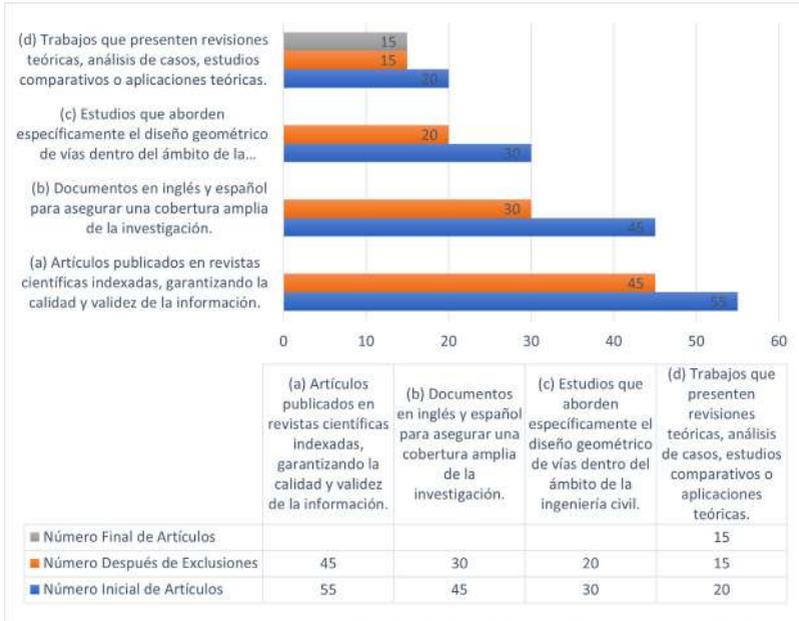
Fuente: Adaptado del estudio rol de la Ingeniería en el desarrollo sostenible: tendencias y desafíos por Zavala et al. (2024)

La *Figura 43* ilustra los criterios utilizados para la selección de estudios en esta revisión sistemática. Estos criterios incluyen: (a) la inclusión de artículos publicados en revistas científicas indexadas, garantizando la calidad y validez de la información; (b) la consideración de documentos en inglés y español para asegurar una cobertura amplia de la investigación; (c) el enfoque en estudios que aborden específicamente el diseño geométrico de vías dentro del ámbito de la ingeniería civil; y (d) la selección de trabajos que presenten revisiones teóricas, análisis de casos, estudios comparativos o aplicaciones teóricas.

Se excluyeron aquellos estudios que no estuvieran directamente vinculados con el diseño geométrico de vías, así como aquellos que no abordaran aspectos significativos de sostenibilidad y tecnología en este ámbito. También se descartaron publicaciones que requerían acceso a datos empíricos no disponibles públicamente, lo que garantiza que los estudios incluidos sean accesibles y puedan ser revisados y evaluados en su totalidad. Este enfoque riguroso busca asegurar que la revisión sistemática proporcione una visión completa y actualizada de las tendencias y avances en el diseño geométrico de vías.

Figura 44.

Selección de artículos.



En el proceso de revisión sistemática, se iniciaron con 55 artículos y tesis que cumplieran con los criterios generales de relevancia y que fueron publicados en los últimos 10 años. El primer filtro se basó en la publicación en revistas científicas indexadas, lo que garantizaba la calidad y validez de la información. De los 55 escritos iniciales, 10 fueron excluidos porque no cumplían con este criterio, resultando en un total de 45 artículos restantes. El siguiente paso consistió en revisar los artículos para asegurarse de que abordaran aspectos significativos de sostenibilidad y tecnología en el diseño geométrico de vías. Este criterio permitió descartar 15 artículos adicionales que no se alineaban con la temática de sostenibilidad y tecnología, reduciendo el número de artículos a 30.

A continuación, se realizó una evaluación más específica para verificar que los estudios se enfocaran exclusivamente en el diseño geométrico de vías dentro del ámbito de la ingeniería civil. Se encontraron 10 artículos que no cumplían con este enfoque y fueron excluidos, dejando 20 artículos para la revisión final. Finalmente, se aplicó un criterio adicional que requería que los artículos incluyeran revisiones teóricas, análisis de casos, estudios compara-

tivos o aplicaciones teóricas. De los 20 artículos restantes, 5 fueron excluidos porque no cumplían con este criterio, resultando en una selección final de 15 artículos que cumplen con todos los criterios establecidos para una revisión sistemática exhaustiva.

Este proceso riguroso asegura que los 15 artículos seleccionados proporcionen una visión completa y actualizada sobre las tendencias y avances en el diseño geométrico de vías, alineándose con los objetivos de la revisión. Para analizar el corpus de los 15 artículos seleccionados, se utilizó el Análisis de Texto Discursivo (ATD). Esta herramienta permitió una evaluación detallada y sistemática de los textos, identificando patrones y tendencias clave en el diseño geométrico de vías. El ATD facilitó la extracción de información relevante y la generación de insights profundos sobre los temas tratados en los artículos, garantizando una revisión exhaustiva y bien.

Resultados

A continuación, se presentan las áreas clave del análisis textual discursivo (ATD), que abarcan tres aspectos fundamentales: en primer lugar, la sostenibilidad en la infraestructura vial, que se enfoca en la integración de criterios socioambientales para equilibrar impactos económicos, ambientales y sociales en todas las fases del proyecto. En segundo lugar, la gestión y diseño vial, que destaca los desafíos en la planificación y mantenimiento de la infraestructura, incluyendo la necesidad de soluciones innovadoras y la implementación de tecnologías avanzadas. Por último, la comparación entre el levantamiento topográfico con estación total y el uso de modelos digitales como Google Earth en el diseño geométrico de carreteras, analizando la precisión y eficiencia de ambos métodos.

Sostenibilidad en infraestructura vial

La sostenibilidad en la infraestructura vial ha ganado relevancia en los últimos años, destacando la importancia de equilibrar las fases de un proyecto con un enfoque que integre aspectos socioambientales. Es fundamental minimizar los impactos negativos y considerar los efectos económicos, ambientales y sociales en la planificación, construcción, operación y mantenimiento de las obras viales. Esto se logra implementando medidas para proteger tanto el medio ambiente como las comunidades locales, asegurando un desarrollo económico sostenible y responsable (Espinoza & Arriola, 2021).

Diversas investigaciones abordan la problemática de la movilidad y la ocupación territorial en zonas con infraestructura vial limitada, subrayando la necesidad de mejorar la red vial existente (Municipio del Distrito Metropolitano

de Quito, 2021). Este enfoque tiene un impacto significativo en la percepción ciudadana y en la movilidad sostenible. Al combinar la optimización de la infraestructura actual con la construcción de nueva infraestructura, se maximiza el efecto positivo en la movilidad. Por último, la seguridad vial también es clave dentro de la sostenibilidad, integrando criterios de actuación y soluciones que promuevan la equidad social y la reducción del consumo energético. La Estrategia Española de Movilidad Sostenible ejemplifica cómo la planificación territorial y urbanística puede mejorarse para reducir riesgos de accidentes y mejorar la calidad del aire y el ruido ambiental. Sin embargo, persisten desafíos en la implementación efectiva debido a la necesidad de importantes esfuerzos económicos, compromisos políticos y coordinación administrativa (González et al., 2017; Ordoñez & Meneses, 2015).

Gestión y diseño vial: desafíos y avances

El análisis de la gestión vial y del espacio público subraya la necesidad de un enfoque integral para la planificación y mantenimiento de la infraestructura. Un sistema de gestión eficaz maximiza los recursos y asegura la durabilidad de vías y puentes. Sin embargo, se han identificado problemas significativos en el diseño y uso del espacio peatonal, lo que revela un sistema vial desarticulado (Birche, 2021; Menchola, 2016). La propuesta de rediseñar estos espacios integrando funcionalidad y estética destaca la importancia de una planificación urbana holística, a pesar de la falta de datos actualizados sobre tránsito peatonal y de bicicletas. En la gestión y diseño vial, la integración de tecnologías avanzadas y materiales reciclados, como se ha visto en Chile, junto con la colaboración entre sectores y mejoras normativas, son esenciales para un desarrollo vial más eficiente y sostenible (Altavia Ingeniería, 2024).

Un estudio reciente sobre la formación vial en los estudios de pregrado en Ecuador ha revelado que las defunciones y lesiones causadas por accidentes de tránsito constituyen un grave problema de salud pública en el país, con una tendencia en aumento. A nivel global, la seguridad vial es una de las principales preocupaciones debido a su impacto significativo en la accidentalidad (Ibarra & Moreno, 2023). La bibliografía consultada, incluyendo fuentes clave como la Agencia Nacional de Regulación y Control de Tránsito, Transporte Terrestre y Seguridad Vial (2018), confirma la gravedad de esta situación.

Aunque la geografía plana de la ciudad y la población estudiantil favorecen el uso de bicicletas, se han identificado problemas importantes en la infraestructura vial. Entre estos problemas se encuentran la falta de conexión y la ausencia de una adecuada jerarquización vial. Estas deficiencias con-

tribuyen a la congestión vehicular y se ven agravadas por el aumento del parque automotriz y las modificaciones en las formas de habitar (Pérez & Landin, 2019). Esto señala una necesidad urgente de actualizar y flexibilizar los instrumentos de planificación urbana para promover un uso más efectivo de la bicicleta y mejorar la infraestructura vial en general.

Diseño geométrico: Estación Total vs. Google Earth

Para abordar la comparación entre el levantamiento topográfico con estación total y un modelo digital de Google Earth en la determinación de volúmenes de explanación, primero es importante entender el enfoque de diseño geométrico en carreteras. El diseño geométrico de carreteras es un proceso fundamental en la ingeniería vial que busca definir las características físicas de una carretera para asegurar su funcionalidad, seguridad y eficiencia. Este proceso incluye la alineación horizontal y vertical, el diseño de curvas, pendientes y transiciones, así como la gestión de drenaje y visibilidad (Piguave & Ponce, 2023).

El diseño geométrico de carreteras debe ser preciso para garantizar una circulación fluida y segura. La recopilación precisa de datos topográficos es esencial para realizar un diseño eficaz (Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú, 2018). Tradicionalmente, se utiliza una estación total para levantar datos topográficos detallados, proporcionando una medición exacta de las características del terreno. Este método permite una alta precisión en la determinación de volúmenes de explanación y otros aspectos del diseño geométrico (Guevara, 2022).

Por otro lado, la utilización de modelos digitales, como los proporcionados por Google Earth, ofrece una herramienta rápida y de bajo costo para la visualización y el análisis preliminar. Sin embargo, estos modelos digitales pueden presentar errores significativos en la exactitud posicional, lo que puede afectar la precisión de los cálculos y el diseño. Aunque Google Earth puede optimizar el tiempo y reducir los costos en la etapa de diseño, su precisión en la determinación de volúmenes de explanación y otras medidas topográficas suele ser inferior a la proporcionada por métodos tradicionales (Huaman & Quichca, 2021; Surichaqui et al., 2023).

Conclusiones

Se concluye que la revisión de la literatura académica reciente sobre el diseño geométrico de vías muestra una transformación significativa en el campo, impulsada por varias tendencias clave. En primer lugar, se observa un enfoque creciente hacia la sostenibilidad, con metodologías que integran criterios ambientales, sociales y económicos para minimizar impactos negativos y promover un desarrollo más responsable y equilibrado. Además, la incorporación de innovaciones tecnológicas, como herramientas de modelado digital y simulaciones avanzadas, está revolucionando el diseño geométrico de vías, permitiendo una mayor precisión y eficiencia en la planificación y ejecución de proyectos. Las técnicas tradicionales de levantamiento topográfico, como el uso de estaciones totales, siguen siendo fundamentales, pero están siendo complementadas y, en algunos casos, superadas por tecnologías digitales que ofrecen beneficios en términos de costo y tiempo. La literatura también destaca la importancia de enfoques metodológicos que faciliten una planificación holística y adaptable, capaz de responder a los desafíos cambiantes de la movilidad urbana y las necesidades emergentes de infraestructura. En resumen, el campo está en una fase de evolución dinámica, con una clara tendencia hacia la integración de tecnologías avanzadas y la optimización de prácticas sostenibles en el diseño geométrico de vías.

Referencias Bibliográficas

- Agencia Nacional de Regulación y Control de Tránsito, Transporte Terrestre y Seguridad Vial. (2018). *Ley orgánica de transporte terrestre y seguridad vial*. 1–66. <https://acortar.link/2KIIH7>
- Altavia Ingeniería. (2024). *Navegando el trayecto: desafíos actuales en la planificación vial y estrategias para superar obstáculos comunes*. <https://acortar.link/z5WNZx>
- Alvarez, A. P. C., & Carranza, T. J. C. (2021). “*influencia de la adición de fibras de polímeros reciclados en la capacidad de soporte de la subrasante, para el diseño del pavimento flexible, Alto Trujillo - Barrio I, 2021*.”
- Amoussou, R. I. H. D. T., Sasaki, M., & Shigeishi, M. (2016). An Application of Pulsed Power Technology and Subcritical Water to the Recycling of Asphalt Concrete. *Procedia Engineering*, 143(Ictg), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.001>
- Ataypoma, K. R. (2021). Diagnóstico de la transitabilidad vial y propuesta de diseño estructural del pavimento de la localidad de chinchihuasi, con la metodología AASHTO 93. *Universidad Peruana Los Andes*, 1–20. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/1592>
- Ayala-lópez, J. E., Gil-ahumada, E., Cornejo-ramos, R. D., & Muñoz-pérez, S. P. (2022). *Metodologías empleadas para la producción de concreto permeable usando parcialmente materiales reciclados como agregados : una revisión literaria*. 1–19.
- Bautista Corrales, D., & Zabarburu Lopez, W. F. (n.d.). *Adición de vidrio molido y neumáticos reciclados en la mezcla asfáltica para pavimento flexible - Avenida Parinacochas, Lima – 2022*
- Birche, M. E. (2021). DIAGNOSIS of USE and DESIGN of PEDESTRIAN SPACE CONTRIBUTIONS from the LANDSCAPE for the CITY of LA PLATA, ARGENTINA. *Urbano*, 24(44), 58–69. <https://doi.org/10.22320/07183607.2021.24.44.05>
- Borja, M. (2017). *Análisis del diseño geométrico de carreteras*. 1–46.
- Endara, L., & Delgado, R. (2024). *Diseño geométrico y estructural de la carretera que conecta la playa San José con la carretera estatal 15+607 - Montecristi* [Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6534>
- Espinoza, M., & Arriola, R. (2021). Manual de Normas Generales para la Preservación del Ambiente en Proyectos de Infraestructura Vial Sostenible

- (MNA): Un avance en materia socioambiental para el sector de obra vial en Costa Rica. *Boletín Técnico*, 1–9. <https://acortar.link/nfJGU>
- García, A., Pérez, A., & Camacho, J. (2012). Introducción al Diseño Geométrico de Carreteras: Concepción y Planteamiento. *Universidad Politécnica de Valencia*, 1, 1–10. <https://acortar.link/yqCn6G>
- González, J. D., Escobar, D. A., & González, C. A. (2017). Metodología para la formulación de planes de acción en infraestructura vial en el contexto de planes de movilidad urbana: Caso de estudio Cali-Colombia. *Espacios*, 38(29), 1–17.
- Guevara, I. (2022). *Diseño Geométrico de Carreteras*. Ingegeek. <https://www.ingegeek.site/2022/03/15/disenio-geometrico-de-carreteras-explicacion/>
- Huaman, M., & Quichca, W. (2021). Estudio comparativo del diseño geométrico de una carretera con levantamiento topográfico (estación total y modelo digital Google Earth), en la provincia de Angaraes - Huancaavelica [Escuela Profesional de Ingeniería Civil - LIRCAY]. In *Repositorio Institucional - UNH*. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2755>
- Ibarra, A., & Moreno, L. (2023). *Estudio bibliográfico en la seguridad vial* [Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6527>
- Menchola, M. (2016). El Riesgo de Diseño en los Contratos de Concesión de Infraestructura Vial. *Revista de Derecho Administrativo*, 16, 61–74.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú. (2018). *Manual de carreteras: diseño geométrico DG - 2018*. <https://acortar.link/Zo1Onx>
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2021). *Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2021 - 2033*. 1–742. https://www.quito.gob.ec/documents/rendicion_cuentas/2022/PMDOT_2021-2033.pdf
- Ordoñez, M., & Meneses, L. (2015). Volumen 25-2 CRITERIOS E INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN EL SUBSECTOR VIAL. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 81–98. <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1433>
- Pérez, R., & Landin, J. (2019). Movilidad cotidiana, intermodalidad y uso de la bicicleta en dos áreas periféricas de la Zona Metropolitana del Valle de México. *Cybergeog: European Journal of Geography [En Ligne]*. <https://doi.org/10.4000/cybergeog.33554>

- Piguave, X., & Ponce, F. (2023). *Análisis de una propuesta para el diseño geométrico de un anillo vial perimetral en la Ciudad de Jipijapa mediante herramientas digitales (Alternativa I)* (Issue 261) [Universidad Estatal Del Sur De Manabí]. [https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/5555/1/Moreira Tubay Selena Thalya.pdf](https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/5555/1/Moreira_Tubay_Selena_Thalya.pdf)
- Rojas, W., & Vilchez, J. (2024). *Impacto del sistema experto en la productividad del proceso de diseño geométrico para vías urbanas de altas pendientes - Lima* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/132725>
- Surichaqui, F., Manrique, A., Ore, M., & Quichca, W. (2023). Estudio comparativo del diseño geométrico de carretera con levantamiento topográfico (estación total, modelo digital Google-earth), en la provincia de Angaraes. *Revista Científica Ciencias Ingenieriles*, 3(1), 1–10. <https://doi.org/10.54943/ricci.v3i1.220>
- Uribe, C., & Villamil, J. (2021). *Guía para el diseño geométrico en planta y sección transversal de mini glorietas urbanas en fase preliminar* [Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. <https://acortar.link/x31gWz>
- Valencia, D., & Cruz, M. (2021). *Análisis diseño geométrico y estructura de cuatro segmentos viales, para el mejoramiento de la movilidad localizados en la carretera 51D entre calle 36-06 sur hasta calle 38A-19 sur, barrio Muzú, localidad Puente Aranda Bogotá* [Universidad Católica de Colombia]. <https://acortar.link/vTsvfl>
- Zavala, C., Lino, V., Cordero, M., & Sornoza, D. (2024). El rol de la Ingeniería Civil en el desarrollo sostenible: Tendencias y desafíos. *Revista Alcance*, 7(1), 1–13. <https://doi.org/10.47230/ra.v7i1.57>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 9

Revisión de las normativas de
construcción de edificaciones para
uso de viviendas en la ciudad de
Jipijapa

AUTORES: Jonathan Andrés Baque Anzulez; Mauricio Leonel Lourido Choez; Carlos Adrián Morán Soledispa; Víctor Alejandro Lino Calle



SABEREC 5.0

Revisión de las normativas de construcción de edificaciones para uso de viviendas en la ciudad de Jipijapa

Review of construction regulations for residential buildings in the city of Jipijapa

Resumen

La ciudad de Jipijapa, ubicada en la provincia de Manabí, Ecuador, ha experimentado un crecimiento poblacional en las últimas décadas por la estadia de los estudiantes que vienen a la Universidad Estatal del Sur de Manabí. Este crecimiento ha generado una demanda mayor de viviendas. La falta de aplicación de las regulaciones puede resultar en construcciones deficientes, afectando la calidad de vida de los habitantes y la sostenibilidad del desarrollo urbano. El objetivo de este estudio es analizar la efectividad de las normativas de construcción de edificios de uso para viviendas en la ciudad de Jipijapa, identificando las principales barreras y desafíos que impiden su cumplimiento. Se realizó en este trabajo una revisión de las normativas vigentes de construcción en la ciudad, enfocándose en las leyes, reglamentos y directrices que regulan las etapas a seguir desde su diseño hasta la culminación de la obra civil. Además, se examinarán informes oficiales y estudios académicos realizados anteriormente. Los resultados preliminares indican que, aunque las normativas de construcción son completas y acordes con códigos nacionales e internacionales, existen múltiples factores que afectan su cumplimiento, tales como: la falta de supervisión adecuada, la corrupción, la falta de conocimiento técnico por parte de los constructores y la ausencia de sanciones efectivas para las infracciones. Se concluye en este trabajo que la efectividad de las normativas de construcción de viviendas en Jipijapa está severamente comprometida por una serie de desafíos institucionales y prácticos.

Palabras Clave: crecimiento urbano, regulación edilicia, calidad constructiva, supervisión normativa, desarrollo sostenible, seguridad habitacional

Abstract

The city of Jipijapa, located in the province of Manabí, Ecuador, has experienced population growth in recent decades due to the stay of students coming to the Universidad Estatal del Sur de Manabí. This growth has generated an increased demand for housing. The lack of enforcement of regulations can result in poor construction, affecting the quality of life of the inhabitants and the sustainability of urban development. The objective of this study is to analyze the effectiveness of construction regulations for residential buildings in the city of Jipijapa, identifying the main barriers and challenges that prevent complian-

ce. A review of the current construction regulations in the city was carried out, focusing on the laws, regulations and guidelines that regulate the stages to be followed from design to completion of the civil work. In addition, official reports and previously conducted academic studies will be reviewed. Preliminary results indicate that, although building regulations are complete and in accordance with national and international codes, there are multiple factors that affect compliance, such as: lack of adequate supervision, corruption, lack of technical knowledge on the part of builders, and the absence of effective sanctions for infractions. This paper concludes that the effectiveness of housing construction regulations in Jipijapa is severely compromised by a series of institutional and practical challenges.

Keywords: urban growth, building regulation, construction quality, regulatory oversight, sustainable development, housing safety.

Introducción

A menudo, la construcción de viviendas se realiza sin la obtención de los permisos necesarios, sin la elaboración de planos detallados y sin la supervisión de profesionales cualificados. Esta práctica, que elude los requisitos normativos, puede resultar en edificaciones que no cumplen con los estándares de seguridad y calidad, exponiendo a los ocupantes a riesgos estructurales significativos. La falta de un diseño adecuado y de permisos reglamentarios compromete la integridad de las viviendas, teniendo efectos adversos sobre la comunidad y el entorno urbano en general. Para Loor & Véliz (2022), en los proyectos de vivienda, se observa una prioridad hacia un enfoque basado en la cantidad, centrado en el número de viviendas construidas. Esto ha llevado a relegar los aspectos de calidad, a pesar de que es fundamental que las viviendas proporcionen condiciones de confort que satisfagan las necesidades humanas en términos de salud, espacio y seguridad en su entorno

El constante cambio y desarrollo en las ciudades a nivel mundial exige una atención rigurosa a las infraestructuras urbanas. Con el aumento de la población y los avances tecnológicos, es importante llevar a cabo evaluaciones periódicas de edificios y calles para garantizar su seguridad y funcionamiento óptimo. La evaluación de las estructuras civiles desempeña un papel vital en la planificación urbana, la prevención de desastres y la mejora de la calidad de vida de los residentes. Este proceso permite identificar debilidades potenciales, asegurar el cumplimiento de las normativas vigentes y adaptar las infraestructuras a las necesidades dinámicas de las ciudades modernas (Quiroz, 2023).

Dado que Ecuador se encuentra en una zona con alta actividad sísmica, es esencial establecer requisitos mínimos para el análisis, diseño y construcción de viviendas resistentes a sismos. Esto asegurará que las construcciones respondan de manera adecuada ante las fuerzas sísmicas, salvaguardando la vida y los bienes de quienes las habitan (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014). Además, la normativa enfatiza la accesibilidad, asegurando que las edificaciones sean funcionales para todas las personas, incluyendo aquellas con discapacidades. Esto se logra mediante la implementación de normas para eliminar barreras arquitectónicas y facilitar el acceso a espacios públicos y privados (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2012).

En Cuenca, los edificios residenciales deben cumplir con normas específicas para garantizar condiciones adecuadas. Cada unidad de vivienda debe incluir sala de estar, dormitorio, cocina, cuarto de baño y área de servicio. Los locales habitables deben tener una superficie mínima de 6,00 m² con dimensiones laterales de al menos 2,00 metros, mientras que los dormitorios exclusivos requieren una superficie de 8,90 m² y dimensiones mínimas de 2,70 metros. La sala de estar y el comedor deben tener al menos 7,30 m², y la cocina, 4,50 m² con un mesón de trabajo. Los baños deben cumplir con dimensiones mínimas, con excepciones para baños sociales bajo ciertas condiciones (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca, 2022).

En Jipijapa, la construcción de viviendas está regulada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y diversas ordenanzas municipales que supervisan el uso del suelo y el fraccionamiento. La NEC establece requisitos para edificaciones, especialmente aquellas de más de dos pisos, exigiendo estudios de suelo para asegurar la estabilidad estructural y promover técnicas sismo-resistentes. Las ordenanzas municipales regulan el diseño y la densidad poblacional para mantener el orden territorial. Además, los proyectos de vivienda de interés social en la región buscan utilizar materiales y métodos accesibles para mejorar la calidad de vida de las familias de bajos recursos. Sin embargo, la falta de permisos y supervisión en algunas construcciones puede poner en riesgo la seguridad y la integridad de las edificaciones (Gobierno Atonómo descentralizado Municipal del Cantón Jipijapa, 2017).

A pesar de las normativas en vigor en el cantón, se han observado casos de construcciones realizadas sin los permisos necesarios, lo cual representa un riesgo significativo para la seguridad de las edificaciones. La falta de una supervisión adecuada puede poner en peligro la estabilidad de las estructuras y generar problemas tanto económicos como de seguridad para los propietarios. Esta situación subraya la necesidad de un control más riguroso para

garantizar el cumplimiento de las regulaciones y proteger la integridad de las construcciones.

Lo que conlleva a la formulación del problema ¿Cómo afecta la falta de permisos y supervisión en la seguridad de las construcciones en el cantón?

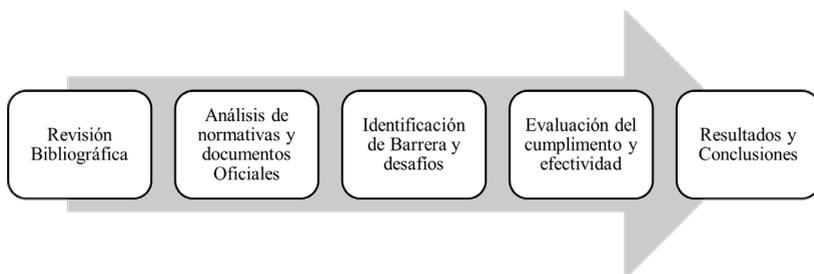
Para responder a la interrogante se estableció el siguiente objetivo de este estudio: analizar la efectividad de las normativas de construcción de edificios de uso para viviendas en la ciudad de Jipijapa, identificando las principales barreras y desafíos que impiden su cumplimiento.

Materiales y métodos

La metodología de este estudio se basa en una investigación bibliográfica centrada en la revisión de normas, leyes y directrices relacionadas con la construcción de viviendas en Jipijapa. Además, se complementó con una investigación descriptiva, tal como se detalla en el trabajo de Lino et al. (2024) que buscó identificar y analizar los aspectos clave del cumplimiento de estas regulaciones en la práctica. Este estudio se desarrolló en varias etapas, cada una con un enfoque específico para garantizar una evaluación completa de la efectividad de las normativas de construcción, ver figura 45.

Figura 45.

Etapas de la metodología implementada.



La primera etapa consiste en una revisión bibliográfica. La finalidad fue recolectar información detallada sobre las normativas de construcción vigentes, como la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y las ordenanzas municipales aplicables en Jipijapa. De acuerdo con Zavala et al. (2024), se consultaron diversas fuentes, incluyendo bases de datos académicas y científicas como Google Scholar, Scielo y Redalyc, así como repositorios de instituciones educativas. Se priorizó la inclusión de documentos y estudios publicados en los últimos cinco años para asegurar la actualidad y relevancia de la información obtenida.

La segunda etapa implica el análisis de normativas y documentos oficiales. Se evaluaron los requisitos establecidos por las normativas de construcción y su aplicación práctica. Esta fase incluye una revisión exhaustiva de leyes y regulaciones pertinentes, así como de informes oficiales y estudios previos relacionados con la construcción de viviendas en Jipijapa. La tercera etapa se enfocó en la identificación de barreras y desafíos. Donde se analizan los principales obstáculos que impiden el cumplimiento de las normativas. Para ello, se realizaron entrevistas con expertos en la materia y se analizaron casos de estudio para comprender las dificultades prácticas e institucionales que enfrentan los actores involucrados.

En la cuarta etapa, se llevó a cabo una evaluación de cumplimiento y efectividad. Se evaluó cómo la implementación de las normativas impacta en la calidad de las construcciones. Se realizó un análisis comparativo entre las normativas establecidas y las prácticas actuales en la construcción de viviendas en Jipijapa. Esto incluyó la revisión de proyectos de construcción recientes y la evaluación de la adherencia a los requisitos normativos. Finalmente, en la etapa de elaboración de resultados y conclusiones, se sintetizaron los hallazgos del estudio para ofrecer recomendaciones sobre cómo mejorar la aplicación de las normativas de construcción. Las conclusiones se basan en la información recopilada, y se desarrollan recomendaciones para superar las barreras identificadas, con el fin de optimizar el cumplimiento normativo y mejorar la calidad de las construcciones en Jipijapa.

Resultados

Los resultados de la revisión bibliográfica revelaron que, aunque las normativas de construcción vigentes en Jipijapa, como la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y las ordenanzas municipales, están bien definidas. El análisis de documentos oficiales y estudios recientes mostró inconsistencias entre los requisitos normativos y su aplicación práctica, evidenciando barreras como la falta de recursos para la supervisión y problemas de coordinación entre autoridades y ejecutores de proyectos. La evaluación de la efectividad de estas normativas reveló una adherencia variable a los requisitos, sugiriendo la necesidad de fortalecer la supervisión, mejorar la coordinación y proporcionar capacitación adicional para optimizar el cumplimiento normativo y elevar la calidad de las construcciones en la región.

La planificación y construcción de viviendas en Jipijapa están reguladas por una serie de normativas y ordenanzas importantes. La Ordenanza de Uso y Ocupación de Espacios Públicos establece directrices para el uso eficiente

y ordenado de los espacios públicos, crucial para la planificación urbana. Las Regulaciones de Construcción de la municipalidad abarcan aspectos técnicos y legales, como permisos, seguridad y normativas ambientales, necesarios para el desarrollo de proyectos habitacionales. El Código de la Función Judicial y la Ley Notarial garantizan la adecuada gestión notarial para la formalización de contratos relacionados con la propiedad. Además, aunque el Suministro de Agua Potable cumple con los estándares internacionales, enfrenta desafíos en la continuidad y frecuencia, lo que puede afectar la calidad de vida en las nuevas viviendas. Estos elementos son fundamentales para asegurar un desarrollo urbano ordenado y efectivo (Bustamante Chong et al., 2019; Macias et al., 2024).

Jipijapa se enfrentan múltiples barreras urbanas que afectan la calidad de vida, incluyendo hacinamiento, contaminación visual y auditiva, y la degradación de espacios públicos. La falta de mantenimiento y el uso de materiales de construcción inadecuados, como caña y madera, agravan estos problemas. Los desafíos en la construcción, como la falta de recursos y la ausencia de normativas claras, dificultan la mejora de viviendas. Para abordar estas cuestiones, se propone implementar un sistema integral que mejore la habitabilidad, regenerar espacios públicos y promover la educación sobre materiales sostenibles y técnicas adecuadas de construcción (Parrales Aguayo et al., 2021).

Revisión de normativas de construcción en Jipijapa: Un análisis de estudios recientes

Diversos estudios realizados en Jipijapa han proporcionado valiosos conocimientos sobre la construcción de viviendas, subrayando la importancia de la capacitación adecuada, la realización de estudios de suelos, las pruebas de resistencia y el cumplimiento de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC). Estos trabajos destacan la necesidad de reforzar la formación continua de los profesionales, mejorar el acceso a estudios de suelos, implementar un monitoreo efectivo post-construcción y fomentar una mayor participación comunitaria. Sin embargo, persisten vacíos significativos en cuanto a la gestión de costos y accesibilidad, lo que limita la efectividad de las normativas actuales (Parrales, 2019; Usuy, 2019).

La evaluación de la resistencia estructural a través de ensayos no destructivos y el programa ETABS ha revelado insuficiencias en la resistencia sísmica de las viviendas debido a debilidades estructurales. Estos estudios destacan la necesidad de cálculos estructurales más precisos y una supervisión

profesional rigurosa para evitar el deterioro de las viviendas. A pesar de estos avances, la investigación no ha abordado adecuadamente la durabilidad a largo plazo de los materiales, la comparación exhaustiva con materiales tradicionales ni los estudios de caso a gran escala, y también ha descuidado la percepción y aceptación de los usuarios finales.

Además, los estudios han subrayado la importancia de una gestión eficaz de los residuos en la construcción, utilizando técnicas variadas para garantizar la fiabilidad de los resultados. No obstante, se han identificado vacíos en el control durante la construcción, la falta de coordinación entre los involucrados, la ausencia de una normativa clara y la carencia de un profesional encargado de la gestión de residuos. Estos aspectos son cruciales para mejorar el proceso constructivo y asegurar una construcción más segura y sostenible en la región.

Figura 46.

Características de viviendas en Jipijapa.



Fuente: Tomado de Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019-2023, Alcaldía de Jipijapa (2021)

El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019-2023 del Cantón Jipijapa ofrece un panorama detallado sobre las características de las viviendas en diversas localidades del cantón. En general, se observa una predominancia de casas y villas, especialmente en Jipijapa, que es la localidad con el mayor número de estas estructuras residenciales. Además, existen varias formas de viviendas que incluyen departamentos, cuartos en casas de inquilinato,

mediaguas, ranchos, covachas y chozas. Cada una de estas categorías refleja diferentes niveles de formalidad y confort, variando desde viviendas más tradicionales como ranchos y chozas hasta opciones más modernas como departamentos. La diversidad en los tipos de viviendas sugiere una variedad de condiciones económicas y necesidades habitacionales dentro del cantón, lo que debe ser considerado en la planificación y desarrollo territorial.

Revisión de la NEC-15 para la construcción de viviendas en Jipijapa

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 ofrece un marco integral para la construcción de viviendas en Jipijapa, abordando aspectos importantes para garantizar la seguridad y habitabilidad de las edificaciones. En términos de Seguridad Estructural, la NEC-15 define directrices esenciales para manejar cargas no sísmicas y fuerzas sísmicas. La sección NEC-SE-CG especifica los requisitos para cargas muertas y vivas, fundamentales para la estabilidad de las estructuras. Además, la NEC-SE-DS detalla los procedimientos para el diseño sísmo resistente, proporcionando directrices que aseguran que las viviendas puedan soportar eventos sísmicos. La NEC-SE-RE se enfoca en la rehabilitación sísmica de edificaciones existentes, permitiendo que las construcciones antiguas cumplan con los estándares actuales de seguridad.

En cuanto a Requisitos Geotécnicos y de Cimentación, la NEC-SE-GC proporciona directrices para los estudios de suelo y el diseño de cimentaciones, crucial para adaptar las construcciones a las características del terreno en Jipijapa. La inclusión de la filosofía de diseño de factores de reducción (LRFD) busca optimizar la seguridad y eficiencia de las cimentaciones. Finalmente, la NEC-HS regula aspectos de Habitabilidad y Salud, abordando requisitos para el confort de los residentes. Esta sección incluye normativas sobre sistemas contra incendios, accesibilidad universal, eficiencia energética y el uso de tecnologías sostenibles, asegurando que las viviendas no solo sean seguras, sino también cómodas y respetuosas con el medio ambiente.

La regulación de la construcción de edificaciones y viviendas está regida por ordenanzas municipales que definen parámetros para el avalúo de la propiedad y la valoración de las construcciones. Estas normativas exigen que las personas jurídicas naturales obtengan un informe técnico de la Dirección Metropolitana de Hábitat y Vivienda, que detalla la zonificación del predio. Un estudio sobre viviendas unifamiliares en la región incluye un análisis de costos basado en una curva de valores mensuales de obra, con un Indicador de Costo de Construcción por Área de 350 dólares/m² según el INEC. Sin em-

bargo, la falta de datos específicos sobre el cumplimiento y efectividad en la construcción sugiere la necesidad de un análisis más exhaustivo para evaluar de manera integral estos aspectos en Jipijapa (Campoverde, 2022; Loor & Lucas, 2017).

Conclusiones

Se concluye que la efectividad de las normativas de construcción de edificios para viviendas en Jipijapa enfrenta importantes barreras y desafíos que limitan su cumplimiento pleno. Aunque las normativas como la NEC establecen directrices fundamentales para asegurar la calidad y seguridad de las construcciones, en la práctica, la implementación de estas regulaciones se ve obstaculizada por la falta de capacitación continua de los profesionales, la carencia de estudios de suelos adecuados, y la insuficiente supervisión post-construcción. Además, la ausencia de una coordinación efectiva entre los actores involucrados y la falta de una normativa clara sobre la gestión de residuos contribuyen a un deficiente cumplimiento de las normativas. Estas deficiencias resaltan la necesidad de reforzar la formación técnica, mejorar los procesos de monitoreo y coordinación, y establecer directrices más claras para enfrentar estos desafíos, con el fin de garantizar una construcción más segura y sostenible en la ciudad.

A pesar de contar con directrices como la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y ordenanzas municipales, la implementación efectiva en Jipijapa se ve limitada. La falta de supervisión adecuada, la insuficiencia en la capacitación técnica, y la presencia de corrupción contribuyen a una aplicación desigual y a menudo ineficaz de las normativas. Estos problemas subrayan la necesidad de fortalecer los mecanismos de control y asegurar un cumplimiento más riguroso.

Para mejorar la situación, es crucial reforzar la supervisión y la formación continua de los profesionales de la construcción. Un sistema de monitoreo más eficiente y una revisión de políticas para incluir incentivos para el cumplimiento pueden elevar la calidad de las edificaciones. Además, abordar problemas de hacinamiento y uso de materiales de baja calidad mediante una planificación urbana integral, con participación comunitaria, contribuirá a un desarrollo más seguro y eficiente en Jipijapa.

Referencias Bibliográficas

- Alcaldía de Jipijapa. (2021). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Jipijapa*. https://jipijapa.gob.ec/images/Planes/PDyOT_GAD_JIPIJAPA_2019-2023_signed.pdf
- Bustamante Chong, C., Bustamante Chong, M., & Varas Chiquito, M. (2019). Análisis de pertinencia en empresas con gestión del desempeño por competencias: Cantón Jipijapa. *INNOVA Research Journal*, 4(3.2), 188–204. <https://doi.org/10.33890/innova.v4.n3.2.2019.1256>
- Campoverde, K. (2022). *Planificación, programación y control de obras en la construcción de una vivienda unifamiliar de Infraestructura Civil ubicada en el Cantón Jipijapa* [Universidad Estatal Del Sur De Manabí]. http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3558/1/PONCE_ROBLES_GABRIELA_NICOLE.pdf
- Gobierno Atonómico descentralizado Municipal del Cantón Jipijapa. (2017). *Ordenanzas*. <https://jipijapa.gob.ec/index.php/municipio/ordenanzas?s-tart=25>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca. (2022). *Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Cuenca - Anexo 8. Normas De Arquitectura Y Urbanismo*. Dirección de Planificación. <https://acortar.link/3JryUQ>
- Lino, V., Carvajal, D., Muñoz, J., & Intriago, Y. (2024). Jamovi como herramienta para el análisis de datos en la asignatura de estadística y diseño de experimentos. *Revista Alcance*, 7(1), 73–83. <https://doi.org/10.47230/ra.v7i1.62>
- Loor, E., & Lucas, V. (2017). *Propuesta de acciones para la preservación del patrimonio de los bienes patrimoniales inmuebles de los cantones Manta, portoviejo, Sucre, Jipijapa y Montecristi. Casos de estudio edificios varios*. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Loor, M. K., & Véliz, J. F. (2022). Calidad de viviendas de interés social en caña guadua aplicados en el sitio Membrillal del cantón Jipijapa. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 5(9), 2–13. <https://doi.org/10.46296/ig.v5i9edespab.0052>
- Macias, C., Guadamud, E. J., Lino, V. A., & Carvajal, D. D. (2024). Planificación Operativa En Redes De Agua Potable Para La Ciudad De Jipijapa. *Revista Alcance*, 7(1), 57–72. <https://doi.org/10.47230/ra.v7i1.61>

- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2012). *Cargas Sísmicas. Diseño Sismo Resistente*. <https://doi.org/10.1533/9781782420477.27>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014). NEC-SE-VIVIENDA Vivienda de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m. In *Dirección de Comunicación Social, MIDUVI* (Issue 1). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/12.-NEC-SE-VIVIENDA-parte-1.pdf>
- Parrales Aguayo, J. M., Marcillo Merino, G. L., & Ortega Bravo, B. H. (2021). Sistema integral espacial para mejorar la habitabilidad del conjunto habitacional casa para todos urbanización Jipijapa. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 5(41), 114–130. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol5iss41.2021pp114-130>
- Parrales, J. (2019). *Análisis del proceso constructivo de edificaciones habitacionales en el cantón Jipijapa Post Terremoto 2016*. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Quiroz, M. (2023). *Evaluación de las condiciones en que se encuentran las edificaciones y calles existentes en el sitio Sancán del cantón Jipijapa* [Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6124>
- Usuay, S. (2019). *Diseño de vivienda popular utilizando materiales del medio Ciudadela “24 de Mayo”, del Cantón Jipijapa*. Universidad estatal del sur de manabí.
- Zavala, C., Lino, V., Cordero, M., & Sornoza, D. (2024). El rol de la Ingeniería Civil en el desarrollo sostenible: Tendencias y desafíos. *Revista Alcance*, 7(1), 1–13. <https://doi.org/10.47230/ra.v7i1.57>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 10

Incidencia del tipo de agua en la
calidad del hormigón simple en las
edificaciones de la ciudad de Manta

AUTORES: Byron Manuel Mendoza Delgado; Haminthon Alexander Carreño Rosado; Jimmy
Antonio Marcillo Cantos; Gladys Elena Garay Riofrío



SABEREC 5.0

Incidencia del tipo de agua en la calidad del hormigón simple en las edificaciones de la ciudad de Manta

Incidence of the type of water on the quality of plain concrete in buildings in the city of manta

Resumen

En la construcción, la calidad del hormigón influye en la durabilidad y resistencia de las estructuras. Un componente clave en la preparación del hormigón es el agua, cuya calidad puede afectar las propiedades finales del material. Las fuentes de agua pueden contener diversas impurezas y características químicas, que afectan el rendimiento del hormigón. Este estudio se realizó con la finalidad de determinar el comportamiento del tipo de agua en la calidad del hormigón simple. El objetivo principal fue analizar cómo diferentes tipos de agua afectan las propiedades mecánicas del hormigón, específicamente su resistencia a la compresión, a lo largo del tiempo. Para esto, se tomaron muestras de cuatro tipos de agua y se la sometieron a un análisis de laboratorio para poder determinar su composición. Luego se realizaron estudios mezclando el cemento y los tipos de agua con los materiales pétreos que se obtuvieron del diseño de hormigón en cilindros de 4" para posteriormente ser reventados en la prensa hidráulica a los tres, cinco, siete, catorce y veintiocho días de edad. Los resultados demostraron que el uso de agua potable garantiza la mejor calidad y resistencia del hormigón, mientras que el agua dulce y salobre de pozo pueden comprometer la resistencia inicial, aunque pueden acercarse a los niveles permitidos después de un periodo más largo de curado. Concluyendo que a través del ensayo se obtuvo un conocimiento exacto de la importancia de la condición del agua para la construcción de edificaciones.

Palabras claves: Compresión, curado, muestra de cilindros, propiedades mecánicas, resistencia.

Abstract

In construction, the quality of concrete influences the durability and strength of structures. A key component in the preparation of concrete is water, the quality of which can affect the final properties of the material. Water sources can contain various impurities and chemical characteristics, which affect the performance of the concrete. This study was conducted to determine the behavior of water type on the quality of plain concrete. The main objective was to analyze how different types of water affect the mechanical properties of concrete, specifically its compressive strength, over time. For this purpose, four types of

water were sampled and subjected to laboratory analysis in order to determine their composition. Studies were then carried out by mixing the cement and water types with the stone materials obtained from the concrete design in 4" cylinders to be subsequently burst in the hydraulic press at three, five, seven, fourteen and twenty-eight days of age. The results showed that the use of potable water guarantees the best quality and strength of the concrete, while fresh and brackish well water can compromise the initial strength, although they can approach the permitted levels after a longer curing period. In conclusion, an accurate understanding of the importance of the water condition for building construction was obtained through the test.

Keywords: Compression, curing, cylinder specimen, mechanical properties, strength.

Introducción

La calidad y durabilidad de las construcciones son preocupaciones fundamentales debido a los altos costos y la necesidad de garantizar la seguridad de los ocupantes. En Manta, una ciudad en la provincia de Manabí, la construcción a menudo se realiza de manera artesanal por falta de recursos para contratar profesionales calificados. Esto afecta la calidad del hormigón utilizado, especialmente cuando el agua empleada no es potable, como es el caso en algunas áreas donde se usa agua de pozos o incluso agua de mar.

El agua que se emplea en la confección de mezclas es de vital importancia por la relación agua/cemento que se genera, asimismo, por la trabajabilidad que ofrece y las resistencias finales que alcanza; razones por las que se da énfasis a su calidad; donde, comúnmente se dice que el agua óptima para beber es adecuada para formar concretos; no siendo totalmente cierto, pues existen aguas tratadas que se vuelven aptas para el consumo, pero no pueden ser utilizadas para mezclas. Además, son necesarias las alternativas de solución debido a que, por la escasez mundial de agua, en un futuro se pretenda disminuir su distribución para el rubro de la construcción; porque a pesar que existe la cantidad necesaria para abastecer a los millones de habitantes del planeta, se encuentra mal distribuida, desperdiciada, contaminada y su gestión se da insosteniblemente (Cruzado y Li, 2015, pág.2).

Una de las maneras más eficientes para que la construcción sea de alta calidad es el cumplimiento de la normativa que rige a través de la Norma Ecuatoriana de la Construcción que todo ingeniero civil a cargo de una obra debe cumplir.

La investigación busca analizar cómo el tipo de agua afecta las propiedades mecánicas del hormigón, como la resistencia a la compresión y el tiempo de fraguado, mediante pruebas de laboratorio. La investigación se centrará en los tipos de agua más comunes en Manta y cómo su uso impacta la calidad del hormigón. La hipótesis es que la variación en el tipo de agua alterará las propiedades mecánicas del hormigón.

Como justificación dentro de este marco, algo que llama mucho la atención es la calidad del hormigón realizado ya que la norma indica que el agua empleada para este cometido debe ser agua potable, pero muchos sectores del cantón Manta no cuenta con abastecimiento de agua, es por ello que las personas en muchas ocasiones emplean agua de otras fuentes como es el agua extraída de pozos profundos, e incluso el agua de mar. Por lo tanto, resulta de gran importancia el análisis de como el tipo de agua puede afectar las características mecánicas del hormigón.

Vílchez (2020), en su artículo, planteó su propósito central determinar la influencia sobre las propiedades físicas y mecánicas en concretos de $f'c=210\text{kg/cm}$ elaborados con agua de mar; donde, para alcanzar tal fin, puso en práctica una metodología aplicada experimental, logrando desarrollar un total de 18 cilindros de concreto, repartidos en grupos de 9 por cada tipo de agua, para ser ensayados a compresión después de curar por 7, 14 y 28 días. Luego de analizar sus resultados obtenidos a las diferentes edades, el autor concluye que, para todos los casos, al usar agua de mar se satisface la resistencia de diseño, pero, además, se genera un aumento en la 2 propiedad evaluada de hasta 14%, haciendo viable su utilización (pág.81).

Las aguas pueden ser perjudiciales llegando a la destrucción del hormigón cuando no cumplen con los parámetros o normas establecidas para la mezcla, por lo que el agua como agregado debe estar libre de impurezas o sedimentos.

El estudio permite conocer las variaciones y comportamiento del hormigón ensayado con los diferentes tipos de agua a los 3,5, 7, 14 y 28 días, cuando se encuentra sometido a cargas.

El agua es componente de más bajo costo, su desempeño es importante tanto en el amasado y principalmente como agua de curado y según su variación de contenido en la mezcla permita la realización de dosificación del hormigón como la variación de su resistencia.

El agua de amasado tiene dos funciones principales: primero, participa en la reacción de hidratación del cemento; segundo, proporciona la trabaja-

bilidad necesaria para una correcta aplicación en obra. Por otro lado, el agua de curado es crucial en el proceso de fraguado y el endurecimiento inicial del hormigón, ya que previene la desecación, mejora la hidratación del cemento y evita la retracción prematura.

El agua de curado tiene una actuación más duradera que el agua de amasado, y por lo tanto se corre más riesgos al aportar sustancias perjudiciales con el agua de curado que con el agua de amasado.

Como objetivo general es evaluar cómo diferentes tipos de agua (agua potable de red, agua potable de toma, agua dulce de pozo y agua salobre de pozo) afectan las propiedades del hormigón, así mismo como objetivos específicos es recopilar información sobre las edificaciones en construcción en Manta y analizar el tipo de agua utilizada, para establecer criterios sobre el uso adecuado de diferentes tipos de agua en la fabricación de hormigón.

La hipótesis formulada es que la utilización de diferentes tipos de agua en la elaboración del hormigón en varias edificaciones de la ciudad de Manta alterara las propiedades mecánicas del mismo.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en Manta, una ciudad costera de Ecuador, donde la disponibilidad de agua varía entre agua potable suministrada por la red domiciliaria, agua de la Toma Manta-Rocafuerte, y aguas de pozo, tanto dulces como salobres.

Esta investigación pretende un análisis minucioso mediante pruebas y ensayos de laboratorio del tipo de agua y de los efectos de este agregado en la calidad final del hormigón en su resistencia a la compresión, así como la incidencia en el tiempo de fraguado. Con esta finalidad se caracterizarán los tipos de agua más empleados para la construcción en el cantón Manta; posterior a esto con cada tipo de agua se realizará una muestra de hormigón a la cual se le someterá a los ensayos de fraguado y compresión con la finalidad de extraer criterios que permitan indicar en qué medida se pueden emplear los diferentes tipos de agua para la preparación del hormigón en las edificaciones que se encuentran en proceso constructivo de la ciudad de Manta.

Selección de muestras de agua

Se seleccionaron cuatro tipos de agua: agua potable de red domiciliaria, agua de la Toma Manta-Rocafuerte, agua dulce de pozo y agua salobre de pozo.

El agua que intervendrá en las muestras de ensayo de los cilindros demostrará la variación en resistencia debido a la reacción debido a su composición química de cada tipo de agua a ensayar.

El agua en el concreto tiene diferentes aplicaciones, como es en la elaboración de la mezcla y como en el curado. El agua en el concreto tiene característica físico-químicas produciendo efectos en el comportamiento del hormigón, por lo que no debe tolerarse sustancias dañinas como: grasas, aceite, azúcares, y ácidos, la presencia de unas de ellas puede contaminar la mezcla.

El exceso de impurezas puede causar corrosión en el acero de refuerzo por lo que es necesario especificar límites en: sulfatos, álcalis y sólidos dentro del agua de mezclado.

Preparación del hormigón

Se elaboraron mezclas de hormigón utilizando cada tipo de agua, siguiendo una dosificación estándar.

Agua: Componente esencial para la producción de concretos debido al rol que desempeña en estado fresco y endurecido; asociado por lo general a la relación agua/cemento el cual provee trabajabilidad y resistencia; asimismo, se sabe que no solo resulta fundamental la cantidad a utilizar, sino también su calidad tanto física como química. Se cree que únicamente el agua apta para consumo humano es apta para confeccionar concretos; sin embargo, no es completamente cierto, ya que existe evidencia que con otro tipo de agua se obtienen buenos resultados, no obstante, se necesita un análisis previo de su calidad. (Terreros y Carvajal, 2016, pág.24).

Agua de mezclado

Se pueden encontrar diversos tipos de agua naturales y según sus características de estudio serían aptas para el uso en la mezcla de concreto, en las normas de construcción ACI 318 establece el siguiente porcentaje de ion cloruro soluble en el agua para el hormigón.

- Concreto reforzado. 0.06%.
- Concreto reforzado expuesto a cloruros durante sus servicios. 0.15%
- Concreto reforzado que vaya a estar seco protegido contra la humedad durante su servicio. 1.00%
- Otras construcciones de concreto reforzado. 0.30%

El agua necesaria para que el concreto tenga una trabajabilidad es importante para la hidratación completa del cemento (22-25%) por lo que es importante conocer el aspecto de calidad y cantidad de impurezas aceptables para la elaboración del hormigón.

Mediante el estudio se busca obtener la incidencia de los tipos de agua y su componente para la mezcla de hormigón y establecer cuál es la que cumple las características apropiadas para obtener una buena resistencia del hormigón.

Requisitos físicos

Estos deben ser verificados mediante el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión de mezcla de cemento. Según la norma el tiempo de inicio de fraguado debe ser inferior a 90% mientras que el final supera el 110%.

Cemento: Es un material esencial en la ingeniería civil, cuyo propósito es formar masas pétreas hasta volverse resistente y durable al mezclarse con agua y agregados; endureciendo progresivamente luego de su confección. Los productos fabricados con cemento son de gran aplicación en estructuras y cualquier elemento constructivo debido a su trabajabilidad, resistencia y durabilidad (Sanjuán y Chinchón, 2014., pág.4).

Granulometría

Materiales

- Material integral
- Pesa
- Recipiente metálico
- Tamices máquina vibradora
- Pala
- Calculadora

Procedimiento

Se procedió a equilibrar la balanza en cero, se pesa el recipiente luego se integra el material, se preparó los tamices según la norma ASTM vaciar el material vibradora durante 60s, se procedió a pesa el material de cada ensayo de agregado fino como grueso retenido en cada tamiz se registra y se calculó, la cual deben ser aproximados para que su resultado se a más exacto y poder realizar la curva granulométrica.

Tabla 17.

Valores de módulo de finura del agua.

MÓDULO DE FINURA	
Ideal	2.8 – 3.4
Tolerable	2.7 – 3.5

Peso volumétrico

El peso volumétrico se deriva de la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo.

Cúbicamente el agregado grueso tiene un gran porcentaje de participación por lo que sus propiedades y características influyen en el concreto como en la trabajabilidad, consistencia del estado plástico y durabilidad.

Material y equipo

- Recipiente volumétrico
- Cepillo de cerdas.
- Cuchara de lámina galvanizada
- Varilla compactadora
- Palas

Agregado grueso

Se procedió a limpiar el área de trabajo, se colocó la muestra en un recipiente amplio, posteriormente se pasó por el tamiz N° 4 hasta obtener la cantidad de 4480.00 gr y 4486.00 gr , se pesó el molde a precisión y asentarlo en el piso, de manera continua se llenó por medio del método varillado con una cuchara hasta un tercio de la altura varillando la capa con 25 golpes uniformemente repitiéndose el proceso hasta llegar al rebose nivelándolo procurando que no sobresalga ni una partícula del agregado grueso, se pesa el molde con el agregado para finalmente por medio del cálculo mediante la siguiente fórmula.

Tabla 18.

Tamaño máximo de agregados.

Tamaño Máximo del Agregado (mm)	12.5	25	40	100
Capacidad (litros)	3	10	15	30

A diferencia del método anterior el ensayo del agregado fino se lo realiza por el método suelto, determinando el peso del molde colocándolo en el piso para estabilidad, se va llenando el molde por medio de una cuchara a una altura que no exceda de 2" por encima del borde superior del molde hasta el rebose evitando la segregación, se nivela la superficie enrasando sin presionar mucho, determinando el peso del molde más arena para finalmente por medio del cálculo determinar el valor mediante la fórmula anterior.

Pruebas de Resistencia

La resistencia a la compresión es considerada como la propiedad de mayor relevancia que posee el concreto, basada como su nombre indica, en la resistencia que ofrece ante un fenómeno de aplastamiento visto por lo general en los componentes usados durante la elaboración de estructuras como por ejemplo las reticulares. (Carhuavilca, et al, 2020, pág.3).

Las muestras de hormigón se sometieron a pruebas de resistencia a la compresión a los 3, 5, 7, 14 y 28 días para evaluar su desarrollo de resistencia.

Mediante ensayo la elaboración de cilindros de hormigón y su reacción mediante la mezcla de tipos de agua como; agua potable de tubería, agua potable de toma Manta-Rocafuerte, agua dulce de pozo, agua salobre de pozo, para determinar la resistencia a compresión, conforme a las normas en cada ensayo de mezcla de hormigón

Para el desarrollo de la aplicación del ensayo se emplearon cilindros de 10*30 cm, para determinar la resistencia a compresión.

Materiales usados:

- Molde cilíndrico de 10x20 cm.
- Carretilla.
- Pala o cucharón.
- Varilla lisa y recta, de acero, sección circular, de 14+/-1,5 mm de diámetro y 60+/-3 cm de longitud, con punta semiesférica del mismo diámetro de la varilla.
- Martillo de hule.
- Engrasador metálico
- Escala metálica
- Nivel de mano.

Especificaciones del hormigón

La mayoría de las especificaciones estas basadas mediante las normas del A.C.I para la elaboración de las muestras tomando en cuenta la temperatura, densidad, y contenido de aire. De acuerdo a la ASTM C31 el curado de los cilindros se usan para:

- Una resistencia específica
- Dosificación de mezcla de resistencia específica
- Calidad del concreto

Siguiendo con el procedimiento, se lubricó los moldes llenándolos con una pala moviéndolo alrededor del borde superior del molde a medida que el concreto valla descargándose con el fin de asegurar una distribución homogénea.

Tabla 19.

Tamaño máximo de agregados.

Molde	Revenimiento	Forma de compactación	Números de capas	Espesor Aprox. De la Capa (m)
Cilindro 10 x 20	Mayores de 8 cm	Varillado	3	10
	Entre 3 y 8 cm	Varillado	3	10
		Vibrado	2	15

Continuando con el método de compactación apropiado mediante varillado de tres capas con 25 penetraciones cada una golpeando ligeramente las paredes con el martillo de hule para cerrar los orificios y expulsar todo el aire atrapado mediante el vibrado, distribuyendo uniformemente todo el área interno o externo basándose en el revenimiento de 3 a 8 finalizando con el engrasador metálico evitando las depresiones mayores de 3 mm.

Se procede a retirar los cilindros del molde entre 20 y 48 horas después de elaborados y sumergirlo en una piscina de agua previamente señalada y separado por tipo de ensayo y por día de reventado.

Generalmente la resistencia a la compresión del hormigón esta entre (210-280 kg/ cm²) y de mediana resistencia (350-420 kg/ cm²) denominándose por la relación agua/ cemento, a menor relación agua/cemento mayor resistencia, como a mayor compactación mayor resistencia, así como también su importancia mediante el cemento, a mayor cantidad mayor resistencia.

La variabilidad de la resistencia del hormigón, se determina en base al nivel de control de calidad e proceso de mezclado en obra, para lo que se puede utilizar la siguiente tabla.

Tabla 20.

Desviación estándar.

TIPO DE CONTROL	DESVIACION ESTANDAR ()
Muy bueno	0.07 fm
Bueno	0.14 fm
Regular	0.21 fm
Deficiente	0.28 fm

Un control de calidad muy bueno, se obtiene solamente en laboratorios especializados que dosifican sus mezclas al peso, tienen control de la humedad antes del mezclado, utilizan agregados seleccionados y controlan la trabajabilidad del hormigón fresco.

Un control de calidad bueno, se consigue en obras que emplean hormigón premezclado en fábricas especializadas y controlan el asentamiento del cono de Abrams; o en obras que mecanizan la producción de mezclas al peso, realizan corrección de dosificaciones por la humedad, emplean agregados de calidad y verifican la trabajabilidad de la mezcla.

Así mismo un control de calidad regular, se obtiene con dosificaciones volumétricas y control frecuente de la cantidad de agua mediante el asentamiento del cono de Abrams.

Un nivel de control inferior al regular se cataloga como control de calidad deficiente.

Resultados

Agua potable de tubería de conexión domiciliar de manta

Tabla 21.

Muestra de ensayo de laboratorio Unidades/peso: 1/1000ml.

Ensayo	Lote	Unidades	Resultados	Incertidumbre Expandida (k=2)	Limites	Método
Nitritos	MANTA-TUBERÍA DE CONEXIÓN DOMICILIARIA	Mg/lit	< 0,02	-	0	STANDARD
Cloruros		Mg/lit	42	-	250	STANDARD
Silicatos		Mg/lit	32,6	-	-	STANDARD
Sulfatos		Mg/lit	580	-	200	STANDARD
Calcio		Mg/lit	100	-	-	STANDARD
Hierro		Mg/lit	<0,05	-	0,3	STANDARD
Ph		-	7,32	-	6,5 – 8,5	STANDARD
Carbonato de calcio		Mg/lit	241	-	-	STANDARD
Dureza Total		Mg/lit	450	-	300	STANDARD
Solidos Totales Disueltos		Mg/lit	1069	-	1000	STANDARD
Conductividad	Ms/cm	2,3	-	-	STANDARD	

Agua de la toma Manta-Rocafuerte

Tabla 22.

Muestra de ensayo de laboratorio Unidades/peso: 1/1000ml.

Ensayo	Lote	Unidades	Resultados	Incertidumbre Expandida a (k=2)	Limites	Método
Nitritos	TOMA MANTA- ROCAFU ERTE	Mg/lit	< 0,03	-	0	STANDARD
Cloruros		Mg/lit	120	-	250	STANDARD
Silicatos		Mg/lit	820	-	-	STANDARD
Sulfatos		Mg/lit	580	-	200	STANDARD
Calcio		Mg/lit	138	-	-	STANDARD
Hierro		Mg/lit	<0,05	-	0,3	STANDARD
Ph		-	8,02	-	6,5 – 8,5	STANDARD
Carbonato de calcio		Mg/lit	343	-	-	STANDARD
Dureza Total		Mg/lit	730	-	300	STANDARD
Solidos Totales Disueltos		Mg/lit	1395	-	1000	STANDARD
Conductividad		Ms/cm	2,79	-	-	STANDARD

Como se puede observar en los informes encontramos similitud de ciertos resultados, como el sulfato se encuentra alto siendo su límite permisible de 200 atacando químicamente al concreto ya que se manifiesta como exudación de apariencia blanquecina y agrietamiento progresivo que reduce al concreto a un estado quebradizo y hasta suave.

En los nitritos encontramos que la toma Rocafuerte tiene una décima que del agua potable que compuesta con el sodio previene la corrosión en el concreto al principio de su propagación.

Los cloruros son altos de la toma Rocafuerte siendo este un elemento activo en el proceso de daño y degradación de las estructuras.

Los silicatos no tienen límites y son mejores en la toma Rocafuerte siendo estos como una capa protectora en la superficie de metal que impide en la corrosión. La relación de componente químico reacciona a favor o contra la resistencia del hormigón.

Agua dulce de pozo

Tabla 23.

Muestra de ensayo de laboratorio Unidades/peso: 1/1000ml

Ensayo	Lote	Unidades	Resultados	Incertidumbre Expandida (k=2)	Limites	Método
Nitritos	AGUA DULCE DE POZO	Mg/lit	< 0,02	-	0	STANDARD
Cloruros		Mg/lit	364	-	250	STANDARD
Silicatos		Mg/lit	46,4	-	-	STANDARD
Sulfatos		Mg/lit	286	-	200	STANDARD
Calcio		Mg/lit	230	-	-	STANDARD
Hierro		Mg/lit	<0,05	-	0,3	STANDARD
Ph		-	7,61	-	6,5 -8,5	STANDARD
Carbonato de calcio		Mg/lit	570	-	-	STANDARD
Dureza Total		Mg/lit	1200	-	300	STANDARD
Solidos Totales Disueltos		Mg/lit	1232	-	1000	STANDARD
Conductividad		Ms/cm	2,45	-	-	STANDARD

Las aguas dulces afectan en el concreto por medio del cemento siendo su reacción del fraguado, son normalmente frías y libres de contaminantes orgánico siendo bebibles, entre las características tenemos;

- Turbidez débil.
- Temperatura composición.
- Composición química constante y generalmente ausencia de oxígeno.

Agua salobre de pozo

Tabla 24.

Muestra de ensayo de laboratorio Unidades/peso: 1/1000ml.

Ensayo	Lote	Unidades	Resultados	Incertidumbre Expandida ($k=2$)	Limites	Método
Nitritos		Mg/lt	< 0,02	-	-	STANDARD
Cloruros		Mg/lt	1120	-	-	STANDARD
Silicatos		Mg/lt	80	-	-	STANDARD
Sulfatos		Mg/lt	1760	-	-	STANDARD
Calcio		Mg/lt	200	-	-	STANDARD
Hierro		Mg/lt	0,05	-	-	STANDARD
Ph		-	7,61	-	-	STANDARD
Carbonato de calcio		Mg/lt	490	-	-	STANDARD
Dureza Total	AGUA SALOBRE	Mg/lt	2500	-	-	STANDARD
Solidos Totales Disueltos		Mg/lt	3860	-	-	STANDARD
Conductividad		Ms/cm	7,92	-	-	STANDARD

Agua de salinidad intermedia entre dulce y salada, cuyo contenido en sales está comprendido entre 2 y 20 partes.

Mediante los resultados obtenidos de los ensayos realizados a el agua de pozo de agua dulce y salobre, demuestran que los componentes químicos son muy altos en comparación con el agua potable, los niveles de límites sobrepasan por lo tanto no son apta por su incidencia negativa en la resistencia del hormigón.

Mediante un sondeo se establece una estadística sobre las edificaciones y su calidad de agua en la mezcla de hormigón.

Interpretación de resultados

Figura 47.

Curva de resistencia usando agua potable de tuberías de redes domiciliaria.

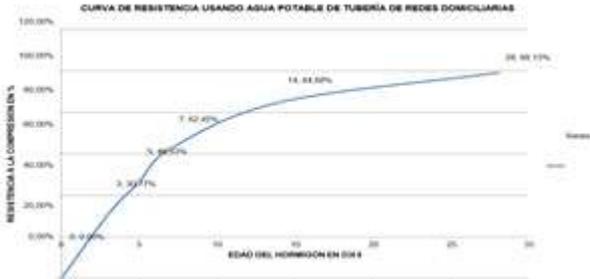
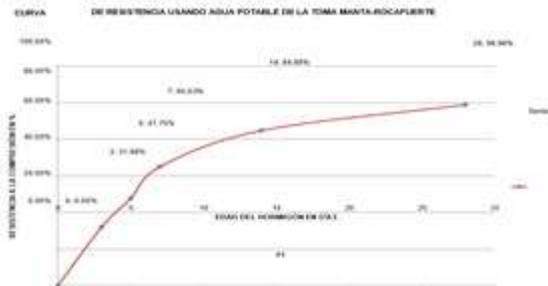


Figura 48.

Curva de resistencia usando agua potable de la toma Manta-Rocafuerte.



En las figuras 47 y 48, las resistencias obtenidas con el agua potable que suministra la EPAM de Manta a través de las redes domiciliarias y el agua potable de la Toma Manta Rocafuerte, es muy parecida, en los 3, 5, 7 y 14 días, notamos una ligera diferencia de un 3%, en que mejor es la resistencia del hormigón hecho con el agua potable de la red domiciliaria. A los 28 días, prácticamente se igualan las resistencias con estos tipos de agua.

Figura 49.

Curva de resistencia usando agua dulce de pozo.



Figura 50.

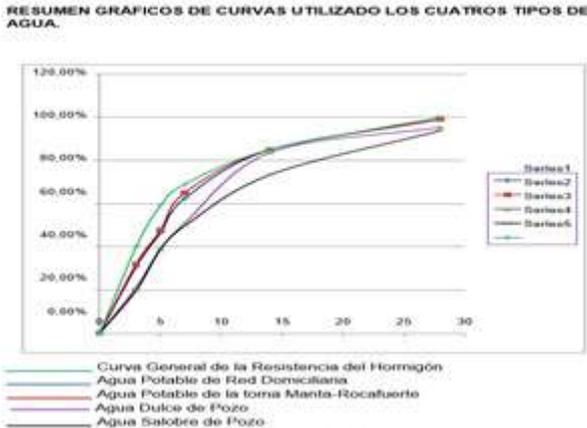
Curva de resistencia usando agua salobre de pozo.



En las figuras 49 y 50, las resistencias de los hormigones utilizando tanto agua dulce de pozo, como agua salobre de pozo, son bajas, según los ensayos realizados a los 3, 5, y 7 días, quedando por debajo de lo permisible. Hay una diferencia a los 14 días, el agua dulce de pozo es de alta resistencia y la salobre de pozo es de muy baja resistencia. Pero a los 28 días, con los dos tipos de agua, la resistencia se aproxima a la permitida.

Figura 51.

Curva de resistencia usando los cuatro tipos de agua.



En la figura 51, se muestra la evolución de la resistencia del hormigón en función del tiempo para diferentes tipos de agua utilizados en la mezcla.

Curva General de la Resistencia del Hormigón (línea verde): Actúa como una línea de referencia para evaluar y comparar los resultados de las otras series.

Agua Potable de Red Domiciliaria (línea azul): Alcanza notablemente la resistencia más alta en la mayoría de los puntos, lo que indica que el uso de agua potable estándar puede resultar en un hormigón más fuerte.

Agua Potable de la Toma Manta-Rocafuerte (línea roja): Similar al agua de red domiciliaria, esta agua también muestra una buena resistencia del hormigón, aunque puede tener ligeras variaciones.

Agua Dulce de Pozo (línea morada): La resistencia del hormigón con esta agua es comparable a la de las otras fuentes, pero puede variar dependiendo de la pureza del agua.

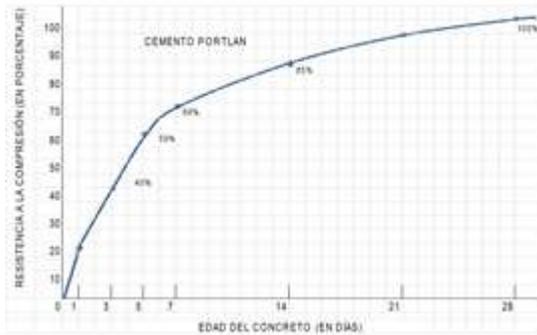
Agua Salobre de Pozo (línea negra): Esta línea indica que el hormigón hecho con agua salobre tiene una resistencia más baja en comparación con otros tipos de agua, especialmente en las primeras edades del concreto.

Además, la figura 52, sugiere que la calidad del agua tiene un impacto significativo en la resistencia del hormigón, con el agua potable (tanto de red domiciliaria como de la toma Manta-Rocafuerte) mostrando mejores resulta-

dos en términos de resistencia. El agua salobre parece ser la menos favorable para la resistencia del hormigón.

Figura 52.

Curva general de la resistencia del hormigón.



Discusión

Los resultados indican que el agua potable proporciona las mejores propiedades para el hormigón, mientras que el uso de agua de pozo, especialmente salobre, puede comprometer la calidad del material. Estos hallazgos son cruciales para la construcción en zonas costeras

Conclusiones

El presente trabajo realizado durante esta etapa investigativa, muestra la importancia del agua como parte fundamental en la elaboración del hormigón. Han sido de mucha importancia los estudios previos, dependiendo el lugar y condiciones climáticas para establecer parámetros de seguridad y calidad de mezcla rigiéndose a las Normas Ecuatoriana de la Construcción.

Al comparar los ensayos realizados con las diferentes mezclas de hormigón, resultante de usar varios tipos de agua, tales como: Agua potable de la red domiciliaria que distribuye la EPAM de Manta; Agua potable de la Toma Manta Rocafuerte; Agua dulce de Pozo del Sector Toalla y Agua Salobre de Pozo del Sector de Colorado, se puede concluir lo siguiente:

- El estudio confirma que la calidad del agua utilizada en la fabricación de hormigón afecta significativamente su resistencia y durabilidad. El agua potable, debido a su baja impureza y consistencia, es la mejor opción para la mezcla de hormigón en Manta, Ecuador. Se recomien-

da evitar el uso de agua salobre de pozo para minimizar el riesgo de comprometer la integridad estructural de las construcciones.

- El agua que se debe utilizar para la fabricación de hormigón, es el agua potable, porque al comparar el agua de tubería y el agua de la toma Manta- Rocafuerte, con las dos prácticamente, se tiene una resistencia óptima, ya que cumplen con los parámetros de calidad y niveles de impurezas.
- No se debe usar tanto el agua dulce de pozo como el agua salobre de pozo, ya que para el fraguado a los primeros días es de baja resistencia y tampoco se llegará a obtener una resistencia óptima a los días establecidos en las normas de construcciones respectivas.
- Para poder realizar las pruebas en laboratorio, es necesario conocer las Normas Ecuatoriana de Construcción vigente y considerar el análisis de los componentes que se encuentran según el tipo de agua a utilizar.
- Usar únicamente, agua potable distribuida, a través de las redes domiciliarias y la de la Toma Manta-Rocafuerte, por sus composiciones químicas-físicas ya que estas no alteran la resistencia final del hormigón.

Referencias Bibliográficas

- Carhuavilca Fuentes, Rivera P., Chávez Guerrero, Daniel E.; Guillén Aguilar, Josimar A., Mendoza Corcuera, Jhadir A. (2020). Trabajabilidad y resistencia a la compresión del concreto para diferentes relaciones agua/cemento. Universidad San Martín de Porres. https://www.researchgate.net/publication/344380249_TRABAJABILIDAD_Y_RESISTENCIA_A_LA_COMPRESION_DEL_CONCRETO_PARA_DIFERENTES_RELACIONES_AGUA_CEMENTO
- Cruzado Guevara, Jorge L. y Li Zavaleta. (2016). Cruzado Guevara, J. L., & Li Zavaleta, M. (2015). Análisis comparativo de la resistencia de un concreto convencional teniendo como variable el agua utilizada en el mezclado. Universidad Privada Antenor Orrego. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/2038>.
- Sanjuán Barbudo, M. Á., & Chinchón Yepes, S. (2014). Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland. Universidad de Alicante.

<http://hdl.handle.net/10045/45347>

- Terreros-Rojas, L. E., & Carvajal-Corredor, I. L. (2016). Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo. Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/7cf94860-21d1-4fbd-b81ccffc204cce12>
- Vilchez Becerra, Jorge L. (2020). Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto usando agua de mar. Universidad Señor de Sipán. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/8256>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 11

Revisión literaria del uso de
pavimentos flexibles con adición de
cauchos reciclados y polietileno

AUTORES: Flery Jazmina Moncayo García; Haminthon Alexander Carreño Rosado; Hugo Enrique Castro Parrales; Víctor Alejandro Lino Calle



SABEREC 5.0

Revisión literaria del uso de pavimentos flexibles con adición de cauchos reciclados y polietileno

Literature review on the use of flexible pavements with the addition of recycled rubber and polyethylene

Resumen

El diseño estructural de pavimentos flexibles juega un rol importante en las carreteras con alto volumen de tráfico, donde es fundamental resistir grandes cargas, asegurar la seguridad y eficacia operativa. En la actualidad se observa aun carreteras que a los pocos años de ser construidas o rehabilitadas se dañan por lo que se hace necesario investigar sobre nuevos procesos de construcción que permitan asegurar seguridad, confort y capacidad de resistencia a largo plazo. El objetivo de este estudio es revisar la literatura existente sobre pavimentos flexible con adición de cauchos reciclados y polietileno, para su aplicación en el diseño de vías en el país. Para realizar el estudio se siguió un enfoque cualitativo mediante revisión bibliográfica documental disponible en bases de datos académicas, para identificar publicaciones relevantes y actualizadas de investigaciones previas incluyendo el Análisis Textual Discursivo (ATD). Los resultados que muestra este trabajo resalta que el uso de nuevas técnicas para el mejoramiento del pavimento flexible con agregados o materiales externos, como la incorporación de caucho reusado y partículas de polietileno mejoran sus propiedades de resistencia, estabilidad y flujo, ante una mezcla común. Se concluye que el diseño de este nuevo tipo de pavimento flexible para vías de primer orden ha evolucionado considerablemente, asegurando seguridad, durabilidad y eficiencia.

Palabras Clave: Diseño estructural, pavimento flexible, vías de primer orden

Abstract

The structural design of flexible pavements plays an important role in roads with high traffic volume, where it is essential to resist heavy loads, ensure safety and operational efficiency. Nowadays, roads are still damaged within a few years of being built or rehabilitated, so it is necessary to investigate new construction processes to ensure safety, comfort and long-term resistance capacity. The objective of this study is to review the existing literature on flexible pavements with the addition of recycled rubber and polyethylene, for their application in the design of roads in the country. To carry out the study, a qualitative approach was followed by means of a documentary literature review available in academic databases, in order to identify relevant and updated

publications of previous research, including the Textual Discursive Analysis (TDA). The results of this work show that the use of new techniques for the improvement of flexible pavement with aggregates or external materials, such as the incorporation of reused rubber and polyethylene particles, improve its strength, stability and flow properties, compared to a common mix. It is concluded that the design of this new type of flexible pavement for first order roads has evolved considerably, ensuring safety, durability and efficiency.

Keywords: Structural design, flexible pavement, first order roads.

Introducción

En un mundo en constante transformación, donde los desafíos ambientales, sociales y económicos son cada vez más urgentes, la ingeniería civil se presenta como un campo crucial para enfrentar estos problemas de manera integral y sostenible (Zavala et al., 2024). La innovación en la tecnología del asfalto ha llevado a explorar materiales alternativos que mejoren sus características y que ayuden a reducir el impacto ambiental. Aunque el asfalto un componente necesario en la construcción de pavimentos, se sugiere incorporar polímeros como el caucho reciclado y polietileno para mejorar su estructura. Sin embargo, los pavimentos asfálticos presentan problemas como la baja resistencia a la fatiga y deterioro continuo, causados por la dosificación incorrecta de ligantes y agregados, su interacción y métodos de aplicación. Esto subraya la importancia de optimizar las técnicas y materiales utilizados para aumentar la durabilidad de los pavimentos (Bobadilla et al., 2022).

Los pavimentos flexibles con adición de cauchos reciclados y polietileno representan un avance significativo en innovación, mejorando el rendimiento y la sostenibilidad ambiental. El caucho reciclado de neumáticos fuera de uso y el polietileno de alta densidad (HDPE) mejoran la resistencia a la fatiga, la estabilidad Marshall y reducen la susceptibilidad térmica del asfalto. El proceso húmedo es más efectivo para producir mezclas homogéneas con mejores propiedades mecánicas. Además, estas adiciones no solo mejoran las propiedades y la durabilidad del pavimento, sino que también reducen las emisiones de CO₂ en un 18% (Bobadilla et al., 2022; Flores et al., 2022).

A nivel de Latinoamérica, En Perú, se han diseñado mezclas asfálticas tanto convencionales como modificadas con Polvo de Caucho Reciclado (PCR), encontrando mejoras en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas. Además, estudios han propuesto incorporar caucho reciclado de neumáticos en la subrasante para estabilizar el suelo. Con un 20% de caucho, se obtienen resultados técnicos y económicos superiores. Esta estrategia destaca por su

efectividad en mejorar la estabilidad y el desempeño de las mezclas asfálticas y de la subrasante (García & López, 2024; Ubidia, 2019).

En Ecuador, estudiantes de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil realizaron una investigación en la que modificaron la mezcla asfáltica tradicional mediante la implementación de material reciclado. Esta modificación mejoró algunas de las propiedades mecánicas del asfalto, contribuyendo a la reutilización de materiales comúnmente consumidos (García & López, 2024). Aunque el país no cuenta con normativas específicas para pavimentos flexibles con caucho reciclado, los estudios indican que su incorporación mejora la durabilidad y las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas. Sin embargo, es necesario desarrollar una normativa que regule y estandarice su uso a nivel nacional (Flores et al., 2022).

En la infraestructura vial se tiene que tomar en consideración factores importantes como reducir el deterioro de las vías y mantener la resistencia a la fatiga, que son aspectos críticos para su sostenibilidad y eficiencia. El problema central de la presente investigación radica en la necesidad de mejorar la durabilidad y el desempeño de los pavimentos asfálticos, para reducir el impacto ambiental mediante la utilización de materiales reciclados.

La incorporación de cauchos reciclados y polietileno en pavimentos flexibles es una alternativa viable debido a que genera un bajo impacto ambiental y mejorar las características mecánicas de la infraestructura vial. Con esta investigación se pretende desarrollar una base científica que apoye la creación de normativas específicas en Ecuador, promoviendo así prácticas sostenibles y eficientes en la construcción de carreteras. Al revisar la literatura existente, se espera proporcionar una guía que fomente la adopción de estos materiales innovadores, beneficiando la economía y el ecosistema del país.

Establecer un ciclo cerrado de reciclaje para el polietileno posconsumo puede reducir la contaminación ambiental y la acumulación de residuos en vertederos y espacios públicos. Esta estrategia contribuirá a disminuir los impactos negativos en la salud y la calidad de vida de los habitantes al minimizar la exposición a desechos plásticos dañinos. Además, la reutilización del plástico en proyectos de obras civiles, como la construcción de vías, ayudará a reducir la demanda de materias primas vírgenes, conservando recursos naturales valiosos y disminuyendo los costos económicos asociados a la adquisición de nuevos materiales para la infraestructura urbana (Gerena et al., 2023).

El objetivo central de esta investigación es revisar la literatura existente sobre pavimentos flexibles con la adición de caucho reciclado y polietile-

no, para su aplicación en el diseño de carreteras en el país. Esto con el fin de mejorar la durabilidad, la resistencia y las propiedades mecánicas de los pavimentos asfálticos, para promover prácticas sostenibles y eficientes en la construcción de vías.

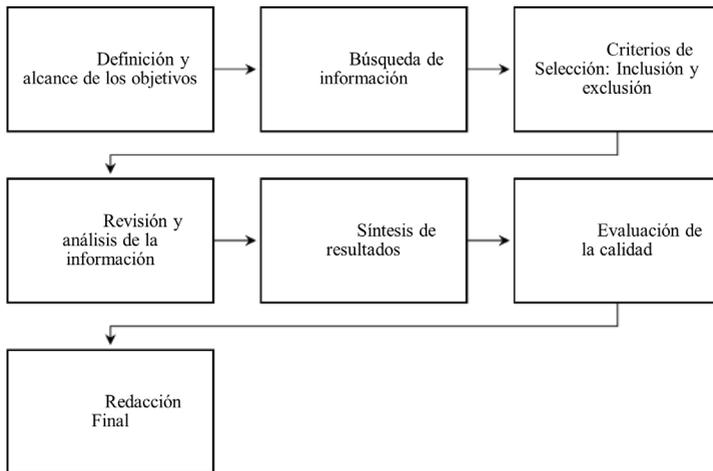
La hipótesis de esta investigación es que la incorporación de caucho reciclado y polietileno en la mezcla asfáltica de los pavimentos flexibles mejorará su resistencia, estabilidad, y durabilidad en comparación con las mezclas asfálticas convencionales.

Materiales y Métodos

Para realizar la revisión de la literatura sobre el uso de pavimentos flexibles con la adición de cauchos reciclados y polietileno, se adoptó un enfoque cualitativo. Este enfoque permitió profundizar en el análisis de la información existente, interpretando y contextualizando los datos para obtener una comprensión más amplia y detallada del tema. Además, se empleó la revisión bibliográfica documental. La metodología se desarrolló en varias etapas detalladas como se muestra en la figura 53.

Figura 53.

Revisión bibliográfica documental.



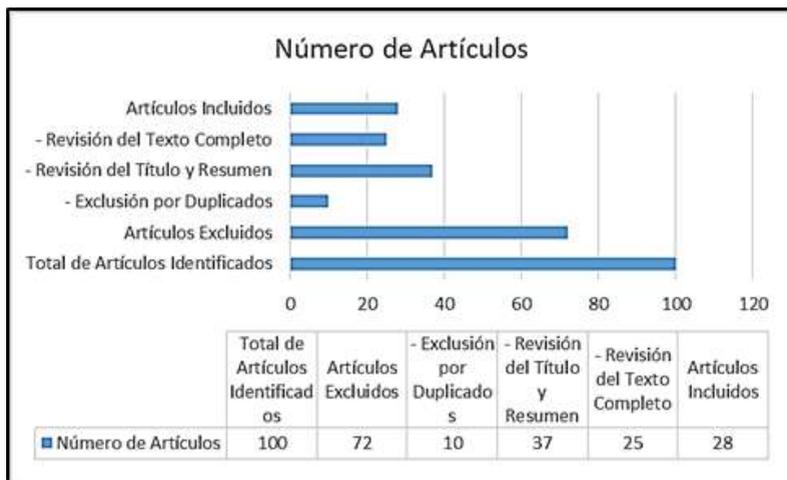
La primera etapa de la revisión consistió en definir claramente el alcance y los objetivos de la investigación, enfocándose en analizar la literatura existente sobre la utilización de cauchos reciclados y polietileno en pavimentos flexibles, con el propósito de evaluar su viabilidad y beneficios en el diseño de

vías en Ecuador. Este análisis cualitativo buscó profundizar en los aspectos técnicos, económicos y ambientales asociados con estos materiales, proporcionando una visión integral de su aplicación en el contexto de la construcción vial.

Para llevar a cabo esta revisión, se realizó una búsqueda exhaustiva de información en bases de datos académicas reconocidas como Scopus, ScienceDirect, Google Scholar y otras fuentes relevantes, ver figura 54. Se utilizaron combinaciones de palabras clave específicas como “pavimentos flexibles”, “cauchos reciclados”, “polietileno”, “mejoramiento de pavimentos”, “durabilidad de pavimentos”, y “sostenibilidad en la construcción vial”. Este proceso permitió recopilar un conjunto amplio y variado de estudios relevantes que abordan diferentes perspectivas y enfoques sobre el tema.

Figura 54.

Selección de artículos.



Luego, se establecieron criterios de inclusión y exclusión para asegurar la relevancia y calidad de las publicaciones seleccionadas. Se incluyeron artículos y estudios que trataran específicamente el uso de cauchos reciclados y polietileno en pavimentos flexibles, publicados en los últimos 10 años, disponibles en inglés y español, y que presentaran datos experimentales o revisiones relevantes. Se excluyeron publicaciones que no proporcionaran datos específicos sobre el tema, estudios de caso con poca relevancia o replicabilidad, y artículos de opinión sin base experimental

La revisión y análisis de la información recopilada se realizó mediante una lectura crítica de cada estudio. Se evaluaron las metodologías utilizadas, los resultados obtenidos y las conclusiones presentadas, enfocándose en identificar patrones, tendencias y lagunas en la investigación existente. Se empleó el análisis de contenido para examinar y categorizar la información, utilizando técnicas de codificación abierta y axial para organizar los datos en categorías temáticas que reflejaran los aspectos clave del uso de cauchos reciclados y polietileno en pavimentos.

Posteriormente, se realizó un análisis comparativo de los enfoques y resultados presentados en los diferentes estudios, identificando similitudes y diferencias en las metodologías, contextos y conclusiones. Este análisis ayudó a resaltar las lagunas en el conocimiento y las áreas que requieren mayor investigación. Para aumentar la validez y confiabilidad de los hallazgos, se utilizó la triangulación de datos, comparando información obtenida de diversas fuentes y métodos de análisis.

Finalmente, los resultados de los estudios revisados se sintetizaron para proporcionar una visión general de los beneficios y desafíos asociados con el uso de cauchos reciclados y polietileno en pavimentos flexibles. Se destacaron los avances tecnológicos, las mejoras en propiedades mecánicas y de durabilidad, y las implicaciones ambientales y económicas. La calidad de los estudios seleccionados se evaluó utilizando el método ATD (Análisis Textual Discursivo), asegurando la fiabilidad y validez de las conclusiones extraídas.

El ATD se llevó a cabo a través de la revisión de tres áreas clave: Innovaciones y Desafíos en la Gestión de Pavimentos, que abarca el impacto de nuevas tecnologías en la estandarización y eficiencia en la gestión de pavimentos; Avances y Desafíos en Pavimentos Reciclados, que examina la variabilidad en los ensayos de fatiga y el uso de materiales reciclados, incluyendo la permeabilidad y durabilidad del concreto permeable; y Beneficios y Retos de Polímeros Reciclados en Pavimentos, que analiza cómo los polímeros reciclados, como el caucho y las fibras de PET, pueden mejorar la resistencia del asfalto mientras enfrenta desafíos técnicos y económicos. Estos estudios permitieron una evaluación crítica de los avances tecnológicos y materiales reciclados, destacando sus beneficios y las áreas que requieren más investigación y desarrollo.

El informe de revisión se estructuró en secciones claras, incluyendo una introducción, metodología, resultados, discusión y conclusiones, cada una elaborada para proporcionar una comprensión comprensiva y detallada del

tema revisado. Las herramientas y técnicas utilizadas incluyeron software de gestión bibliográfica como Mendeley, técnicas de análisis de contenido y la creación de mapas de evidencia para visualizar tendencias y lagunas en la investigación. Esta metodología asegura una revisión exhaustiva y rigurosa de la literatura, proporcionando una base sólida para entender las implicaciones del uso de cauchos reciclados y polietileno en el diseño de pavimentos flexibles, con el potencial de guiar futuras investigaciones y la implementación de normativas específicas en Ecuador, promoviendo prácticas de construcción vial más sostenibles y eficientes.

Resultados

A continuación se presentan las áreas clave del ATD: Innovaciones y Desafíos en la Gestión de Pavimentos, que aborda el impacto de las nuevas tecnologías en la administración de pavimentos; Avances y Desafíos en Pavimentos Reciclados, que examina la variabilidad en los ensayos de fatiga y el uso de materiales reciclados; y Beneficios y Retos de Polímeros Reciclados en Pavimentos, que analiza cómo los polímeros reciclados pueden mejorar la durabilidad del asfalto y los desafíos técnicos y económicos asociados. Cada área se presenta en relación con los principales hallazgos encontrados y su interpretación en el contexto de la literatura revisada.

Innovaciones y desafíos en la gestión de pavimentos

El desarrollo de sistemas de gestión de pavimentos basados en nuevas tecnologías optimiza el mantenimiento y la construcción de infraestructuras viales. Investigaciones como la de Macea-Mercado et al. (2016), subrayan la importancia de las tecnologías avanzadas para analizar el comportamiento de los pavimentos, ya que estos constituyen una gran parte de los costos asociados a las vías. Aunque este estudio contribuye a estandarizar los procesos de medición y facilita el análisis espacial mediante software especializado, persiste un vacío en cuanto a la validación y precisión de los datos obtenidos. Estas tecnologías buscan mejorar la administración vial, y también reducir costos a largo plazo, asegurando la durabilidad de las carreteras.

Por otro lado, las investigaciones sobre el uso de tecnologías innovadoras para la separación de componentes del concreto asfáltico, como la descarga de pulsos y el agua subcrítica, han mostrado resultados prometedores en términos de eficiencia y pureza del asfalto recuperado. Según Amoussou et al. (2016), estas técnicas pueden alcanzar una pureza del 91% en el proceso de reciclaje, evidenciando su alta eficiencia. Sin embargo, la falta de información sobre la escalabilidad del proceso para aplicaciones industriales a gran esca-

la sigue siendo un punto a tener en cuenta. Asimismo, el análisis de la distribución granulométrica en materiales granulares, como el estudio de Lima y Motta (2016), destaca la importancia de una adecuada distribución del tamaño de partículas para la estabilidad y durabilidad del pavimento.

Finalmente, el análisis de asfalto modificado con vidrio molido y neumáticos reciclados en La Victoria muestra mejoras en las propiedades del asfalto, lo que prolonga su vida útil y reduce los costos de mantenimiento. No obstante, se identifican puntos negativos como la falta de análisis a largo plazo en condiciones reales y la necesidad de estudios comparativos de costos. Aunque los resultados de Bautista Corrales & Zabarburu López (2022) y Pérez et al. (2021), demuestran que el uso de caucho granulado mejora la durabilidad y estabilidad de las mezclas asfálticas, aún se requiere una investigación más exhaustiva sobre los costos y las posibles desventajas de su implementación.

Avances y desafíos en pavimentos reciclados

La variabilidad en los ensayos de fatiga de mezclas asfálticas, destacada en los estudios de Mora Valverde et al. (2021) y Rojas et al. (2023), revela que hay diferencias notables en las propiedades de los materiales y los métodos de prueba. La prueba de viga a flexo-tracción en cuatro puntos se muestra como la más variable, mientras que la prueba semi-circular resulta ser más eficiente en tiempo y esfuerzo. Sin embargo, la falta de detalles sobre los procedimientos de control y la ausencia de recomendaciones para reducir esta variabilidad limitan la capacidad de avanzar hacia una mayor precisión y consistencia en los resultados. Es fundamental desarrollar metodologías estandarizadas para mejorar la confiabilidad y reproducibilidad de estos ensayos.

En el ámbito de los materiales reciclados, Ayala-López et al. (2022), destacan que el uso de agregados reciclados en concreto permeable afecta notablemente la permeabilidad y porosidad del material. Aunque este tipo de concreto es adecuado para pavimentos de bajo tránsito, veredas y ciclovías, el estudio presenta aspectos a considerar como la durabilidad a largo plazo y la comparación de costos. La investigación sugiere la necesidad de metodologías precisas para medir la permeabilidad en campo y de realizar estudios adicionales para evaluar el impacto ambiental y la viabilidad económica de estos materiales en diversas condiciones.

Por otro lado, las investigaciones sobre el uso de materiales reciclados en pavimentos asfálticos, como las de Boza Portal (2020) y Quispe Berrocal (2023), revelan limitaciones en la generalización de los resultados y en la evaluación de impactos ambientales. Aunque se observan mejoras en la resisten-

cia del pavimento con PET reciclado y en la estabilidad con caucho reciclado, aún se requieren estudios a largo plazo y comparaciones más exhaustivas con otros modificadores. Calle Torres y Quispe Sanchez (2022) y Carranza Chinchano (2021), evidencian que el uso de estos materiales presenta tanto avances como desafíos, señalando la necesidad de ajustes y una investigación más profunda para asegurar su implementación efectiva y sostenible en infraestructuras viales.

Beneficios y Retos de Polímeros Reciclados en Pavimentos

La investigación sobre el uso de polímeros reciclados en pavimentos asfálticos revela tanto avances como desafíos. Estudios como el de Ronaldo et al. (2022), muestran que el caucho reciclado puede mejorar la resistencia y durabilidad del asfalto, al mismo tiempo que reduce la contaminación ambiental. No obstante, Botasso y Segura (2013), advierten que el asfalto modificado con polvo de neumáticos fuera de uso (NFU) presenta un deterioro más rápido de la macrotextura y menor densidad Marshall en comparación con el polímero virgen SBS.

El análisis de Alvarez y Carranza (2021) y Ronaldo et al. (2022), subraya el potencial de los materiales reciclados, como las fibras de PET y el caucho reciclado, para mejorar la capacidad de soporte y durabilidad del pavimento. Sin embargo, aún falta investigación sobre la influencia de distintos tamaños de fibras, la permeabilidad del suelo y la viabilidad económica a largo plazo. A pesar de las mejoras prometedoras, se requieren estudios adicionales para validar estos beneficios bajo condiciones extremas y evaluar el impacto ambiental y económico de su implementación.

Además, investigaciones recientes, como las de Chávez Chávez y Zavala Cardozo (2022), confirman que los materiales reciclados y los polímeros pueden mejorar la resistencia y durabilidad del asfalto, así como ofrecer ahorros en mantenimiento a largo plazo. No obstante, se deben considerar además los altos costos iniciales y la falta de datos sobre el rendimiento en diferentes climas. Ayala-López et al (2022), también destacan la necesidad de estrategias para mitigar estos costos y evaluar la variabilidad del rendimiento en distintas condiciones. Estos vacíos sugieren que se requiere un enfoque más integral en futuras investigaciones para optimizar los beneficios de los materiales reciclados y polímeros en las infraestructuras viales.

Conclusiones

Se concluye que la revisión de la literatura sobre pavimentos flexibles con adición de cauchos reciclados y polietileno destaca por sus beneficios y desafíos asociados con estos materiales en el diseño de vías. Se observa que la incorporación de cauchos reciclados y polietileno mejora la durabilidad, flexibilidad y resistencia del asfalto, lo cual es beneficioso para enfrentar las demandas de tráfico y condiciones climáticas extremas en el país. Estos materiales reciclados contribuyen a la sostenibilidad ambiental, reduciendo los residuos, además tienen el potencial de disminuir los costos de mantenimiento a largo plazo.

Sin embargo, la variabilidad en la calidad de los materiales reciclados y la falta de datos extensivos sobre su rendimiento en condiciones locales específicas son limitaciones que se deben tener en cuenta. La literatura sugiere que la falta de estudios a largo plazo y la necesidad de optimizar los procesos de mezcla y aplicación representan barreras en la implementación generalizada de estos pavimentos.

Por lo tanto, para lograr una aplicación efectiva en el diseño de vías en el país, permitirá desarrollar normas y directrices específicas que aseguren la calidad y consistencia de los materiales reciclados. Además, se recomienda llevar a cabo investigaciones adicionales para evaluar el impacto ambiental, los costos y el rendimiento a largo plazo de estos pavimentos en las condiciones locales. Estas acciones permitirán adaptar y optimizar el uso de cauchos reciclados y polietileno en la infraestructura vial, maximizando sus beneficios y minimizando los desafíos asociados.

Referencias Bibliográficas

- Álvarez, A. P. C., & Carranza, T. J. C. (2021). *“Influencia de la adición de fibras de polímeros reciclados en la capacidad de soporte de la subrasante, para el diseño del pavimento flexible, Alto Trujillo - Barrio I, 2021.*
- Amoussou, R. I. H. D. T., Sasaki, M., & Shigeishi, M. (2016). An Application of Pulsed Power Technology and Subcritical Water to the Recycling of Asphalt Concrete. *Procedia Engineering*, 143(Ictg), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.001>
- Ayala-lópez, J. E., Gil-ahumada, E., Cornejo-ramos, R. D., & Muñoz-pérez, S. P. (2022). *Metodologías empleadas para la producción de concreto permeable usando parcialmente materiales reciclados como agregados: una revisión literaria.* 1–19.
- Bautista Corrales, D., & Zabarburu Lopez, W. F. (2022). *Adición de vidrio molido y neumáticos reciclados en la mezcla asfáltica para pavimento flexible - Avenida Parinacochas, Lima – 2022.*
- Bobadilla, J., Tigre, J. J., Tesen, F. L., & Muñoz, S. P. (2022). Uso de polímeros en asfalto: una revisión. *Revista Gaceta Técnica*, 23(1), 94–109. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.7>
- Botasso, G., & Segura, A. (2013). Estudio experimental de microaglomerado asfáltico antiderrapante modificado con NFU. *Obras y proyectos*, (14), 36-44.
- Boza Portal, J. G. (2020). Adición de caucho reciclado en asfalto para el diseño de pavimento flexible en el Asentamiento Humano Villa Leticia Lurigancho 2020. Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/65695/Boza_PJG-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Calle Torres, R., & Quispe Sanchez, C. R. (2022). Incorporación de caucho reciclado y tubería PVC en las mezclas asfálticas para pavimentos flexibles, Los Olivos-Lima 2022. Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/96979/Calle_TR-Quispe_SCR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Carranza Chinchano, R. (2021). Diseño de pavimento flexible empleando caucho triturado como aporte a la resistencia, en la avenida del Trabajo, Lima 2021. Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/82959/Carranza_CR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Chávez Chávez, E. E., & Zavala Cardozo, B. I. (2022). Estudio del comportamiento de la mezcla asfáltica para pavimentos flexibles con adición de caucho reciclado y polietileno, Lima 2022. Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/97160/Ch%c3%a1vez_CEE-Zavala_CBI-SD.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Flores, P., Gatica, A., Trinidad, D., & Sulca, V. (2022). Uso de Grano de Caucho Reciclado para mejorar la resistencia y durabilidad en pavimentos: una revisión literaria. *Investigatio*, 18, 37–52. <https://doi.org/10.31095/investigatio.2022.18.2>
- Gerena, A., Sánchez, L., Ariza, J., & Celis, L. (2023). *Evaluación de la gestión del plástico posconsumo y su posible uso en el mantenimiento de vías-enfoque entrevistas y análisis de Ensayos Internacionales* [Universidad EAN]. <https://bit.ly/3Wm7aRy>
- Pérez, S. P. M., Valdera, J. D. V., Bustamante, J. S. A., & Paredes, R. G. (2021). El uso del caucho de neumáticos triturados y aplicados al concreto: Una revisión literaria. *Revista de Investigación Talentos*, 8(1), 36-51.
- Quispe Berrocal, C. N. (2023). Estudio comparativo de la resistencia del pavimento flexible con plástico reciclado y el pavimento semirrígido en Jr. Iquique Av. Argentina.
- Mora Valverde, M. K., Aguiar Moya, J. P., Jiménez Acuña, M., & Sequeira Rojas, W. (2021). Análisis de la variabilidad asociada a ensayos de fatiga en mezclas asfálticas. *Infraestructura Vial*, 23(41), 20-30.
- Rojas, Y. F., Díaz, L. G., Batista, C. M., López, N. S. F., & Mestre, F. C. (2023). Mampostería confinada vs pórticos de hormigón: Selección de alternativas para viviendas por esfuerzos propios en Cuba. *Módulo arquitectura-CUC*, 30, 99-126.
- Ronaldo, J., Peña, B., Jhoel, J., Acosta, T., Luis, F., Muñoz, T., ... & Pérez, M. USO DE POLÍMEROS EN ASFALTO: UNA REVISIÓN. *Revista Gaceta Técnica. Ensayo*. 23(1), 94-109. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.7>.
- Ubidia, L. (2019). *Diseño De Pavimento Flexible Con La Utilización De Polvo De Caucho Reciclado Para Minimizar La Generación De Fisuras Del Jr. Jorge Chávez Cdra. 01-09 Ciudad De Tarapoto San Martín* [Universidad César Vallejo]. <https://bit.ly/3WmIzIO>

Zavala, C., Lino, V., Cordero, M., & Sornoza, D. (2024). El rol de la Ingeniería Civil en el desarrollo sostenible: Tendencias y desafíos. *Revista Alcance*, 7(1), 1–13. <https://doi.org/10.47230/ra.v7i1.57>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Unidad 4

Análisis de estrategias de mitigación
para la reducción del impacto
ambiental en la construcción de
infraestructuras viales

AUTORES: Oscar Gualberto Anchundia Bailón; Marlon Andrés Fernández Bazurto



SABEREC 5.0

Análisis de estrategias de mitigación para la reducción del impacto ambiental en la construcción de infraestructuras viales

Analysis of mitigation strategies for the reduction of environmental impact in the construction of road infrastructures.

Resumen

La construcción de infraestructuras viales tiene un alto grado de impacto ambiental debido a la alteración del suelo, la emisión de contaminantes y la afectación de ecosistemas naturales. El objetivo del presente trabajo es identificar prácticas que minimicen los efectos negativos sobre el medio ambiente durante las fases de planificación, construcción y operación de estas infraestructuras. La metodología utilizada incluye una revisión bibliográfica de estudios previos y la aplicación de un enfoque de análisis multicriterio para evaluar la efectividad de dichas estrategias. Los resultados muestran que la implementación de técnicas de construcción verde, como el uso de materiales reciclados y tecnologías de pavimentación permeable, pueden reducir considerablemente las emisiones de CO₂ y la contaminación del agua. Además, se reconoce la importancia de integrar corredores ecológicos y reforestar las áreas adyacentes a las vías para preservar la biodiversidad. Las estrategias implementadas contribuyen a la sostenibilidad ambiental, y tienen un alto grado de aceptación social ya que cumplen la normativa sobre proyectos viales. En conclusión, la adopción de prácticas sostenibles en la construcción de infraestructuras viales mitiga el impacto ambiental, promoviendo un equilibrio entre desarrollo y conservación del entorno natural.

Palabras Clave: Biodiversidad, construcción verde, infraestructura vial, impacto ambiental, mitigación.

Abstract

The construction of road infrastructures has a high degree of environmental impact due to the alteration of the soil, the emission of pollutants and the affectation of natural ecosystems. The objective of this work is to identify practices that minimize the negative effects on the environment during the planning, construction and operation phases of these infrastructures. The methodology used includes a literature review of previous studies and the application of a multi-criteria analysis approach to evaluate the effectiveness of these strategies. The results show that the implementation of green building techniques, such as the use of recycled materials and permeable paving technologies, can significantly reduce CO₂ emissions and water pollution. In addition, the importance of integrating ecological corridors and reforesting areas adjacent

to roads to preserve biodiversity is recognized. The strategies implemented contribute to environmental sustainability, and have a high degree of social acceptance as they comply with regulations on road projects. In conclusion, the adoption of sustainable practices in the construction of road infrastructure mitigates environmental impact, promoting a balance between development and conservation of the natural environment.

Keywords: Biodiversity, green construction, road infrastructure, environmental impact, mitigation.

Introducción

La construcción de infraestructuras viales ha sido un motor fundamental para el desarrollo económico y social a nivel global, facilitando la movilidad de personas y mercancías y conectando regiones remotas con centros urbanos (Fernández-Fernández, 2021). Sin embargo, este tipo de proyectos también representa una fuente significativa de impactos ambientales negativos, que van desde la alteración del suelo y la emisión de contaminantes hasta la fragmentación de hábitats y la pérdida de biodiversidad (Gomes et al., 2021). La construcción de carreteras, autopistas y otras vías de comunicación implica la transformación del paisaje natural, lo que puede llevar a la erosión del suelo, la contaminación de cuerpos de agua y la interrupción de corredores biológicos esenciales para diversas especies (Urzola & Garrido, 2021). Estos problemas no solo afectan a la flora y fauna local, sino que también tienen repercusiones en la calidad de vida de las comunidades humanas, afectando la salud pública y la sostenibilidad de los recursos naturales (Pérez et al, 2021).

En este contexto, se hace necesario un enfoque más sostenible en la planificación, construcción y operación de infraestructuras viales. Las prácticas sostenibles no solo buscan mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente, sino que también promueven la eficiencia de los recursos y el bienestar social (Condori, 2024). Entre las estrategias más prometedoras se encuentran el uso de materiales reciclados, que ayudan a reducir la demanda de recursos naturales y las emisiones de gases de efecto invernadero; las tecnologías de pavimentación permeable, que facilitan la infiltración de agua y reducen la escorrentía superficial; y la creación de corredores ecológicos, que permiten el movimiento seguro de la fauna y ayudan a preservar la biodiversidad (Hernández-Zamora et al, 2021). Además, la reforestación de áreas adyacentes a las vías puede jugar un papel crucial en la absorción de CO₂ y la estabilización del suelo, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático y la prevención de desastres naturales como inundaciones y deslizamientos de tierra (Mendoza & Vanga, 2022).

Este artículo se propone revisar y analizar las prácticas y tecnologías que pueden minimizar los impactos ambientales de la construcción de infraestructuras viales. Para ello, se llevará a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva, complementada con un análisis multicriterio que evaluará la efectividad de diversas estrategias sostenibles. La combinación de estas metodologías permitirá una comprensión profunda y basada en evidencias de cómo las infraestructuras viales pueden ser desarrolladas de manera más ecológica y socialmente responsable. Se espera que los hallazgos de esta investigación no solo contribuyan al conocimiento académico sobre el tema, sino que también sirvan como guía para profesionales y tomadores de decisiones en la industria de la construcción y el urbanismo.

Materiales y Métodos

Para llevar a cabo este estudio, se adoptó una metodología basada en una revisión bibliográfica exhaustiva y un análisis multicriterio. La revisión bibliográfica se centró en identificar y recopilar información de artículos científicos, informes técnicos y normativas relacionadas con la construcción de infraestructuras viales y sus impactos ambientales. Las fuentes incluyeron revistas académicas de alto impacto en los campos de la ingeniería civil, medio ambiente y urbanismo, así como documentos de organizaciones internacionales y agencias gubernamentales (Herbas & Linera, 2023).

La selección de la literatura se realizó utilizando palabras clave como “infraestructuras viales”, “impacto ambiental”, “prácticas sostenibles”, “materiales reciclados”, y “tecnologías de pavimentación permeable”. Se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para asegurar la relevancia y actualidad de los estudios seleccionados. Se incluyeron estudios publicados en los últimos diez años y se excluyeron aquellos que no presentaran una metodología clara o cuyos resultados no fueran verificables (Gómez-Luna et al., 2023).

Una vez recopilada la literatura relevante, se realizó un análisis cualitativo para identificar las principales prácticas y tecnologías sostenibles utilizadas en la construcción de infraestructuras viales. Estas prácticas fueron clasificadas en varias categorías, incluyendo el uso de materiales reciclados, técnicas de pavimentación, gestión de aguas pluviales y conservación de la biodiversidad (Cabrera, 2016). Para evaluar la efectividad de estas estrategias, se empleó un enfoque de análisis multicriterio. Este enfoque permitió la evaluación de cada práctica en función de varios criterios, como la reducción de emisiones de CO₂, la mitigación de la contaminación del agua, la preservación de hábitats y la aceptación social (Scarpetta & Villareal, 2023).

El análisis multicriterio se llevó a cabo en varias etapas. Primero, se definieron los criterios de evaluación y se asignaron pesos a cada uno de ellos en función de su importancia relativa. Luego, se evaluaron las diferentes prácticas sostenibles utilizando una escala estandarizada, y se calculó un puntaje total para cada estrategia. Este proceso permitió identificar cuáles prácticas eran más efectivas en términos de sostenibilidad ambiental y cuáles presentaban mayores desafíos para su implementación (Herbas & Linera, 2023).

Los resultados de este análisis no solo proporcionaron una visión integral de las mejores prácticas sostenibles en la construcción de infraestructuras viales, sino que también destacaron áreas clave para futuras investigaciones y mejoras en las políticas públicas. La combinación de una revisión bibliográfica exhaustiva y un análisis multicriterio robusto proporciona una base sólida para entender cómo se pueden minimizar los impactos ambientales negativos de estas infraestructuras, promoviendo al mismo tiempo un desarrollo sostenible (Maheut & Álvarez, 2022).

Resultados

Los resultados de este estudio, obtenidos a través de una revisión bibliográfica exhaustiva y un análisis multicriterio, revelan varias prácticas sostenibles que pueden mitigar los impactos ambientales de la construcción de infraestructuras viales. A continuación, se presentan los hallazgos más relevantes, organizados según las categorías de prácticas identificadas: uso de materiales reciclados, tecnologías de pavimentación permeable, integración de corredores ecológicos y reforestación de áreas adyacentes.

Uso de materiales reciclados

La implementación de materiales reciclados en la construcción de infraestructuras viales, como el asfalto reciclado y los agregados de concreto reciclado, mostró una reducción significativa en la demanda de recursos naturales y una disminución en las emisiones de CO₂ asociadas con la producción de materiales nuevos (Meza, 2023). Además, el uso de estos materiales contribuye a una economía circular, minimizando los residuos de construcción y demolición. Los estudios revisados indican que la calidad y durabilidad de las carreteras construidas con estos materiales son comparables a las de aquellas construidas con materiales vírgenes, lo que sugiere una viabilidad técnica y económica para su adopción a gran escala (Benique & Callas, 2023).

Tecnologías de pavimentación permeable

Las tecnologías de pavimentación permeable, como el asfalto poroso y los pavimentos intertrabados permeables, permiten la infiltración de agua en el suelo, reduciendo la escorrentía superficial y, en consecuencia, la contaminación del agua (Villa, 2020). Este tipo de pavimentación es especialmente útil en áreas urbanas donde la impermeabilización del suelo es un problema significativo. Los estudios muestran que estas tecnologías no solo ayudan a controlar las inundaciones, sino que también contribuyen a la recarga de acuíferos y a la mejora de la calidad del agua subterránea. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías requiere una planificación cuidadosa y un mantenimiento regular para evitar el colapso de los sistemas debido a la acumulación de sedimentos (Gómez & Rúgeles, 2023).

Integración de corredores ecológicos

La integración de corredores ecológicos en los diseños de infraestructuras viales es una estrategia efectiva para mitigar la fragmentación de hábitats y preservar la biodiversidad. Estos corredores permiten el movimiento seguro de la fauna a través de estructuras como pasos de fauna y puentes verdes, lo que reduce el riesgo de atropellos y facilita la conexión entre poblaciones animales. Los estudios revisados subrayan la importancia de la planificación a largo plazo y la cooperación entre ingenieros y ecólogos para diseñar y mantener estos corredores, asegurando su efectividad y minimizando su impacto en el paisaje (De Olivera et al, 2023).

Reforestación de áreas adyacentes

La reforestación de áreas adyacentes a las infraestructuras viales es una práctica que contribuye a la absorción de CO₂, la mejora de la calidad del aire y la estabilización del suelo, previniendo la erosión y otros problemas asociados con la construcción de carreteras (Reyes et al, 2024). Esta práctica también puede mejorar el paisaje y proporcionar hábitats adicionales para la fauna local. Sin embargo, la selección de especies y el manejo adecuado de las áreas reforestadas son cruciales para asegurar la sostenibilidad de estos proyectos a largo plazo.

Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación destacan la efectividad de varias prácticas sostenibles en la mitigación de los impactos ambientales de la construcción de infraestructuras viales. La adopción de estas prácticas no solo es técnicamente viable, sino que también ofrece beneficios económicos y

sociales, como la reducción de costos a largo plazo y la mejora de la calidad de vida de las comunidades locales (Meza, 2023). Sin embargo, la implementación de estas prácticas requiere un compromiso significativo por parte de los responsables de la planificación y construcción, así como de los gobiernos y las comunidades afectadas.

Una de las principales barreras para la adopción de estas prácticas es el costo inicial y la falta de conocimiento o experiencia en su aplicación. Es necesario promover políticas públicas que incentiven el uso de tecnologías y prácticas sostenibles, así como programas de capacitación para los profesionales de la construcción (Gomes et al., 2021). Además, es fundamental realizar estudios adicionales para evaluar el impacto a largo plazo de estas prácticas y desarrollar nuevas tecnologías que puedan integrarse en la construcción de infraestructuras viales.

La implementación de prácticas sostenibles en la construcción de infraestructuras viales es crucial para mitigar su impacto ambiental y promover un desarrollo más sostenible. La combinación de estrategias como el uso de materiales reciclados, tecnologías de pavimentación permeable, corredores ecológicos y reforestación de áreas adyacentes ofrece una solución integral para reducir los efectos negativos de estas construcciones y preservar el entorno natural.

Conclusiones

El presente estudio sobre las prácticas sostenibles en la construcción de infraestructuras viales ha revelado una serie de estrategias efectivas para mitigar los impactos ambientales negativos asociados con estos proyectos. La implementación de materiales reciclados, tecnologías de pavimentación permeable, integración de corredores ecológicos y programas de reforestación se destacó como medidas clave para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, preservar la calidad del agua, conservar la biodiversidad y prevenir la erosión del suelo.

El uso de materiales reciclados, como el asfalto y concretos reciclados, no solo contribuye a la reducción de la demanda de recursos naturales y las emisiones de CO₂, sino que también fomenta una economía circular en la industria de la construcción. Las tecnologías de pavimentación permeable se demostraron altamente efectivas en la gestión de aguas pluviales y la reducción de la escorrentía superficial, lo cual es crucial para la protección de cuerpos de agua y la recarga de acuíferos. La integración de corredores ecológicos y la reforestación de áreas adyacentes a las vías representan soluciones viables

para la conservación de la biodiversidad y la estabilidad ecológica, ofreciendo además beneficios estéticos y recreativos a las comunidades locales.

Estos resultados subrayan la importancia de adoptar un enfoque holístico y proactivo en la planificación y construcción de infraestructuras viales. Las prácticas sostenibles no solo son beneficiosas para el medio ambiente, sino que también contribuyen al bienestar social y económico al mejorar la resiliencia de las infraestructuras frente al cambio climático y otros desafíos ambientales. Además, estas prácticas cuentan con un alto grado de aceptación social, lo que facilita su implementación y el cumplimiento de normativas ambientales.

La transición hacia la sostenibilidad en la construcción de infraestructuras viales es no solo posible, sino necesaria. Las prácticas revisadas en este estudio ofrecen un marco sólido para la minimización de impactos ambientales y la promoción de un desarrollo más sostenible. Es imperativo que las políticas públicas y los estándares de construcción se alineen con estas estrategias, fomentando la adopción de tecnologías y prácticas innovadoras que equilibren el desarrollo económico con la conservación del medio ambiente. El compromiso continuo con la investigación y la innovación en este campo será esencial para avanzar hacia un futuro donde las infraestructuras viales sean verdaderamente sostenibles y responsables desde el punto de vista ambiental y social.

Referencias Bibliográficas

- Benique Ccala, J. D., & Callas Llamocca, C. R. (2022). Propuesta para una gestión sostenible en el reciclaje y reutilización de residuos de la construcción y demolición, Lima-Perú: Revisión sistemática 2022. URL: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/93432>
- Cabrera Montenegro, M. (2016). Viabilidad de la aplicación de materiales reciclados y cenizas de biomasa en la fabricación de materiales tratados con cemento. URI
- Condori, P. A. (2024). Evaluación de los Impactos Ambientales en la Cantera Taparachi Generadas por la Explotación de Materiales Empleados en la Construcción. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 1307-1326. DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10568
- Fernández-Fernández, A. M. (2021). Movilidad urbana de la población en la ciudad de Encarnación, Paraguay. Desarrollo urbano y gestión ambiental. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 23(1), 34-42. <https://doi.org/10.14718/revarq.2021.2286>
- Gomes, C. P., Leite, G. U., Sena, R. W. R., & de Andrade, E. M. G. (2021). Impacto Ambiental e Gerenciamento de Resíduos Sólidos Advindos da Construção Civil no Brasil: Uma Revisão de Literatura/Environmental Impact and Solid Waste Management Arising from Civil Construction in Brazil: A Literature Review. *ID on line. Revista de psicologia*, 15(55), 729-742. DOI: <https://doi.org/10.14295/idonline.v15i55.3108>
- Gómez Méndez, L y Rúgeles López, K. (2023). Revisión de literatura sobre las propiedades mecánicas de concreto permeable adicionado con polipropileno y residuos de palma africana. Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Civil, Villavicencio. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12494/53742>
- Gómez-Luna, Eduardo, Fernando-Navas, Diego, Aponte-Mayor, Guillermo, & Betancourt-Buitrago, Luis Andrés. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *DYNA*, 81(184), 158-163. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.37066>

- Herbas Baeny, Estela, & Linera Canedo, Camila del Rosario. (2023). Análisis multicriterio para la evaluación integrada de impactos sociales y ambientales en proyectos hidroeléctricos en Bolivia: bases conceptuales y metodológicas. *Acta Nova*, 11(2), 209-226. Epub 30 de noviembre de 2023. <https://doi.org/10.35319/acta-nova.20239>
- Hernández-Zamora, M. F., Jiménez-Martínez, S., & Sánchez-Monge, J. I. (2021). Materiales alternativos como oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción. *Revista Tecnología en Marcha*, 34(2), 3-10. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v34i2.4831>
- Maheut, J.; Milena Alvarez, S. (2022). Protocolo: Revisión sistemática de literatura de la aplicación de la metodología análisis de decisión multicriterio en la evaluación de iniciativas de logística urbana de mercancías. *WPOM-Working Papers on Operations Management*. 13(2):86-107. <https://doi.org/10.4995/wpom.16780>
- Mendoza Cantos, Jhon Gabriel, & Vanga Arvelo, María Giuseppina. (2020). Realidad y expectativa sobre la construcción sostenible en Ecuador. *Revista San Gregorio*, (43), 197-209. <https://doi.org/10.36097/rsan.v1i43.1116>
- Meza Uribe, N. (2023). *Revisión de literatura sobre el uso de pavimento asfáltico reciclado - rap en las diferentes capas de la estructura del pavimento*. Universidad Santo Tomás. URL: <http://hdl.handle.net/11634/50199>
- Pérez, S. P. M., Reyes, M. J. B., & Santisteban, J. R. Y. (2021). Gestión de residuos de construcción y demolición, para mitigar el impacto Ambiental y preservar nuestros recursos naturales: Una revisión de la literatura. *Ecuadorian Science Journal*, 5(2), 100-106. DOI: <https://doi.org/10.46480/esj.5.2.90>
- Reyes, M.; Vergara Rodríguez, K.; Robiglio, V. (2024). ¿Cómo es la deforestación asociada a las carreteras en la Amazonía peruana? Análisis y recomendaciones en tres estudios de caso para reducir su impacto. DOI: <https://doi.org/10.17528/cifor-icraf/009062>
- Scarpetta Molano, K. D., & Villarreal Tapia, L. (2023). Una propuesta de análisis sistémico para la selección de tecnologías para remediación de suelos a partir de un análisis multicriterio. *Ingeniería Y Región*, 29, 5–19. <https://doi.org/10.25054/22161325.3964>

- Urzola, G. A. B., & Garrido, L. Z. (2021). Gestión ambiental de residuos de construcción y demolición en Colombia: el caso del distrito de Barranquilla. *Veredas do Direito "Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável"*, 18(42). **DOI:** <https://doi.org/10.18623/rvd.v18i42.2228>
- Villa González, M. C. (2020). Revisión bibliográfica sobre el empleo de materiales filtrantes para la eliminación de metales pesados en aguas de escorrentía urbana. URI: <http://hdl.handle.net/10045/109495>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 12

Planificación estratégica y la gestión
pública del gobierno autónomo
descentralizado de la parroquia rural
cascol

AUTORES: John Michael Toala Baque; Gloria Mercedes Castro Zambrano; Carlos Amador Delgado Zavala



SABEREC 5.0

Planificación estratégica y la gestión pública del gobierno autónomo descentralizado de la parroquia rural cascol

Strategic Planning and Public Management of the Decentralized Autonomous Government of the Rural Parish of Cascol.

Resumen

La planificación estratégica en la gestión pública de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) permite gestionar adecuadamente el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDyOT) y la optimización de los recursos limitados, con la finalidad de tener claro las metas de los municipios en la actualidad y en un futuro. Este estudio tiene como objetivo analizar el impacto de la planificación estratégica en la mejora de la gestión pública dentro del GAD de la parroquia rural Cascol (Paján-Manabí), enfocándose en la optimización de recursos y la calidad de los servicios para los ciudadanos. Se empleó un enfoque cualitativo y cuantitativo, además de una investigación bibliográfica-documental para recopilar información relevante. También, se realizó investigación de campo directamente en las instalaciones del GAD de la Parroquia Cascol y se utilizaron técnicas como encuestas y entrevistas. Los resultados indican que la implementación de la planificación estratégica ha mejorado la coordinación interinstitucional, la transparencia en la gestión de recursos y ha incrementado la satisfacción de los ciudadanos con los servicios públicos ofrecidos por el GAD. En conclusión, la planificación estratégica se ha demostrado como una herramienta efectiva para fortalecer la gestión pública en la Parroquia Rural Cascol, aunque se identifican áreas de mejora como la sostenibilidad financiera y la adaptabilidad a los cambios socioeconómicos y ambientales locales.

Palabras claves: Coordinación interinstitucional, desarrollo local, eficiencia administrativa, participación ciudadana, servicios públicos, transparencia gubernamental.

Abstract

Strategic planning in the public management of Decentralized Autonomous Governments (GAD) allows for the proper management of the Development and Land Use Plan (PDyOT) and the optimization of limited resources, in order to be clear about the goals of the municipalities now and in the future. The objective of this study is to analyze the impact of strategic planning on the improvement of public management within the GAD of the rural parish of Cascol (Paján-Manabí), focusing on the optimization of resources and the quality of services for citizens. A qualitative and quantitative approach was used, in

addition to a bibliographic-documentary research to gather relevant information. Also, field research was carried out directly at the facilities of the GAD of Cascol Parish and techniques such as surveys and interviews were used. The results indicate that the implementation of strategic planning has improved inter-institutional coordination, transparency in resource management and increased citizen satisfaction with the public services offered by the GAD. In conclusion, strategic planning has proven to be an effective tool for strengthening public management in the Cascol Rural Parish, although areas for improvement are identified such as financial sustainability and adaptability to local socioeconomic and environmental changes.

Keywords: Inter-institutional coordination, local development, administrative efficiency, citizen participation, public services, government transparency.

Introducción

La planificación estratégica constituye una herramienta esencial para que las instituciones gubernamentales alcancen sus objetivos mediante procesos sistemáticos y bien estructurados. En el contexto de la Parroquia Rural Cascol, la planificación estratégica integra modelos de gestión pública, economía y finanzas públicas, políticas públicas, estrategias de gestión para el desarrollo, gobierno electrónico, participación ciudadana y control social, y planificación e inversión pública. Este enfoque holístico, se orienta hacia la consecución de los objetivos institucionales del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Cascol.

La Constitución de la República del Ecuador (Asamblea Nacional, 2008) ha impulsado procesos de descentralización y desconcentración, asignando nuevas competencias y responsabilidades a los Gobiernos Autónomos Descentralizados. Estos deben ahora modernizar sus estructuras organizativas y adoptar una gestión estratégica que les permita consolidar y fortalecer sus instituciones. La gestión estratégica es crucial, ya que facilita la implementación y evaluación de decisiones multidisciplinarias que garantizan la adaptación a entornos cambiantes y el cumplimiento de objetivos a corto, mediano y largo plazo, manteniendo la eficiencia y la eficacia en la entrega de servicios.

El propósito de esta investigación es realizar un diagnóstico situacional de la satisfacción de los habitantes, usuarios y servidores del GAD Municipal de la Parroquia Rural Cascol. Se examina el impacto de los servicios institucionales y la planificación estratégica como herramientas de gestión pública, necesarias para ofrecer servicios oportunos y de calidad. Este diagnóstico implica identificar competencias, atribuciones y funciones conforme a la nor-

mativa vigente, para satisfacer las necesidades y expectativas de la comunidad de Cascol.

Este reto incluye la meta de lograr un consenso y una visión compartida sobre el futuro, involucrando a la comunidad, autoridades, especialistas, conservacionistas y comunidades ancestrales, bajo una perspectiva de género, generación y humanismo. La planificación estratégica en los niveles internacional, nacional, provincial y parroquial recoge aspiraciones y propuestas de diversos actores sociales, incluyendo organizaciones comunitarias, jóvenes, mujeres, adultos mayores, y entidades públicas y privadas, para una gestión inclusiva y participativa.

Materiales y Métodos

Diseño de la investigación

El diseño de investigación de este proyecto es de enfoque cuali-cuantitativa se destaca por ser un conjunto de procesos sistemáticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (Hernández & Mendoza, 2018).

La investigación será de tipo correlacional, utilizando un diseño no experimental que permite a los investigadores establecer la relación entre dos variables estrechamente vinculadas. Esta investigación examina los procesos de planificación estratégica como una herramienta fundamental en la gestión pública del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Rural Cascol.

Método de investigación

Los métodos de investigación aplicadas al presente trabajo de investigación son:

Investigación Bibliográfica – Documental. - En esta investigación se utilizó un tipo de investigación bibliográfica – documental, con el propósito de examinar y recolectar información de libros de diferentes autores, revistas científicas, entre otros, la información recolectada tiene relación con el tema investigado, permitiéndonos tener un conocimiento claro y amplio sobre el tema de estudio.

Investigación de Campo. - Para el desarrollo de la investigación también se utilizó una modalidad de investigación de campo, ya que se lo realizó directamente en las instalaciones de las oficinas del GAD Rural de la Parroquia Cascol, permitiendo tener contacto directo con los funcionarios municipales,

observar detalles los cuales solo eran identificados en el lugar donde se realiza la investigación. Es valiosa la cantidad de información que nos provee una investigación de campo para poder dar una solución adecuada a nuestro problema.

Población

La población de la Parroquia Cascol y objeto de estudio es de 7.831 habitantes según datos del PDYOT de la Parroquia Rural Cascol (Delgado, 2021).

Cálculo de la muestra

El tipo de muestreo que se utilizó para esta investigación es probabilístico, mientras que el número de la muestra se la determinó por la fórmula para la población finita, teniendo 7.831 habitantes para la población, quedando como muestra un total de 366 habitantes a estudiar:

$$n = \frac{N * Z_{\infty}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\infty}^2 * p * q}$$

$N=$	7.831
$Z^2=$	1,96
$E^2=$	0,05
$P=$	0,5
$Q=$	0,5

n=366

Técnicas e instrumentos

Técnicas

Encuesta: Técnica de investigación para recoger información cualitativa y/o cuantitativa de una población estadística, se plantea un cuestionario escrito, cuyos datos obtenidos serán procesados con métodos estadísticos, para conocer la influencia de la planificación estratégica como herramienta básica de la gestión pública del Gobierno Autónomo descentralizado de la Parroquia Rural Cascol.

Entrevista: La entrevista es una técnica de recogida de información que además de ser una de las estrategias utilizadas en procesos de investigación, tiene ya un valor en sí misma, se plantea una entrevista para adquirir información referente a los recursos que posee el Gobierno Autónomo descentralizado de la Parroquia Rural Cascol.

Instrumentos

Es importante mencionar que el instrumento para la recolección de datos para esta investigación es la encuesta y entrevista, es decir en preguntas cerradas, con facilidades para su respuesta, aplicadas a la ciudadanía que recepta los servicios del Gobierno Autónomo descentralizado de la Parroquia Rural Cascol. Con las variables de estudio: planificación estratégica y la gestión pública.

Método de análisis de datos

A los participantes se les informarán los objetivos, métodos y beneficios que tendrán la investigación. Una vez obtenidos nuestros datos mediante la encuesta, resultados de las pruebas analizadas, y mediante un software estadístico (Excel) se procedió con el respectivo análisis de los datos para así cumplir con nuestros objetivos planteados en nuestro proyecto.

Procesamiento de información

El procesamiento de información recopilada a través de las técnicas de investigación aplicada, se procedió a revisarlas que todas las preguntas se encuentren contestadas y siguiendo en el proceso correspondiente se desarrolló la tabulación utilizando cuadros estadísticos y representaciones gráficas.

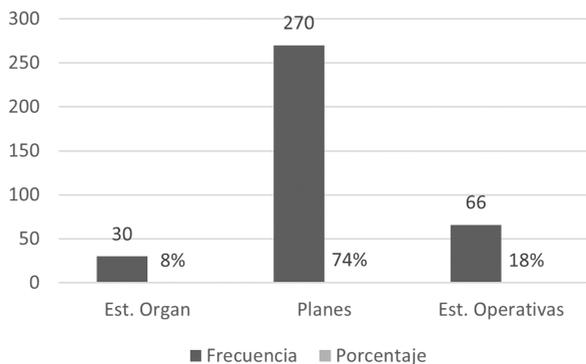
Análisis de la encuesta

A continuación, se presenta la tabulación de los datos obtenidos de las encuestas aplicadas a una muestra de 366 ciudadanos. Se incluyen las correspondientes figuras estadísticas descriptivas y tablas de frecuencias porcentuales. El objetivo es conocer las opiniones de los ciudadanos sobre los procesos de planificación estratégica, identificar las necesidades existentes y determinar el nivel de eficiencia en la gestión de los recursos del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Rural Cascol.

Pregunta 1 ¿De las siguientes soluciones de mejoras, cual piensa usted que desarrolla el GAD en la Parroquia Rural de Cascol?

Figura 55.

Conocimiento sobre el Gobierno Autónomo Descentralizado desarrolla estrategias organizacionales, estrategias operativas, y planes.

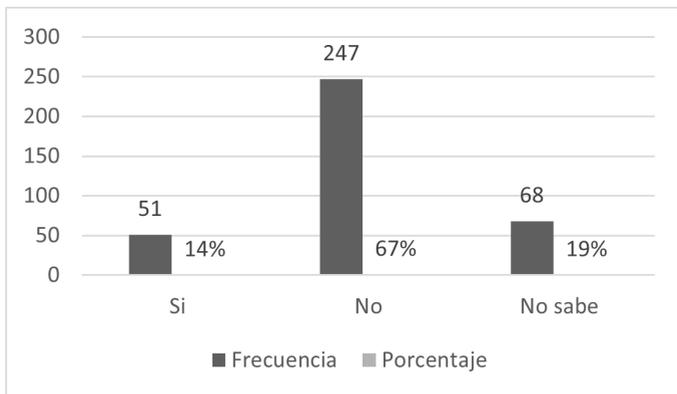


Análisis en porcentaje de los conocimientos sobre el GAD desarrolla estrategias organizacionales, estrategias operativas, tácticas y planes.

Pregunta 2. ¿Conoce usted la misión, visión y valores del GAD Rural de Cascol?

Figura 56.

Conocimiento sobre la misión, visión y valores del GAD Rural de Cascol.

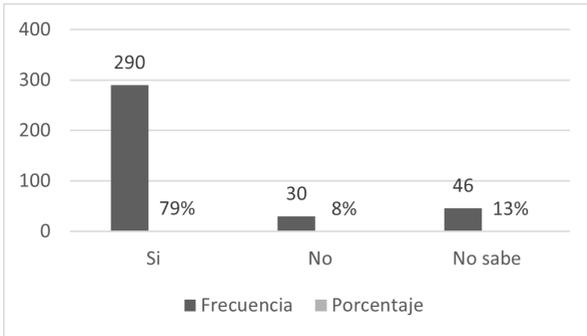


Análisis del conocimiento sobre la misión y visión del GAD Rural de Cascol.

Pregunta 3. ¿Considera usted que una excelente administración del GAD Rural de la Parroquia Cascol depende de un adecuado plan estratégico?

Figura 57.

Consideración que una excelente administración del GAD depende de un adecuado plan estratégico.

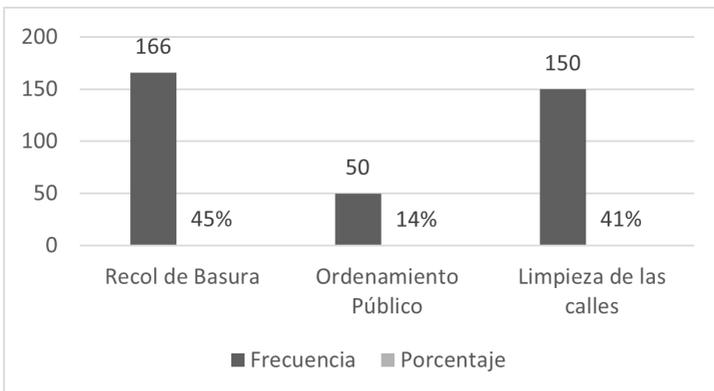


Análisis de la consideración que una excelente administración del GAD depende de un adecuado plan estratégico.

Pregunta 4. ¿Indique cuáles de las siguientes necesidades de la parroquia se lleva a cabo con mayor frecuencia parte por parte del GAD Parroquia Rural Cascol?

Figura 58.

Cumplimiento de las necesidades de la Parroquia Rural Cascol.

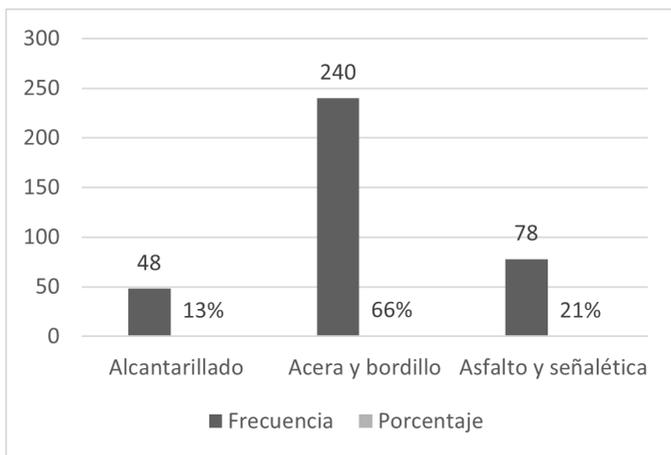


Análisis del cumplimiento de las necesidades de la Parroquia Rural Cascol

Pregunta 5. ¿Indique en que servicio se han realizado mantenimientos de infraestructuras en el actual gobierno la Parroquia Rural Cascol?

Figura 59.

Realización de mantenimientos de infraestructuras en la Parroquia Rural Cascol.



Análisis sobre la realización de mantenimientos de infraestructuras en la Parroquia Rural Cascol

Resultados

En relación con los resultados obtenidos al aplicar una encuesta a la ciudadanía, cuyo objetivo fue conocer las opiniones de los ciudadanos respecto a los procesos de planificación estratégica en el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de la Parroquia Rural Cascol, se evidencia un bajo nivel de eficiencia en la planificación y gestión de los recursos. Esta deficiencia impide brindar un mejor servicio en la gestión pública de los recursos del GAD de Cascol. Según Santana (2016), “los Gobiernos Autónomos Descentralizados consideran que el cumplimiento de sus planes estratégicos es medio. Con ello se puede inferir que los GAD poseen planes que no se cumplen totalmente y, que es necesaria una mayor exigencia para aumentar dicho desempeño, además de una revisión de los mismos.”

El GAD Rural de la Parroquia Cascol cuenta con una planificación estratégica que recoge aspiraciones, necesidades y propuestas planteadas por diferentes actores sociales, como organizaciones comunitarias, jóvenes, mujeres, adultos mayores, e instituciones públicas y privadas. El propósito del plan es institucionalizar un sistema de planificación y gestión local que garantice el acceso equitativo de la población a la toma de decisiones y su participación directa en la búsqueda de alternativas para combatir la pobreza e impulsar el desarrollo humano integral.

En resumen, la pertinencia de esta investigación se evidencia en la necesidad y la importancia de la planificación estratégica y la gestión administrativa para mejorar la calidad de los servicios del GAD Rural de la Parroquia Cascol, enfocándose en áreas como la economía, producción, salud y nivel de vida de la población.

Propuesta de modelo de planificación estratégica orientado a la consecución de objetivos institucionales del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Rural Cascol.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados son instituciones que poseen autonomía política, administrativa y financiera, tienen como objetivo promover el desarrollo equitativo, solidario y sustentable del territorio, la integración y participación ciudadana, así como el desarrollo social y económico de la población, de igual forma garantizar el pleno ejercicio de los derechos sin discriminación alguna, así como la prestación adecuada de los servicios públicos (Asamblea Nacional, 2010)

Para lograr el desarrollo económico y social de los habitantes de la Parroquia Rural de Cascol, es fundamental que su Gobierno Autónomo Descentralizado Rural cuente con una planificación estratégica que guíe su quehacer institucional hacia la consecución de objetivos a mediano y largo plazo. Esta planificación debe fortalecer la gestión administrativa, el talento humano, la participación ciudadana, la calidad del servicio público y la productividad, además de tener la capacidad de adaptarse a los cambios y exigencias futuras provenientes del gobierno central.

Un modelo de gestión estratégica permite a las autoridades tener una visión clara del direccionamiento que se quiere dar a la institución, así como definir las estrategias y actividades necesarias para alcanzar las metas establecidas.

En este sentido, se propone una planificación estratégica que responda a una visión y misión ajustadas a la realidad institucional del Gobierno Autó-

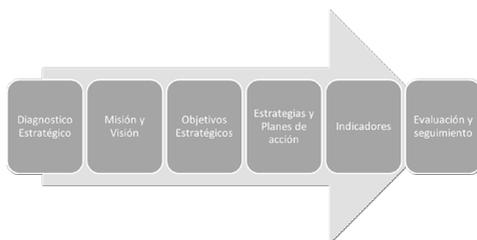
nomo Descentralizado de la Parroquia Rural de Cascol. Esto se basará en un análisis minucioso de factores externos e internos, identificando las falencias en los procesos actuales, las necesidades ciudadanas y los servicios ofrecidos, entre otros aspectos a mejorar a mediano y largo plazo. Todo esto debe estar en consonancia con la Constitución de la República, el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, y el Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas

Descripción general del modelo

Basado en el análisis de diversos modelos de gestión estratégica, incluyendo el Método de Hoshin Kanri y el método de planificación estratégica en el ámbito público de la CEPAL, se han identificado las similitudes, particularidades y diferencias entre ellos, así como sus ventajas y posibles aplicaciones. A partir de este análisis, se propone una planificación estratégica adaptada a las necesidades, características y peculiaridades del Gobierno Autónomo Descentralizado Rural de la Parroquia Cascol.

Figura 60.

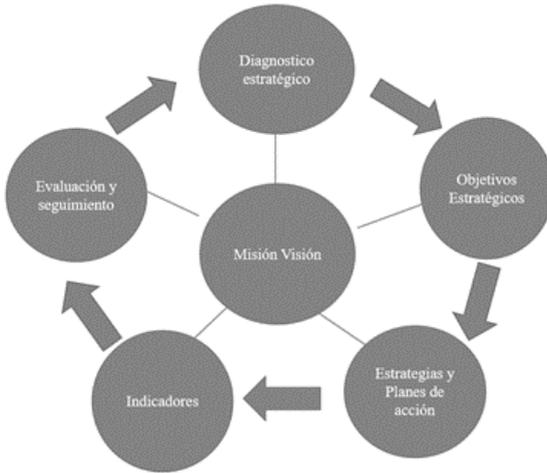
Planificación estratégica aplicado al GAD Rural de Cascol.



La presente planificación estratégica es un proceso cíclico y sistemático, en donde cada fase se relaciona directamente con sus subsecuentes fases, por lo que para una elaboración eficiente es necesario el partir de un diagnóstico exhaustivo y una elaboración de la misión y visión institucional bajo las cuales se desarrolla toda la planificación estratégica.

Figura 61.

Modelo de gestión estratégica y su relación con la misión y visión institucional.



Esta figura establece la gran importancia que tienen la misión y visión ya que constituyen el centro de reflexión y aportan las premisas de las decisiones estratégicas que el Gobierno Autónomo Descentralizado Rural de la Parroquia Cascol deberá tomar en cuenta para la consecución de los mismos.

Análisis FODA

En una institución pública, la planificación es un esfuerzo administrativo e institucional que permite prever condiciones futuras y tomar decisiones presentes a través de un documento denominado plan (Ramirez Rojas, 2017). En este contexto, las instituciones enfrentan inconvenientes en la recopilación y organización de información relevante, la cual está directamente relacionada con la adopción de estrategias competitivas y objetivos futuros para su consolidación y mejoramiento institucional.

En el caso del Gobierno Autónomo Descentralizado Rural de la Parroquia Cascol, es esencial realizar un análisis FODA para conocer detalladamente la situación real de la institución.

Tabla 25.

Matriz FODA.

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> - Autonomía económica y financiera. - Funcionarios comprometidos con la institución. - Personal suficiente para cumplir las distintas funciones y actividades dentro del GAD Rural. - Desconcentración administrativa y financiera. - Mayoría del personal con experiencia en el cumplimiento de sus funciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cierta nivel de desconfianza entre los funcionarios con sus autoridades superiores. - Desconcierto e los funcionarios por cambio de directores departamentales y autoridades. - Remoción de funcionarios por cambio de autoridad. - Modelo de gestión estratégica no estructurado. - Múltiples problemas operativos y de gestión internos. - Falta de un modelo de gestión estratégica que oriente el accionar institucional. - Poca comunicación entre departamentos que forman parte del GAD Rural. - No existe el seguimiento y monitoreo a la planificación institucional - Establecimiento de misión, visión y objetivos institucionales no reales y acordes a las circunstancias de la Parroquia.
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> - Percepción adecuada por parte de la ciudadanía en torno al Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Rural Cascol. - Posibilidad de crear alianzas con otras instituciones de manera estratégica para mejorar las capacidades de los funcionarios. - Posibilidad de que los funcionarios se capaciten en distintas áreas que mejoren su accionar dentro del GAD Rural de la Parroquia Cascol. - Ciudadanía activa y comprometida con el GAD en pro de mejorar la elaboración de un modelo de gestión estratégica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inestabilidad y cambios dentro de las políticas a nivel estatal. - Cambios en asignación de recursos económicos a los Gobiernos Autónomos Descentralizados. - Cambio climático, reducción de las fuentes de agua para proveer del servicio básico de agua potable.

Conclusiones

El nivel de eficiencia en la gestión de los recursos del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Rural Cascol es moderado, ya que no se logra cubrir el 100% de las necesidades de la población. Esto se debe a múltiples factores que requieren corrección y a la falta de un plan estructurado que guíe el camino hacia la consecución de los objetivos propuestos. Además, hay proyectos viables que no se han podido desarrollar por falta de presupuesto. Por lo tanto, es crucial llevar a cabo una planificación estratégica para mejorar el nivel de cumplimiento de los objetivos institucionales.

Se pudo detectar que existen ciertas necesidades que no ha cumplido el GAD parroquial en su totalidad, como lo es el alumbrado público ya que en algunos lugares de la parroquia no se cuenta con este servicio o se encuentran en mal estado, por otro lado, el acceso a carreteras no se encuentra en buen estado no es posible en lugares apartados al centro de la ciudad.

Referencias Bibliográficas

- Asamblea Nacional. (2008). Constitución de la República del Ecuador, Quito - Ecuador.
- Asamblea Naciona. (2010). Código orgánico de organización territorial autonomía y descentralización. Quito, Ecuador.
- Delgado, C. (2021). Actualización del PDyOT Cascol 2021. Consultoría Delgado, Jipijapa, Manabí. Obtenido de http://gadprcascol.gob.ec/media/pdot_archivos/PDYOT_CASCOL_19-03-2021.pdf
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. México: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES.
- Ramirez Rojas, J. L. (2017). Procedimiento para la elaboración de un análisis FODA como una herramienta de planeación estratégica en las empresas. <http://148.202.167.116:8080/xmlui/handle/123456789/1214>
- Santana, S. (2016). La planificación estratégica y la gestión administrativa de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM) de Tungurahua. Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/22999/1/T3638M.pdf?fbclid=IwAR2KU-cAlvh8Iz6IjdjFCwS0n5uiQvp4jpBIsZfVuOe-q0nhILPBrD0aqEH4>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 13

Valuación de la susceptibilidad a la
licuación de suelos mediante SPT en
el Cantón Puerto López, Ecuador:
Estudio de Caso.

AUTORES: JLuis Roberto Ponce Baque; Víctor Alejandro Lino Calle; Daniel David Carvajal
Rivadeneira; Yandry Marcelo Intriago Delgado



SABEREC 5.0

Valuación de la susceptibilidad a la licuación de suelos mediante SPT en el Cantón Puerto López, Ecuador: Estudio de Caso.

Evaluation of the susceptibility to liquefaction of soils by means of SPT in the Canton of Puerto López, Ecuador: Case Study.

Resumen

Ecuador es un país altamente sísmico, debido a este fenómeno se provoca la licuación del suelo, que se evidenció en el sismo del 16 de abril de 2016. En el cantón Puerto López, donde el nivel del agua subterránea es superficial, la licuación del suelo representa un riesgo durante los terremotos. Por ello, es importante mapear y estudiar estas áreas para implementar medidas de mitigación adecuadas. El objetivo de esta investigación es determinar las características de los suelos propensos a licuación antes de construir edificaciones de baja categoría. La metodología consistió en un enfoque documental y de campo para entender y analizar características desconocidas del suelo. Se aplicó un método experimental con pruebas de laboratorio, utilizando equipos de penetración estándar (SPT) y siguiendo las normas INEN-689 y ASTM-D 1586 D-6066, para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Se realizaron ensayos de laboratorio para identificar características físicas como humedad natural y límites de consistencia, así como mecánicas, como resistencia al corte y capacidad portante. Los suelos fueron clasificados según ASTM como ML (limos inorgánicos y arenas muy finas) y se determinó que no son licuables, basándose en el método de Bray y Sancio según la NEC-15. El estudio concluyó que los barrios y ciudadelas de Puerto López tienen suelos tipo D según la NEC, con arcillas de media y baja plasticidad.

Palabras claves: Mecánica de suelos, Ensayo de penetración estándar (SPT), capacidad admisible del suelo, licuación de suelos, Propiedades físico-mecánicas, NEC.

Abstract

Ecuador is a highly seismic country, due to this phenomenon soil liquefaction is caused, which was evidenced in the earthquake of April 16, 2016. In the Puerto Lopez canton, where the groundwater level is superficial, soil liquefaction represents a risk during earthquakes. Therefore, it is important to map and study these areas to implement appropriate mitigation measures. The objective of this research is to determine the characteristics of liquefaction-prone soils prior to the construction of low category buildings. The methodology consisted of a documentary and field approach to understand and analyze unknown soil characteristics. An experimental method was applied with labo-

ratory tests, using standard penetration testing (SPT) equipment and following INEN-689 and ASTM-D 1586 D-6066 standards, to determine the physical and mechanical properties of the soil. Laboratory tests were conducted to identify physical characteristics such as natural moisture and consistency limits, as well as mechanical characteristics such as shear strength and bearing capacity. The soils were classified according to ASTM as ML (inorganic silts and very fine sands) and were determined not to be liquefiable, based on the Bray and Sancio method according to NEC-15. The study concluded that the neighborhoods and citadels of Puerto Lopez have type D soils according to the NEC, with clays of medium and low plasticity.

Keywords: Soil mechanics, Standard Penetration Test (SPT), soil bearing capacity, soil liquefaction, Physical-mechanical properties, NEC.

Introducción

El agua subterránea representa uno de los desafíos más insidiosos para la integridad estructural, y en Ecuador, numerosas edificaciones están enfrentando el colapso y severos daños debido a la insuficiente identificación de las zonas vulnerables a este fenómeno. La falta de un análisis exhaustivo para detectar áreas susceptibles a la densificación ha sido un factor crítico, ignorando un detalle fundamental en la construcción de edificaciones residenciales y unifamiliares.

De acuerdo con el NEC-15, Investigación Geotécnica e Ingeniería de Cimientos (Código de Construcción Ecuatoriano), la licuación del suelo es un fenómeno natural inducido por vibraciones sísmicas, particularmente en suelos granulares saturados. Este proceso incrementa la presión del agua en el subsuelo, reduciendo el esfuerzo efectivo y, por ende, la capacidad de carga y la rigidez del suelo (Castro, 2021). Como resultado, esto conlleva al asentamiento estructural y, en última instancia, al colapso o falla de las estructuras.

La ingeniería ofrece soluciones para construir sobre estos suelos, sin embargo, los costos son elevados debido a la necesidad de diseños estructurales y paisajísticos especializados. Identificar las áreas afectadas por este fenómeno es esencial para una planificación urbana efectiva, permitiendo una mejor zonificación y mitigación de riesgos.

Ecuador, conocido por su vulnerabilidad sísmica, ha mostrado con claridad los efectos de la licuefacción durante eventos sísmicos, como el terremoto del 16 de abril de 2016. En el cantón de Puerto López, donde el agua subterránea se encuentra a baja profundidad, la licuefacción del suelo ha tenido un impacto notable, afectando especialmente al castillo de El Mirador (Gobierno Autónomo de Puerto López, 2022).

Por lo tanto, es imperativo seguir investigando y mapeando las áreas propensas a la densificación en Ecuador. Este conocimiento permitirá evaluar las zonas afectadas y aplicar medidas de mitigación adecuadas, así como desarrollar diseños estructurales que garanticen la estabilidad y seguridad en estas regiones.

Materiales y Métodos

Herramientas de recolección de datos

Campo

- Equipo para Ensayo de Penetración Estándar (SPT).
- Barra de perforación
- Cabeza de golpeo
- Tubo partido
- Sogas
- Maza de Acero
- Bloque de madera
- Motor OHV 5.5 HP
- Trampa para arenas
- Hoja de campo
- Pizarra
- Fundas plásticas gruesas
- Flexómetro
- Cámara fotográfica

Laboratorio

- Balanza digital
- Tamices
- Horno eléctrico
- Maquina Casagrande
- Acanalador
- Recipientes

- Espátula
- Agua

Tipos de investigación

La investigación llevada a cabo en este proyecto para evaluar las características geotécnicas del suelo en barrios y ciudadela, con vistas a la construcción de edificaciones de baja categoría, se fundamentó en una metodología de investigación aplicada. Esta metodología se eligió debido a que sus resultados permiten abordar de manera tanto directa como indirecta los problemas identificados durante el estudio.

Método de investigación

En el marco del presente proyecto, se emplearon tres metodologías fundamentales: experimental, de campo y bibliográfica.

- La metodología bibliográfica se aplicó para recabar información normativa y técnica a partir de una amplia gama de fuentes, que incluyeron textos especializados como normas técnicas, manuales, obras de autores reconocidos, revistas científicas y sitios web relevantes.
- La investigación de campo se llevó a cabo con el propósito de verificar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en los distintos barrios y ciudadelas del Cantón Puerto López. Este proceso se inició con una minuciosa inspección de los lugares seleccionados, seguido de perforaciones realizadas hasta una profundidad de seis metros utilizando el equipo SPT, con el fin de obtener muestras representativas.
- El método experimental se implementó a través de una serie de pruebas de laboratorio diseñadas para determinar las características físicas y mecánicas del suelo, proporcionando datos precisos que permitieron una comprensión detallada de sus propiedades.

Estas metodologías, cada una con su enfoque distintivo, contribuyeron de manera integral al desarrollo del proyecto, garantizando una evaluación exhaustiva y rigurosa de las condiciones del suelo en el área de estudio.

Resultados

En el presente estudio, se empleó el equipo de penetración estándar, conocido comúnmente como equipo SPT, como instrumento principal para la recolección de muestras (Chica, 2022). Este equipo se utilizó de acuerdo con las normativas establecidas en la norma INEN-689 y en la norma ASTM-D 1586 D-6066.

Se recogieron muestras alteradas, las cuales fueron analizadas a través de una serie de ensayos de laboratorio para determinar sus características (Cevallos, 2019). Los ensayos realizados incluyeron:

- Determinación de la humedad natural de las muestras.
- Medición de los límites de consistencia según el método de Atterberg, que incluye el Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (LP).
- Análisis granulométrico mediante el proceso de tamizado.

Estos procedimientos permitieron obtener un perfil detallado de las propiedades físicas del suelo, facilitando una evaluación precisa de sus características.

Tabla 26.

Análisis de caracterización de muestras.

Perforación 1		Granulometría				Límites de Consistencia				Clasificación de suelo	
Muestra	Profundidad (m)	% que pasa Tamiz N°4	% que pasa Tamiz N°10	% que pasa Tamiz N°40	% que pasa Tamiz N°200	W (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	SUCS	AASHTO
M1	0,55 - 1,00	100,00	92,73	86,27	68,88				15	ML	A-7-6 (10)
M2	1,55 - 2,00	100,00	88,18	77,46	61,15				16	ML	A-7-5 (9)
M3	2,55 - 3,00	100,00	88,20	77,48	61,75				11	ML	A-7-6 (11)
M4	3,55 - 4,00	100,00	88,35	77,82	61,77				12	ML	A-7-5 (7)
M5	4,55 - 5,00	100,00	88,20	77,52	61,26				28	CL	A-7-6 (14)
M6	5,55 - 6,00	100,00	88,17	77,47	61,13				13	CL	A-7-6 (13)

Tabla 27.

Sistema de clasificación AASHTO.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz Nº 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)				
	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b									
Porcentaje que pasa: Nº 40 (2mm) Nº 40 (Ø,425mm) Nº 200 (Ø,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	-			-				
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40											
Límite líquido	-		-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				

Tabla 28.

Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS).

DIVISIONES PRINCIPALES		Simbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% -> GW, GP, SW, SP >12% -> GM, GC, SM, SC 5 al 12% -> casos límite que requieren usar doble símbolo.	$C_u = D_{60}/D_{10} > 4$ $C_c = (D_{30} - D_{10})/D_{60}$ entre 1 y 3	
		(sin o con pocos finos)	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.	
		Gravas con finos	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP < 4. Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.	
		(apreciable cantidad de finos)	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con IP > 7.	
	ARENAS	Arenas limpias	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		$C_u = D_{60}/D_{10} > 6$ $C_c = (D_{30} - D_{10})/D_{60}$ entre 1 y 3	
		(pocos o sin finos)	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Quando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.	
		Arenas con finos	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP < 4. Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan	
		(apreciable cantidad de finos)	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con IP > 7.	
		Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)				
		Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200				
SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas:	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limos o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad.				
		ML				
		CL				
	Límite líquido menor de 50	OL				
	Limos y arcillas:	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.		MH		
		Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.		CH		
	Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Límite líquido mayor de 50		OH		
Suelos muy orgánicos		PT				

Conclusiones

- La investigación sobre el suelo en los barrios y ciudadelas del Cantón Puerto López se llevó a cabo mediante la aplicación del ensayo de penetración estándar (SPT), alcanzando una profundidad de seis metros, de acuerdo con los lineamientos establecidos en la norma NEC-15. Este procedimiento permitió identificar el tipo de suelo y evaluar sus capacidades de carga admisibles.
- Durante el trabajo de campo, se realizaron múltiples estudios del suelo y se recolectaron muestras para su análisis en laboratorio. Estos ensayos posibilitaron la clasificación de los suelos utilizando los métodos AASHTO y SUCS, revelando la presencia de suelos clasificados como ML y CL, caracterizados por arcillas de plasticidad media y baja.
- Los resultados obtenidos señalaron que los barrios y ciudadelas presentan un suelo de tipo D, conforme a lo estipulado por la NEC. Además, se concluyó que el suelo no presenta características de licuabilidad, basado en el método definido por Bray y Sancio según los criterios de la NEC-15.

Referencias Bibliográficas

- Castro, F. (2021). *Análisis de las propiedades físico-mecánicas y CBR de suelos cohesivos de subrasante mezclados con partículas de tereftalato de polietileno (PET)*. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/33593>
- Cevallos , A. (2019). *Determinación del límite líquido y plástico de los suelos mediante el uso del penetrómetro cónico*. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6403/9.20.001327.pdf;sequence=4>
- Gobierno autónomo de Puerto López . (2022). Obtenido de <https://www.puertolopez.gob.ec/>
- Chica, A. (2022). *Identificación y evaluación de geositos para el manejo sustentable del patrimonio geológico del cantón Puerto López*. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/64183/5/1.%20Trabajo%20de%20Titulaci%C3%BAn.%20Chica%20%26%20S%C3%A1nchez.pdf>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 14

Análisis del impacto de pavimentos
flexibles y permeables en la reducción
de inundaciones urbanas y el
mantenimiento vial

AUTORES: Luis Alberto Endara Cevallos; Fernando Nicolás Palacios Pazmiño; María Teresa Ponce Cevallos; Dannys Ramón Rodríguez Avilés



SABEREC 5.0

Análisis del impacto de pavimentos flexibles y permeables en la reducción de inundaciones urbanas y el mantenimiento vial

Analysis of the impact of flexible and permeable pavements on urban flood reduction and road maintenance

Resumen

En época invernal, varios cantones y localidades de la provincia de Manabí sufren de inundaciones periódicas en su casco urbano, lo que compromete la movilidad y la integridad de la infraestructura vial. Este problema se agrava debido a la impermeabilización de superficies como carreteras y aceras, lo cual limita la capacidad de drenaje natural y aumenta el riesgo de inundaciones. En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el impacto de los pavimentos flexibles y permeables en la mitigación de inundaciones urbanas y en la optimización del mantenimiento vial. La metodología adoptada abarca una revisión bibliográfica sobre pavimentos permeables, la selección de sitios piloto en zonas urbanas susceptibles a inundaciones y la implementación práctica de estos pavimentos en dichas áreas. Los resultados preliminares revelan una disminución en la escorrentía superficial y en la frecuencia de inundaciones en las áreas tratadas con pavimentos permeables. Asimismo, se ha observado una reducción en los costos de mantenimiento vial, atribuible a una menor incidencia de daños provocados por el agua. Estos hallazgos sugieren que la implementación de pavimentos flexibles y permeables constituye una estrategia eficaz para la gestión del agua pluvial y la mejora de la sostenibilidad urbana.

Palabras clave: Inundaciones, mantenimiento vial, mitigación, pavimentos sostenibles, sostenibilidad urbana.

Abstract

During the winter season, several cantons and towns in the province of Manabí suffer from periodic flooding in their urban areas, which compromises mobility and the integrity of road infrastructure. This problem is aggravated by the impermeabilization of surfaces such as roads and sidewalks, which limits the natural drainage capacity and increases the risk of flooding. In this context, the present research aims to evaluate the impact of flexible and permeable pavements on urban flood mitigation and road maintenance optimization. The methodology adopted includes a literature review on permeable pavements, the selection of pilot sites in urban areas susceptible to flooding, and the practical implementation of these pavements in these areas. Preliminary results reveal a decrease in surface runoff and flooding frequency in areas treated with

permeable pavements. Also, a reduction in road maintenance costs has been observed, attributable to a lower incidence of water damage. These findings suggest that the implementation of flexible and permeable pavements is an effective strategy for stormwater management and improving urban sustainability.

Keywords: Flooding, road maintenance, mitigation, sustainable pavements, urban sustainability.

Introducción

En la gestión de las ciudades modernas debido al incremento de superficies impermeables, que impiden la infiltración natural del agua de lluvia y resultan en escorrentías superficiales que sobrecargan los sistemas de drenaje provocando inundaciones. El presente artículo tiene como objetivo analizar el impacto de los pavimentos flexibles y permeables en la reducción de inundaciones urbanas, evaluar los efectos de estos pavimentos en el mantenimiento vial y comparar diferentes tipos de pavimentos flexibles y permeables en términos de su eficacia y aplicabilidad.

A nivel internacional, las experiencias varían ampliamente dependiendo de las condiciones geográficas, climáticas y económicas. En muchas ciudades latinoamericanas, la implementación de pavimentos permeables aún está en fases incipientes, aunque existen proyectos piloto y estudios de caso que demuestran su efectividad. En Colombia, por ejemplo, una investigación realizada por Hernández & Martínez (2014), en una prueba que consta de 3 ejemplares de pavimento permeable indica que “El campo de prueba tiene un rendimiento del 93%, es decir, permite el ingreso del 93% para una lluvia con el 10% de excedencia en Cartagena.” (pág. 99).

A nivel nacional, varios países han implementado políticas públicas y normativas para promover el uso de pavimentos permeables en áreas urbanas. En muchas ciudades latinoamericanas, la implementación de pavimentos permeables aún está en fases incipientes, aunque existen proyectos piloto y estudios de caso que demuestran su efectividad. Por ejemplo, en la provincia de El Oro en Ecuador, en un artículo desarrollado por Cabello et al. (2015), concluyen que:

El concreto permeable representa una alternativa de construcción frente al problema de inundaciones, agotamiento de los mantos acuíferos y escasez de agua, que a su vez brinda ventajas adicionales como absorción de la emisión de ruido de vehículos y al disminuir la película de agua de lluvias (pág. 41).

A nivel local, las experiencias con pavimentos permeables son casi nulas. Puesto que en muchas ciudades la implementación de pavimentos de este tipo está todavía en una etapa temprana, un claro ejemplo es que en Chone-Manabí, en un artículo científico propuesto por Solórzano & Quiroz (2021), manifiesta en su investigación la implementación de sistemas de drenajes de aguas superficiales (SUDS, por sus siglas en inglés Sustainable Urban Drainage Systems) para repicar lo más cercano posible el drenaje natural de un lugar antes de la urbanización haciendo uso de los pavimentos permeables.

Ante esta situación nos planteamos la siguiente formulación del problema: La creciente urbanización y el cambio climático han aumentado la incidencia de inundaciones urbanas, afectando la infraestructura vial. Este estudio investiga cómo los pavimentos flexibles y permeables pueden mitigar estos problemas y para responder a la formulación del problema se propone el siguiente objetivo el cual es realizar un análisis comparativo del pavimento flexible y permeable en su efectividad en la reducción de inundaciones y del mantenimiento de las vías urbanas.

Materiales y Métodos

Para llevar a cabo este análisis, se seleccionaron artículos científicos publicados en revistas especializadas y conferencias internacionales de los últimos diez años. Los criterios de inclusión consideraron estudios que abordaran específicamente el uso de pavimentos flexibles y permeables en contextos urbanos, evaluando su impacto tanto en la gestión de aguas pluviales como en el mantenimiento vial.

Se realizaron búsquedas en bases de datos académicas como Scopus, Web of Science y Google Scholar, utilizando palabras clave como “pavimentos permeables”, “inundaciones urbanas”, “mantenimiento vial”, y “mitigación”. Los artículos fueron seleccionados en función de su relevancia y calidad metodológica, asegurando la inclusión de estudios empíricos y revisiones sistemáticas.

La información recopilada se analizó utilizando técnicas de síntesis cuantitativa. Se emplearon análisis para integrar los resultados de estudios comparables y se realizaron análisis descriptivos para identificar tendencias y patrones en los datos. Además, se llevó a cabo una evaluación crítica de la calidad de los estudios incluidos para asegurar la robustez de las conclusiones.

Resultados

Según Martínez, Lilibet, Aenlle (2017), indican que el pavimento flexible se caracteriza por estar constituido por una o varias capas de material granular, dispuestas sobre el terreno natural. Estos materiales granulares pueden estar combinados o no con materiales asfálticos, con el propósito de incrementar su resistencia y mejorar la calidad de las superficies de rodadura.

La capa de rodadura en los pavimentos flexibles puede tener un espesor considerable, lo que contribuye a la reducción de las cargas transmitidas al suelo subyacente. En el ámbito aeroportuario, el pavimento flexible es preferido para las calles de rodaje y pistas debido a sus propiedades de adaptabilidad y capacidad de absorción de cargas dinámicas.

Según Cárdenas et al. (2017) en las áreas urbanas hay aspectos que no se han abordado suficientemente en el diseño y evaluación de vialidades, a pesar de que pueden ser de impacto significativo, tales como la ruptura de comunidades por barreras viales y el desaprovechamiento, conducción y desalojo del agua producto de las precipitaciones pluviales problema, este último ocasionado por la impermeabilidad de los pavimentos construidos. La situación descrita se origina a partir de que las soluciones usuales en la construcción de la infraestructura vial de grandes concentraciones urbanas están afectadas por la divergencia: mejores condiciones de resistencia y menores posibilidades de permeabilidad y por lo tanto de aprovechamiento del recurso agua. 1. La divergencia concretos impermeables-conservación del agua La imposibilidad actual para lograr resistencia y permeabilidad de los pavimentos bajo los criterios de diseño imperantes se explica en términos de los siguientes factores: a, el pavimento permeable es una mezcla de cemento, agregado y agua, diseñada con un nivel de porosidad que permite la infiltración del agua hacia las capas subyacentes. Su principal objetivo es mitigar el escurrimiento superficial y reducir los caudales pico en áreas urbanizadas, contribuyendo así a la conservación y gestión eficiente de las aguas pluviales. Este tipo de pavimento promueve la sostenibilidad ambiental en la construcción de infraestructura de transporte.

La estructura del pavimento permeable puede variar, incluyendo sistemas de infiltración total, parcial o pavimentos sin capacidad de infiltración. Además, puede incorporar componentes adicionales en su base para facilitar la conducción y el desalojo del agua. Esta tecnología no solo mejora la gestión de aguas pluviales, sino que también contribuye y mejora la calidad del agua al filtrar contaminantes.

Según Molina-Prieto (2016), indica que las inundaciones urbanas son eventos extremos y devastadores provocados por lluvias y tormentas intensas, cuya frecuencia e intensidad se han incrementado debido al cambio climático. Estos fenómenos representan riesgos significativos para la salud y la vida de los habitantes de las ciudades, afectando especialmente las áreas urbanas debido a la impermeabilización del suelo y la interrupción del ciclo natural del agua. La urbanización intensiva contribuye a la disminución de superficies permeables, exacerbando la incapacidad del entorno para absorber y gestionar eficientemente el exceso de agua pluvial.

Según Baltodano (2017), indica que el mantenimiento vial comprende un conjunto de actividades orientadas a preservar y mejorar las condiciones de las vías de comunicación. Este se clasifica en mantenimiento rutinario, que abarca acciones diarias como la limpieza de la calzada y el corte de vegetación, y mantenimiento periódico, realizado en intervalos mayores a un año para prevenir defectos significativos y mantener la integridad estructural de la vía. Además, incluye la rehabilitación, cuyo objetivo es restaurar las características originales de la infraestructura vial.

Los resultados indican que los pavimentos permeables pueden reducir significativamente la escorrentía superficial, disminuyendo la carga sobre los sistemas de drenaje urbano y reduciendo la incidencia de inundaciones. Estudios de caso en diversas ciudades han demostrado que la implementación de pavimentos permeables en zonas estratégicas puede mejorar la gestión de aguas pluviales y mitigar los efectos adversos de las tormentas intensas.

Según Vera María (2023), los pavimentos flexibles facilitan la reducción de inundaciones urbanas al mejorar la capacidad de infiltración del suelo, lo que resulta en una disminución del coeficiente de escorrentía. Integrados en sistemas de drenaje eficientes, estos pavimentos ayudan a gestionar y dirigir el agua de lluvia de manera óptima, contribuyendo significativamente a la mitigación de acumulaciones de agua en terrenos planos y al manejo efectivo de riesgos asociados a inundaciones.

En términos de mantenimiento vial, los pavimentos flexibles y permeables muestran un desempeño superior en comparación con los pavimentos tradicionales. La capacidad de estos materiales para absorber y dispersar el agua reduce el deterioro causado por ciclos de congelación y deshielo, así como por la acumulación de agua en la superficie. Además, su flexibilidad les permite adaptarse mejor a las deformaciones del terreno, disminuyendo la aparición de grietas y baches.

Según López Valencia (2016), manifiestan que el pavimento flexible diseñado según el método AASHTO de 1993 muestra tendencias hacia la insuficiencia a lo largo de su ciclo de vida, frecuentemente requiriendo reconstrucción al alcanzar el término de su vida útil, lo que conlleva a una considerable pérdida de la inversión inicial. Además, su diseño para soportar volúmenes de tráfico medios y altos puede resultar en estructuras sobredimensionadas. La evaluación de la durabilidad y comportamiento de estos pavimentos flexibles se realiza mediante indicadores como fallas visibles, capacidad estructural, fricción superficial y rugosidad.

Según Alvaro et al. (2020) la normatividad de calidad y la competencia han obligado a las empresas a transformar sus departamentos de mantenimiento. Este cambio ha hecho que los departamentos de mantenimiento pasen de simplemente reparar máquinas hasta convertirse en una unidad de alto valor en el proceso productivo de las empresas. Esta investigación es importante ya que permitirá la implementación de nuevas metodologías para la optimización del mantenimiento de los equipos línea amarilla en la empresa RENTEQ MAQUINARIAS SAC, la cual va a permitir solucionar los problemas que se presenten durante la gestión del mantenimiento de forma más rápida. El mantenimiento basado en la metodología TPM, va a permitir incrementar la productividad, logrando que esta sea más eficiente y por lo tanto el incremento del rendimiento de las máquinas. Esta investigación comenzará realizando una auditoría de mantenimiento en los equipos de línea amarilla, para luego determinar las alternativas de solución basado en la metodología TPM, diagrama de Pareto y metodología causa-efecto (Ishikawa, indica que el uso de pavimento permeable presenta beneficios significativos en la gestión del mantenimiento vial al mitigar la acumulación de agua en las vías, lo cual reduce el desgaste tanto del pavimento como de las capas subyacentes. Esto se traduce en una disminución en la necesidad de mantenimientos prematuros y en una prolongación de la vida útil del pavimento.

Además, facilita la recolección de agua mediante infiltración, lo cual evita gastos adicionales asociados con la obtención de agua de otras fuentes y con el manejo de excesos de agua que no se drena naturalmente.

La comparación de diferentes tipos de pavimentos permeables, como el asfalto poroso, el concreto permeable y los adoquines intertrabados, revela variaciones en su eficacia y costos de implementación. El asfalto poroso, por ejemplo, ofrece una alta capacidad de infiltración, pero puede requerir un mantenimiento más frecuente. El concreto permeable presenta una durabilidad mayor, aunque su instalación inicial es más costosa. Los adoquines

intertrabados combinan beneficios de ambos tipos, ofreciendo flexibilidad y capacidad de infiltración moderada.

Según Artica & De La Cruz (2023), indican que el pavimento permeable presenta el mayor costo de construcción, mientras que el pavimento flexible tiene el menor costo. Esto se refleja en el costo general a lo largo del tiempo de vida del pavimento.

De acuerdo con MTOP (2013), el coste por kilómetro de carretera depende del tipo de terreno, es decir, si es llano, ondulado o escarpado y se promedia que va desde 0.5 millones hasta los 10.00 millones de dólares americanos, por otro lado Artica & De La Cruz, (2023), indican que el costo unitario del pavimento permeable de 10 cm de espesor para vialidad de tráfico ligero, incluyendo excavación de pozo de absorción y subbase de balastro, es de 51 sol peruano, que viene siendo 14.00\$ americanos aproximadamente por metro cuadrado.

De acuerdo con el mismo estudio presentado por Artica & De La Cruz, (2023), indican que de acuerdo con la norma AASHTO 93, el pavimento flexible tratado con cemento alcanza una resistencia a la compresión de 35 kg/cm² (3.43 MPa) a los 7 días. Mientras que el pavimento permeable según la Norma Astm-C593-95 (2000), a mayor porcentaje de vacíos, se reduce la resistencia a la compresión. No obstante, se deduce que el concreto permeable también permite obtener una resistencia a la compresión relativamente alta, la cual data como mínimo de 400 Psi o de 2.8 MPa.

La capacidad de infiltración que tiene el pavimento flexible según Contreras Dante (2020), indica que la tasa de infiltración promedio en pavimentos flexibles agrietados es de 26.66 l/h/m²; en superficies sin agrietamientos, la tasa de infiltración promedio es aproximadamente una sexta parte de este valor, con una magnitud media de 4.81 l/h/m². Por otro lado la capacidad de infiltración que tiene el pavimento permeable según Laura Jesús & Quispe Milton (2019), indican que “la capacidad de infiltración que varía de acuerdo al tamaño del agregado y a la densidad de la mezcla, gradualmente varía entre los 1.33 a 12.16 L/h/m²” (pág. 23).

De acuerdo con el mismo estudio presentado por Artica & De La Cruz (2023), indican que Según la norma AASHTO 93, el pavimento flexible tiene una vida útil promedio de entre 10 y 15 años. Por otro lado, de acuerdo con estudios realizados basados en la Norma ACI 522, se ha determinado que el pavimento permeable tiene una vida útil promedio de 20 años.

Conclusión

De esta forma se concluye que los pavimentos permeables y flexibles pueden reducir significativamente la escorrentía superficial, aliviando la carga sobre los sistemas de drenaje urbano y disminuyendo la incidencia de inundaciones. Estudios de caso en diversas ciudades y países demuestran que su implementación mejora la gestión de aguas pluviales y mitiga los efectos de tormentas intensas. Además, estos pavimentos presentan un mejor desempeño en mantenimiento vial, absorbiendo y dispersando el agua, lo que reduce el deterioro causado por ciclos de congelación y deshielo, y disminuye la aparición de grietas y baches. Los pavimentos flexibles y permeables son efectivos para gestionar aguas pluviales y prolongar la vida útil de las infraestructuras viales en áreas urbanas propensas a inundaciones.

Referencias Bibliográficas

- Alvaro, F. J., Choques Machero, M. Jesus, Mateo Camargo, B. A., & Torres La Torre, K. B. (2020). "Propuesta de diseño de un pavimento permeable como un sistema innovador ecológico de drenaje en la ciudad de Huaraz-Huaraz- Ancash-2020." In Universidad Andina del Cusco. <https://bit.ly/3Si54Rs>
- Artica, D., & De La Cruz, J. (2023). Comparación del pavimento permeable con los pavimentos rígidos y flexibles para la mejora del drenaje en el estacionamiento del aeropuerto de Jauja. <https://doi.org/https://acortar.link/WvFRbi>
- Astm-C593-95. (2000). "Standard specification for fly ash and other pozzolans for use with lime." American Society for Testing and Materials, 06(Reapproved 2011), 1–5. <https://bit.ly/3LzIIXR>
- Baldodano, W. (2017). Modelo de gestión de conservación vial basado en criterios de sostenibilidad para reducir los costos de mantenimiento vial en la carretera desvío Salaverry - Santa. In Universitas Nusantara PGRI Kediri (Vol. 01). <https://doi.org/https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/3731>
- Cabello, S., Zapata, P., Pardo, A., Romo, A., Campuzano, L., Espinoza, J., & Sánchez, C. (2015). Concreto poroso: Constitución, variables influyentes y protocolos para su caracterización. Memoria de Artículos del Primer Congreso de Ciencia y Tecnología UTMACH 2015, 1(I Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología UTMACH 2015), 115–128. <https://bit.ly/3SaZFeO>
- Cárdenas Gutiérrez, E., Albiter Rodríguez, Á., & Jaimes Jaramillo, J. (2017). Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de

- vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua. *CIENCIA Ergo Sum*, 24(2), 173–180. <https://doi.org/10.30878/ces.v24n2a9>
- Contreras Dante. (2020). Cuantificación de la infiltración superficial en pavimentos flexibles mediante pruebas in-situ [Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/3156
- Hernández, B., & Martínez, O. (2014). Diseño de un campo de prueba piloto de pavimentos permeables en la ciudad de Cartagena. In Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería. <https://bit.ly/4d09rs0>
- Laura Jesús, & Quispe Milton. (2019). Diseño y aplicación de concreto permeable para pavimentos de bajo volumen de tránsito en la ciudad de Tacna. In Artículo de Financial Distress. <http://www.upt.edu.pe/upt/web/home/contenido/100000000/65519409>
- López Valencia, J. (2016). El diseño de pavimentos flexibles, su comportamiento estructural, e incidencia en el deterioro temprano de la red vial en la Provincia de Tungurahua [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/22518>
- Martínez, Lilibet; Aenlle, A. (2017). Catalogo de deterioros de pavimentos flexibles en aeropuertos para Cuba. 11(2), 1–11. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6451122>
- Molina-Prieto, L. F. (2016). Resiliencia a inundaciones: nuevo paradigma para el diseño urbano. *Revista de Arquitectura*, VI, 82–94. <https://doi.org/10.14718/revarq.2016.18.2.8>
- MTOP. (2013). Manual de evaluación económica de proyectos de infraestructura del transporte. <https://bit.ly/4c4MrHO>
- Solórzano, A., & Quiroz, S. (2021). Estrategia de la gestión de cuencas hidrográficas para la mitigación de inundaciones en la ciudad de Chone, Provincia de Manabí. *Polo del Conocimiento*, 56(3), 637–658. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2393>
- Vera María, B. C. (2023). Estrategias de prevención y reducción de daños ante las inundaciones en centros poblados: estudio de caso Ciudad de Dios [Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo]. <https://acortar.link/b5hUPe>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 15

Revisión de propuestas de planes
integrales de movilidad: análisis y
tendencias actuales en la literatura

AUTORES: Leandro Arsenio Soledispa Gómez; Víctor Alejandro Lino Calle; Daniel David Carvajal Rivadeneira; Hugo Javier Córdova Morán



SABEREC 5.0

Revisión de propuestas de planes integrales de movilidad: análisis y tendencias actuales en la literatura

Review of comprehensive mobility plan proposals: analysis and current trends in the literature

Resumen

En la actualidad, gestionar eficazmente políticas integradas y sostenibles de movilidad en un contexto de crecimiento urbano acelerado es necesario. Este estudio se centra en la revisión de propuestas de planes integrales de movilidad, con el objetivo de analizar las tendencias contemporáneas en la literatura académica sobre el diseño y la implementación de estos planes, priorizando soluciones que fomenten un cambio en aspectos de gestión, regulación e institucionalidad. La metodología empleada se basa en una revisión sistemática de estudios publicados durante los últimos cinco años, seleccionados por su relevancia y rigurosidad científica. Entre los resultados más destacados se identifican estrategias emergentes como el diseño inclusivo, la integración de tecnologías de información y comunicación (TIC) para la gestión del tráfico, y la planificación participativa como fundamentales para la aceptación social y la eficacia de estos planes. En conclusión, se subraya la importancia de adaptar los planes de movilidad a las realidades locales, integrando múltiples perspectivas y priorizando la sostenibilidad para asegurar ciudades más habitables, así como resilientes frente a los desafíos urbanos futuros.

Palabras clave: movilidad urbana sostenible, diseño inclusivo, tecnologías de información y comunicación, planificación participativa, seguridad vial, sostenibilidad urbana.

Abstract

Currently, the need to effectively manage sustainable urban mobility in a context of accelerated urban growth is imperative. This study focuses on the review of proposals for comprehensive mobility plans, with the objective of analyzing contemporary trends in the academic literature on the design and implementation of these plans, prioritizing solutions that promote accessibility, road safety, and emissions reduction. The methodology employed is based on a systematic review of studies published between 2018 and 2024, selected for their relevance and methodological rigor. Among the most salient findings, emerging strategies such as inclusive design, integration of information and communication technologies (ICT) for traffic management, and participatory planning are identified as key to the social acceptance and effectiveness of these plans. In conclusion, the importance of adapting mobility plans to local

realities, integrating multiple perspectives and prioritizing sustainability to ensure more livable and resilient cities in the face of future urban challenges is highlighted.

Keywords: sustainable urban mobility, inclusive design, information and communication technologies, participatory planning, road safety, urban sustainability.

Introducción

El crecimiento poblacional descontrolado y la falta de delimitación clara entre jurisdicciones han generado un panorama caótico en diversas ciudades. La ausencia de políticas efectivas sobre el uso del espacio, el transporte, la accesibilidad, la conectividad y la planificación urbana ha agravado los problemas de movilidad, particularmente en las zonas periféricas. Este desorden urbano subraya la necesidad urgente de una gestión integral, planificada que pueda abordar los desafíos crecientes en la movilidad y el desarrollo sostenible de las ciudades (Nanni & Marzonetto, 2023).

Los planes integrales de movilidad (PIM) surgen como herramientas clave para planificar y organizar el tránsito, mejorar la infraestructura y promover medios de transporte alternativos. Sin embargo, la implementación de estos planes varía considerablemente entre regiones y niveles de desarrollo, lo que plantea interrogantes sobre su efectividad y adaptación a las realidades locales.

A nivel internacional, los recientes acuerdos globales han impulsado a gobiernos locales y redes iberoamericanas, como CIDEU, UCCI y UCLG, a comprometerse con un modelo de desarrollo urbano sostenible y equitativo. Estos actores ven en la Agenda 2030 una oportunidad para transformar sus enfoques hacia una integración más profunda de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los principios de la Nueva Agenda Urbana (NAU). La NAU y los ODS proporcionan un marco común para el desarrollo urbano, movilizan recursos financieros y orientando las políticas hacia un crecimiento más sostenible. En este contexto, las ciudades enfrentan desafíos significativos y deben integrar dimensiones sociales, económicas, medioambientales, culturales y de gobernanza en sus estrategias de desarrollo (Martino, 2018).

En América Latina y el Caribe, el camino hacia un sistema de movilidad más sostenible y equitativo requiere una atención especial a las condiciones actuales de la movilidad urbana en la región. Esto implica analizar el uso de todos los modos de transporte, tanto activos como motorizados, individuales y colectivos, así como examinar las características del consumo de la movilidad

(en términos de tiempo, espacio, energía y dinero) y sus impactos negativos, como la exclusión social, los accidentes, la contaminación y la congestión. Además, es fundamental considerar los factores políticos, organizacionales y económicos que influyen, directa o indirectamente, en las políticas públicas relacionadas con la movilidad (Vasconcellos, 2019).

En Ecuador, los sistemas de movilidad son importantes para el desarrollo social al acercar a las personas a bienes y servicios, pero el modelo actual enfrenta problemas ambientales, económicos y sociales. La movilidad urbana sostenible surge como una solución a estos retos, buscando reducir la contaminación, mejorar la accesibilidad y minimizar los costos asociados al transporte. La Política Nacional de Movilidad Urbana Sostenible del Ecuador (PNMUS) pretende guiar a los Gobiernos Autónomos Descentralizados para lograr una movilidad más eficiente y ecológica, apoyando la reducción de emisiones y el consumo energético. Este enfoque busca mejorar la calidad de vida y la sostenibilidad en las ciudades (Ministerio de transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2023).

En la Ciudad de Guayaquil, se está llevando a cabo la actualización del Plan Integral de Movilidad Urbana Sostenible (PIMUS). Este proyecto tiene como finalidad integrar y mejorar todos los componentes de la movilidad urbana, promoviendo el uso de transporte público y modos no motorizados, así como la inclusión de la perspectiva de género. Las acciones incluyen conteos de tráfico, encuestas de movilidad y un plan de acción que busca fomentar un entorno urbano más accesible y saludable (Unidad de Organización y Métodos, 2022).

La justificación de este estudio radica en la necesidad urgente de consolidar y analizar el conocimiento existente sobre la planificación y gestión de la movilidad urbana, en respuesta a los desafíos crecientes derivados del rápido crecimiento urbano y la expansión metropolitana. La información actual sobre sistemas de movilidad a menudo está fragmentada, lo que dificulta la implementación de soluciones coherentes. Consolidar este conocimiento permitirá abordar problemas como la congestión vehicular, la contaminación y la falta de infraestructura, y contribuirá a desarrollar estrategias innovadoras y efectivas. Este análisis integral es esencial para mejorar la eficiencia del transporte, la accesibilidad, y la sostenibilidad ambiental en las ciudades.

Esta revisión tiene como objetivo identificar las mejores prácticas y enfoques innovadores que puedan ser adaptados y aplicados localmente, particularmente en Jipijapa. Al consolidar y evaluar el conocimiento existente, esta

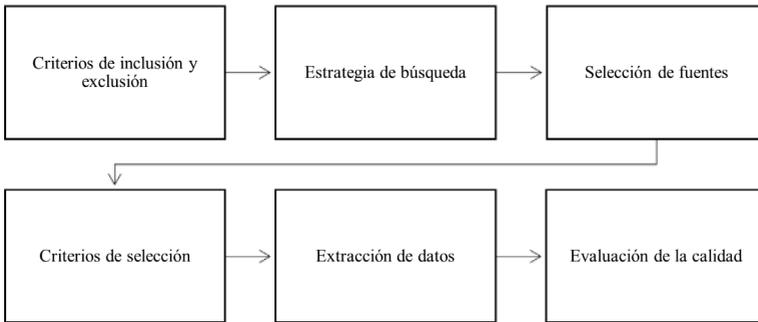
investigación facilitará el desarrollo de estrategias informadas y contextualizadas, contribuyendo a una movilidad más eficiente, sostenible y equitativa en la ciudad.

Materiales y Métodos

La recolección de artículos, tesis y otros documentos relevantes para la revisión sistemática se llevó a cabo a través de un proceso cuidadosamente estructurado, como se muestra a continuación:

Figura 62.

Revisión sistemática.



Fuente: Adaptado del estudio rol de la Ingeniería en el desarrollo sostenible: tendencias y desafíos por Zavala et al. (2024)

La Figura 62. Muestra cómo se establecieron los criterios específicos de inclusión y exclusión para garantizar la selección de documentos pertinentes, centrados en publicaciones recientes, revisadas por pares y con relevancia directa para las preguntas de investigación sobre planes integrales de movilidad (PIM). La búsqueda se realizó utilizando una estrategia con términos clave como “diseño de planes integrales de movilidad”, “movilidad sostenible” y “tecnologías de transporte”. Esta estrategia se aplicó en diversas bases de datos académicas reconocidas, incluyendo Dialnet, Scopus, y Google Académico, así como en repositorios universitarios y otras fuentes pertinentes.

Los documentos encontrados fueron revisados inicialmente a través de sus resúmenes y títulos. Aquellos que cumplieron con los criterios establecidos fueron seleccionados para una revisión más detallada. En esta fase, se extrajeron datos clave de cada documento, incluyendo autores, año de publicación, objetivos, metodología, resultados y conclusiones. Finalmente, se evaluó la calidad metodológica de los estudios seleccionados, considerando aspectos como el diseño del estudio y la validez de los resultados.

Figura 63.

Selección de artículos.



En la revisión sistemática llevada a cabo, se encontraron inicialmente un total de 60 documentos relevantes para el estudio. Estos documentos incluían una variedad de artículos, tesis y otros materiales relacionados con el diseño de planes integrales de movilidad (PIM). De los 60 documentos inicialmente encontrados, 32 fueron identificados como relevantes tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión. Estos criterios incluían la actualidad de la publicación, la calidad del documento (artículos revisados por pares, tesis e informes de políticas), y su pertinencia con respecto a las preguntas de investigación.

De los 32 documentos relevantes, 16 fueron seleccionados para una revisión detallada. Estos documentos cumplieron con los requisitos establecidos y aportaron información crucial para el análisis de tendencias, desafíos y estrategias en el ámbito de los PIM. Por otro lado, 44 documentos fueron excluidos durante el proceso. La exclusión se debió a que no cumplían con los criterios de selección o no eran lo suficientemente pertinentes para el enfoque de la revisión. Finalmente, los 16 documentos que pasaron la revisión detallada fueron evaluados en términos de calidad metodológica. Esta evaluación permitió asegurar que la información extraída fuera válida y relevante para el análisis del tema en cuestión.

Resultados

A continuación, se presenta un Análisis Textual Discursivo (ATD) sobre las tendencias globales en el diseño de planes integrales de movilidad (PIM), abordando los principales enfoques y desafíos actuales en este campo. El análisis se basa en una revisión exhaustiva de la literatura reciente y las tendencias emergentes que influyen en la movilidad urbana. Se exploran tres áreas clave: las tendencias globales, los desafíos y barreras en la implementación de PIM, y las estrategias efectivas para la gestión de la movilidad. Estas se abordan con el objetivo de proporcionar una visión integral de cómo los planes de movilidad se están transformando para ser más sostenibles, inclusivos y eficientes, y de qué manera se pueden superar los obstáculos para mejorar la calidad del transporte urbano.

Tendencias globales en el diseño de planes integrales de movilidad

Las tendencias globales en el diseño de planes integrales de movilidad (PIM) están marcadas por un enfoque hacia la sostenibilidad, la tecnología y la inclusión social. La movilidad sostenible se centra en satisfacer las necesidades de transporte sin comprometer el bienestar de las generaciones futuras. Esto implica la promoción de modos de transporte no motorizados, como caminar y andar en bicicleta, así como el uso eficiente del transporte público. Implementar políticas que fomenten la movilidad activa y reduzcan la dependencia del automóvil es esencial para mejorar la calidad de vida en las ciudades (Ministerio de Transportes y movilidad sostenible, 2022).

El avance de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) está revolucionando el sector de la movilidad. Las aplicaciones móviles que integran diferentes modos de transporte, como el carsharing y el bikesharing, permiten a los usuarios planificar sus viajes de manera más eficiente. Además, la movilidad inteligente utiliza tecnologías como la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas (IoT) para optimizar el tráfico y mejorar la gestión de los servicios de transporte, facilitando una experiencia más fluida y conectada (De la Serna, 2020; González, 2019).

Cada vez más, las regulaciones están obligando a las empresas y municipios a desarrollar planes de movilidad sostenible. En España, por ejemplo, se exige a empresas con más de 500 empleados que implementen estrategias de movilidad sostenible. Estas estrategias incluyen promover el uso de transporte colectivo y flexible, así como calcular la huella de carbono de sus operaciones, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental del transporte (Ministerio de Transportes y movilidad sostenible, 2022).

Es fundamental que los planes de movilidad consideren a todos los sectores de la población, garantizando que las opciones de transporte sean accesibles y asequibles (Valenzuela Gómez, 2021). Esto es especialmente importante para grupos minoritarios y personas con movilidad reducida, quienes requieren medidas especiales para asegurar su derecho a la movilidad. Un enfoque en la movilidad inclusiva busca eliminar barreras y promover la igualdad de oportunidades para todos los ciudadanos. De acuerdo con Ruíz (2023), la creación de “espacios de datos” es una tendencia emergente que busca integrar datos de diferentes fuentes para mejorar la planificación y gestión de la movilidad. Este enfoque permite un tratamiento más eficiente de la información y fomenta la colaboración entre los sectores público y privado, facilitando una toma de decisiones más informada y efectiva en el diseño y la implementación de planes integrales de movilidad.

Desafíos y barreras en la implementación de PIM

La reglamentación de los servicios de transporte público a menudo se divide entre varios niveles gubernamentales, lo que complica la coordinación necesaria para garantizar eficiencia y calidad. Para Angulo (2023), es importante establecer una autoridad central que se encargue de medir y controlar indicadores clave a nivel metropolitano, asegurando una integración efectiva de políticas y procedimientos para optimizar el uso de recursos y mantener estándares de calidad consistentes en toda la región.

Uno de los desafíos en la planificación del transporte público es asegurar un acceso equitativo para todos los ciudadanos, especialmente para aquellos con bajos ingresos que a menudo enfrentan barreras económicas. Los planes de transporte deben diseñarse para ser inclusivos y universales, garantizando que personas de todos los estratos socioeconómicos puedan acceder a una movilidad adecuada. Esto implica implementar tarifas subsidiadas, mejorar la cobertura del servicio en áreas desfavorecidas y desarrollar estrategias que promuevan la igualdad de oportunidades (Jehanno et al., 2018).

La calidad del transporte público es fundamental para la experiencia del usuario y tiene un impacto directo en la eficiencia del sistema. Las deficiencias en este aspecto suelen resultar en tiempos de viaje más largos, mayores costos operativos y problemas de seguridad vial, afectando especialmente a los usuarios vulnerables como los peatones. Para mejorar la calidad, es necesario establecer estándares rigurosos y enfocarse en reducir los costos operativos sin comprometer el servicio, mediante la modernización de la in-

fraestructura, la capacitación del personal y la adopción de tecnologías que optimicen el rendimiento del transporte (Muñoz & Anguita, 2019; Saka et al., 2021).

El transporte público también es una fuente significativa de emisiones contaminantes, que afectan la salud pública y contribuyen al cambio climático. Los planes de infraestructura deben incluir evaluaciones ambientales obligatorias para identificar y mitigar los impactos negativos, y es esencial promover acciones de sensibilización ciudadana para educar sobre los efectos ambientales del transporte. Adoptar tecnologías más limpias y fomentar modos de transporte ecológicos son pasos clave para reducir la huella de carbono y mejorar la calidad del aire (González et al., 2022).

Estrategias efectivas para la gestión de la movilidad

Para abordar de manera efectiva los desafíos de movilidad en las ciudades, es esencial implementar una serie de estrategias integradas que promuevan un transporte más sostenible y eficiente. Al fomentar el uso del transporte público se incentiva a reducir la congestión vehicular, también favorece una movilidad más amigable con el medio ambiente. La disminución del número de vehículos en las calles aligera el tráfico y minimiza la contaminación (Moireira-Villavicencio, 2022).

Otra estrategia efectiva es incentivar el uso de la bicicleta. La promoción de este medio de transporte, apoyada por la creación de ciclovías seguras y sistemas de alquiler, resulta ideal para trayectos cortos y medianos. Además de reducir la dependencia del automóvil, el uso de la bicicleta mejora la calidad del aire y fomenta un estilo de vida activo (Gonzales, 2021).

La implementación de tecnología avanzada también juega un papel fundamental. La adopción de sistemas de transporte inteligente que proporcionen información en tiempo real sobre el tráfico puede transformar significativamente la gestión del transporte. Esto permite a los usuarios tomar decisiones más informadas sobre sus rutas, optimizando así los tiempos de viaje y reduciendo el congestionamiento. La colaboración entre diferentes actores es esencial para una gestión efectiva del transporte urbano. Gobiernos, empresas de transporte y ciudadanos deben trabajar juntos para abordar los desafíos de manera coordinada. Establecer alianzas y coordinar esfuerzos asegura que las soluciones sean inclusivas y efectivas, adaptándose a las necesidades de la comunidad (Franco & Estupiñan, 2023; Rodríguez et al., 2022).

Además, las campañas de sensibilización son esenciales para fomentar la movilidad sostenible. Informar a la población sobre los beneficios de

alternativas al automóvil puede cambiar comportamientos y aumentar el uso de opciones de transporte más ecológicas. Estas campañas pueden incluir talleres, seminarios y eventos comunitarios que eduquen y motiven a los ciudadanos. Finalmente, el desarrollo de planes de movilidad específicos para cada localidad es fundamental. Estos planes deben integrar diversas medidas y enfoques, adaptándose a las necesidades de los diferentes grupos de usuarios y promoviendo un enfoque multimodal en la gestión del transporte. La planificación detallada y la implementación de estas estrategias garantizarán un sistema de transporte más eficiente y sostenible (Bedoya et al., 2020; Cavagliato et al., 2021).

Conclusiones

Se concluye que la revisión de la literatura ha sido instrumental para identificar y consolidar las mejores prácticas y enfoques innovadores en la gestión y diseño de planes integrales de movilidad. Esta investigación ha mostrado que el uso de tecnologías inteligentes, como sistemas de gestión del tráfico basados en datos en tiempo real, es evidente para mejorar la eficiencia del tránsito y reducir la congestión. Asimismo, la promoción de la movilidad activa, mediante la creación de infraestructuras adecuadas para el ciclismo y el caminar, contribuye significativamente a la sostenibilidad y salud urbana. La participación ciudadana emerge como una estrategia clave para garantizar que los planes de movilidad respondan a las necesidades reales de los usuarios y para fomentar un sentido de pertenencia y compromiso con las iniciativas de transporte. Al consolidar y evaluar el conocimiento existente, esta revisión facilita el desarrollo de estrategias más informadas y contextualizadas, adaptadas a las necesidades específicas de cada entorno. La aplicación de estas estrategias permite abordar de manera efectiva los desafíos locales de movilidad, promoviendo un sistema de transporte más eficiente, inclusivo y respetuoso con el medio ambiente. Por lo tanto, la implementación de las mejores prácticas identificadas en esta investigación contribuirá a una movilidad urbana más equitativa y sostenible, beneficiando a las comunidades mediante la mejora de la calidad del aire, la reducción de la huella de carbono y el incremento del acceso a opciones de transporte seguras y accesibles.

Referencias Bibliográficas

- Angulo, A. (2023). *Propuesta de un modelo de indicadores para medir el desempeño en empresas del sector metalmeccánico del área metropolitana del Valle de Aburrá* [Instituto Tecnológico Metropolitano]. <https://acortar.link/Q4NHp6>
- Bedoya, H. U., Valencia-Arias, A., & Yovera, S. R. (2020). Trends and research evolution on sustainable mobility: A bibliometric approach. *Produccion y Limpia*, *14*(2), 42–60. <https://doi.org/10.22507/PML.V14N2A5>
- Cavagliato, L., Arnaudo, S., & Yáez, J. (2021). Aportes a la movilidad sostenible desde la gestión universitaria. *X Congreso De Administración de Ciencias de La República*, 2–23. <https://www.academica.org/xcongresodeadministraciondelcentrodela-republica/35.pdf>
- De la Serna, Í. (2020). La nueva modalidad: de la smart city a la industria 4.0. *Hacia Una Nueva Movilidad En Las Ciudades*. <https://multimedia2.coev.com/pdfs/economistas169.pdf#page=63>
- Franco, J. A., & Estupiñan, E. (2023). Movilidad Y Transporte Inteligente: Una Revisión De Aplicaciones Y Tecnologías Emergentes En El Contexto De Una Ciudad Inteligente. *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de La Información*, *10*(20), 79–88. <https://doi.org/10.21017/rimci.2023.v10.n20.a142>
- González, S. N., De Lira, C. E., Villarreal, R. V., & Canseco, J. I. (2022). Environmental pollution and allergy. *Revista Alergia Mexico*, *69*, S24–S30. <https://doi.org/10.29262/ram.v69iSupl1.1010>
- Gonzales, A. (2021). *El ciclo turismo como alternativa turística sostenible en el Distrito de Miraflores, 2020* [Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://acortar.link/e8lccc>
- González, R. (2019). *Retos para una movilidad sostenible*. ULL OPINA. <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/16205>
- Jehanno, A., Niang, H., Ortiz, J., Ladorde, P., & Lopez, P. (2018). Desafíos para la integración de sistemas de transporte masivo: Manual de Buenas Prácticas. *Systra, Artelia*, 1–86. [http://www.scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1403/2 Desafios para la integracion de sistemas de transporte masivo-28feb.pdf?sequence=5&isAllowed=y](http://www.scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1403/2%20Desafios%20para%20la%20integracion%20de%20sistemas%20de%20transporte%20masivo-28feb.pdf?sequence=5&isAllowed=y)

- Martino, H. (2018). Hacia un modelo de desarrollo urbano territorial sostenible e integrado. *Planificación Urbana*, 1–35. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/72168>
- Ministerio de transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2023). *Política Nacional de Movilidad Urbana Sostenible del Ecuador 2023 - 2030*.
- Ministerio de Transportes y movilidad sostenible. (2022). Movilidad urbana y metropolitana. *Gobierno de España*. https://otle.transportes.gob.es/monografico/movilidad_ciudades_sxxi/1introduccion
- Moreira-Villavicencio, L. (2022). Infraestructura y dotación de servicio del transporte público urbano de la ciudad de Portoviejo. *Revista de Arquitectura*, 24(2), 10–16. <https://doi.org/10.14718/revarq.2022.24.3950>
- Muñoz, J. P., & Anguita, F. (2019). La tarificación vial en el marco de las políticas de transporte urbano. Un estudio empírico sobre su aceptabilidad social y eficacia en la ciudad de Madrid. *Gestión y Política Pública*, 28(1), 175. <https://doi.org/10.29265/gypp.v28i1.545>
- Nanni, M., & Marzonetto, G. (2023). *La movilidad como problema multidimensional. Diagnóstico de situación y alternativas de abordaje en las ciudades de Yerba Buena y San Miguel de Tucumán* [Universidad Nacional de San Martín]. https://ri.unsam.edu.ar/bitstream/123456789/2495/1/TMAG_EPYG_2023_NMF.pdf
- Rodríguez, P., Bermeo, M., Vélez, O., & Arias, F. (2022). Factores determinantes para conocer el nivel de adopción de la población joven sobre sistemas de navegación para carros. *Revista Virtual Universidad Católica Del Norte*, 66, 130–160. <https://doi.org/10.35575/rvucn.n66a6>
- Ruiz, G. M. (2023). *Antecedentes, situación actual y futuro del Big Data en el sector turístico de España* [Universidad de Málaga]. <https://acortar.link/5Q3Yv5>
- Saka, F., Tamblay, S., & Gschwender, A. (2021). Electromovilidad En El Transporte Público: La Experiencia De Santiago De Chile. *Revista Estudios De Transporte*, 22, 1–15.
- Unidad de Organización y Métodos. (2022). *Plan Integral de movilidad urbana sostenible del Cantón Guayaquil*.
- Valenzuela Gómez, H. (2021). Alcances sobre el derecho a la movilidad sostenible en el Perú. *Derecho Público Económico*, 1(1), 175–193. <https://doi.org/10.18259/dpe.2021011>

- Vasconcellos, E. (2019). Contribuciones a un gran impulso ambiental para América Latina y el Caribe. In *Cepal*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/f68e06e1-a627-4112-a64d-fc4f49be4d95/content>
- Zavala, C., Lino, V., Cordero, M., & Sornoza, D. (2024). El rol de la Ingeniería Civil en el desarrollo sostenible: Tendencias y desafíos. *Revista Alcance*, 7(1), 1–13. <https://doi.org/10.47230/ra.v7i1.57>

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Unidad 5

Funcionalidad y construcción de una
planta de tratamiento de aguas
residuales (PTAR)

AUTOR: Carlos Molina Valencia



SABEREC 5.0

Funcionalidad y construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Functionality and construction of a wastewater treatment plant (WWTP)

Resumen

La gestión efectiva de los recursos hídricos es un elemento indispensable en el desarrollo sostenible y la protección ambiental. Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) desempeñan un papel vital al asegurar el tratamiento adecuado de aguas residuales antes de su liberación o reutilización, minimizando así los impactos negativos que puedan darse en el medio ambiente y en la salud humana. El objetivo de este estudio es analizar la funcionalidad de las PTAR y describir las fases clave en su proceso de construcción. Se realizó un análisis detallado de la literatura existente sobre documentos técnicos, informes de proyectos, y normativas vigentes relacionadas con el tratamiento de aguas residuales para identificar las mejores prácticas en el diseño y construcción de las PTAR. Se describen las bondades de las principales tecnologías utilizadas en la actualidad y los procesos a seguir en la construcción de las PTAR, destacando su eficacia en la eliminación de contaminantes y la recuperación de recursos como el agua tratada y los lodos. La construcción de las PTAR requiere un enfoque multidisciplinario y cuidadoso que integre diversas disciplinas como la ingeniería civil, hidráulica, química y gestión ambiental para asegurar la eficiencia y sostenibilidad de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

Palabras Clave: PTAR, tratamiento de aguas residuales, sostenibilidad, infraestructura hídrica, gestión ambiental, recursos hídricos.

Abstract

Effective management of water resources is an indispensable element in sustainable development and environmental protection. Wastewater Treatment Plants (WWTP) play a vital role in ensuring the proper treatment of wastewater prior to its release or reuse, thus minimizing negative impacts on the environment and human health. The objective of this study is to analyze the functionality of WWTPs and describe the key phases in their construction process. A detailed analysis of the existing literature on technical documents, project reports, and current regulations related to wastewater treatment was carried out to identify best practices in the design and construction of WWTPs. The benefits of the main technologies currently used and the processes to be followed in the construction of WWTPs are described, highlighting their effectiveness in the elimination of pollutants and the recovery of resources such as treated

water and sludge. The construction of WWTPs requires a multidisciplinary and careful approach that integrates various disciplines such as civil engineering, hydraulics, chemistry and environmental management to ensure the efficiency and sustainability of wastewater treatment facilities.

Keywords: WWTP, wastewater treatment, sustainability, water infrastructure, environmental management, water resources.

Introducción

El crecimiento de la población, la industrialización, las prácticas agrícolas y la urbanización aumentan la demanda de agua y, por lo tanto, la cantidad de aguas residuales generadas. Varios problemas de contaminación y hacia la salud humana son provocados por la descarga directa de aguas residuales sin ningún proceso de tratamiento (Foley & Jeffrey, 2010)the environmental regulations on wastewater treatment plants (WWTP

Por ello es fundamental disponer de plantas de tratamiento de aguas residuales para reducir la contaminación ambiental y preservar los recursos naturales. Este tratamiento debe ser integral, abarcando también el manejo de lodos activados generados en dichas plantas, con el objetivo de disminuir la concentración de coliformes totales y fecales. Además, la implementación de tecnologías avanzadas en el tratamiento de aguas residuales que pueden mejorar la eficiencia de eliminación de contaminantes.

En si las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) son infraestructuras diseñadas con el fin de tratar las aguas servidas aplicando diferentes tecnologías para depurar el líquido cumpliendo estándares de calidad en base a la normativa ambiental vigente y pueda ser reutilizada o a su vez vertida en fuentes hídricas. Incorporar la ciencia y tecnología en la creación e innovación de procedimientos que satisfagan las necesidades humanas es el fin de la ingeniería, por tanto, su enfoque en estos mecanismos de saneamiento es de gran significancia. Normalmente, los tratamientos de las aguas residuales se llevan a cabo en tres etapas básicas. Primero se realiza un pre-tratamiento y/o tratamiento primario en el cual se eliminan los sólidos gruesos de las aguas. Posteriormente el efluente proveniente de la primera etapa pasa al tratamiento secundario, en el que se reduce la cantidad de materia orgánica por la acción de bacterias. Finalmente, de ser necesario, el efluente puede pasar al tratamiento terciario, el cual se usa para eliminar los nutrientes como fosfatos, nitratos, sales, materia orgánica persistente, etc.

Esta investigación tiene el objetivo de analizar la funcionalidad de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y describir las fases clave en el

proceso de construcción, desde el estudio del sitio hasta la implementación de tecnologías de tratamiento que ayudan a optimizar el uso de recursos, incluyendo la recuperación y reutilización de agua tratada y subproductos como lodos, fomentando una gestión sostenible y eficiente de los recursos hídricos. El proceso de construcción de estas instalaciones involucra una planificación meticulosa, que incluye estudios de viabilidad, diseño técnico, selección de tecnologías adecuadas y construcción de la infraestructura necesaria. Además, es esencial considerar aspectos como la integración con la red de alcantarillado existente, la gestión de residuos sólidos generados durante el tratamiento y la minimización de impactos ambientales. Esta introducción ofrece una visión general de los factores clave involucrados en la construcción de plantas de tratamiento de aguas servidas, destacando su importancia en la sostenibilidad y el desarrollo urbano.

Materiales y Métodos

Se empleó una metodología de investigación documental y aplicada para recopilar, analizar y sintetizar información a partir de documentos y fuentes existentes. Este método se basa en la revisión de materiales como libros, artículos académicos, informes, tesis, archivos y otros documentos relevantes. El objetivo principal es obtener datos y conocimientos ya producidos para responder preguntas de investigación, formular hipótesis o desarrollar teorías y recabar información teórica y bibliográfica que describe el tema de estudio y datos concernientes a la planta de tratamiento de aguas residuales.

El uso práctico de este método es en el estudio y análisis de plantas de tratamiento de aguas residuales. Estas instalaciones son esenciales para reducir la contaminación del agua, proteger los recursos naturales y garantizar la salud pública. La investigación documental en este contexto implica revisar normativas, estudios de casos, informes técnicos y publicaciones científicas sobre el diseño, operación y eficacia de las plantas de tratamiento.

El análisis de documentos existentes permite a los investigadores evaluar diferentes tecnologías de construcción y tratamiento, dar a conocer la efectividad de distintas plantas y desarrollar recomendaciones para mejorar su eficiencia. Además, este método ayuda a identificar tendencias y desafíos en la gestión del agua residual, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones.

La búsqueda se realizó en varias bases de datos académicas, incluyendo Web of Science, Scopus, y Google Académico, utilizando una combinación de palabras clave y frases como “ingeniería civil”, “PTAR”, “Construcción de

PTAR” “Tratamiento de aguas residuales” y “Plantas de tratamiento”. Las búsquedas se limitaron a títulos, resúmenes y palabras clave para maximizar la relevancia.”

Resultados

En 2022, 162 (73,3%) GADM cuentan con una o más plantas de tratamientos para las aguas residuales urbanas, mientras que 53 (24,0%) no realizan tratamiento alguno y 6 (2,7%) municipios no cuenta con alcantarillado (INEC, 2021). Un punto importante presentado en detalle en el informe de Cavallini & Egocheaga (2008), es que las aguas residuales tratadas pueden ser un recurso sostenible en vez de un problema de la salud pública y el medio ambiente. Según Rodríguez & García (2015), las PTAR deben estar localizadas en sitios alejados de ecosistemas críticos y de zonas de recreación. De igual forma, deben estar en un área libre de amenaza por deslizamientos, inestabilidad geológica e inundaciones; además debe proveerse de algún tipo de obra de protección en su perímetro (RAS, 2000). La ubicación posible será en el sitio o área donde los vientos regularmente no se desplacen en dirección a la población beneficiada. De manera general, puede ser a más de un kilómetro de distancia de la población (urbanización con viviendas existentes) o puede ser inferior, por ejemplo, a 200 m de distancia mínima a la residencia más próxima a la PTAR, a menos que el estudio de impacto ambiental demuestre la presencia de efectos indeseables para la comunidad cercana (RAS, 2000). La descarga de las aguas residuales tratadas se deberá realizar a un cuerpo de agua receptor de flujo permanente o por infiltración al suelo o terreno (Rodríguez & García, 2015). Las diferentes fuentes bibliográficas, coinciden en clasificar los sistemas de tratamiento de aguas residuales, como el conjunto de procesos y operaciones unitarias que se realizan en una estructura adecuada para que por medios físicos, químicos y biológicos se remuevan contaminantes no deseables (Robert, 2013).

El tratamiento de aguas residuales es un proceso por el cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos queden convertidos en sólidos minerales u orgánicos relativamente estables (Ronces, 2018)

En las plantas de tratamientos el dato del caudal es primordial para evaluar la cantidad de contaminantes impuestas sobre una planta de tratamiento. Ya que es un sistema de aguas residuales en donde se necesita hacer esta medición junto a los puntos de descarga, así como durante el trato del mismo. Si las aguas de desecho a ser tratadas varían en calidad o cantidad con el

tiempo, para obtener un estimado confiable de la carga, es necesario registrar el caudal continuo de carga.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales se encargan de procesar el agua contaminada para eliminar sustancias tóxicas y organismos patógenos, incluyendo coliformes totales y fecales. Esto se logra mediante procesos físicos, químicos y biológicos, como la sedimentación, la filtración, la desinfección y el tratamiento de lodos activados (Zambrano, 2016).

Las aguas residuales son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una población, después de haber sido impurificadas por diversos usos. Se pueden definir según su procedencia, por uso del hombre y la cantidad de sustancias y/o microorganismos, debido a que pueden llegar a representar un peligro y deben ser desechadas (Ronces, 2018).

Dentro de este concepto se incluyen:

- Aguas residuales domésticas o aguas negras: son las que contiene desechos humanos, animales y caseros. También se incluye la infiltración de aguas subterráneas. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes y grasas.
- Aguas blancas: pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden de evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración.
- Aguas residuales industriales: proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal.

Normalmente, los tratamientos de las aguas residuales se llevan a cabo en tres etapas básicas. Primero se realiza un pre-tratamiento y/o tratamiento primario en el cual se eliminan los sólidos gruesos de las aguas. Posteriormente el efluente proveniente de la primera etapa pasa al tratamiento secundario, en el que se reduce la cantidad de materia orgánica por la acción de bacterias. Finalmente, de ser necesario, el efluente puede pasar al tratamiento terciario, el cual se usa para eliminar los nutrientes como fosfatos, nitratos, sales, materia orgánica persistente, etc.(Zambrano, 2016)

En este caso de estudio según Zambrano (2016), es un sistema de tratamiento de lodos activados de tipo zanja de oxidación con una unidad de desinfección por cloración a la salida del efluente, con un digestor para tratar los lodos digeridos del sistema y un equipo deshidratador de lodos para su disposición final.

El sistema de tratamiento de aguas residuales constará de las siguientes etapas:

- Pre-Tratamiento (Rejillas manuales de sólidos gruesos y planta compacta separadora de arenas, grasas y sólidos medianos).
- Tratamiento Secundario x 2 trenes (Reactores Biológicos Primarios y Clarificadores Secundarios).
- Tratamiento Terciario (Desinfección por cloración).
- Digestión de Lodos (Digestor Aeróbico o Reactor Secundario).
- Deshidratador mecánico. (Manejo de Lodos).

Pre-Tratamiento

Su objetivo básico según Chávez (2017), es eliminar todas las materias gruesas y/o visibles que lleva el agua residual. El vertido de estas materias al medio receptor produce un impacto fundamentalmente estético. Si pasan a etapas posteriores de la línea de depuración se generan problemas y un deficiente funcionamiento de los procesos. Se trata de eliminar:

- a. Residuos sólidos o basura que nos podemos encontrar en un colector. Se evitan problemas que este material grueso podría provocar en otros tratamientos posteriores (atascamientos fundamentalmente).
- b. Partículas discretas sedimentables o arenas, perjudiciales para los posteriores procesos de eliminación de contaminación. Las arenas producen abrasión sobre los mecanismos. Sedimentarán en los canales u otros lugares perjudicando el flujo.
- c. Grasas, flotantes y espumas, que pueden en un momento dado acceder a la superficie y adherirse a los objetos. Dificultan la reaeración de la masa de agua, fundamental en los procesos biológicos aerobios.

Tratamiento secundario

Persigue la reducción de sólidos suspendidos. Se reducirá la turbidez y DBO5 debido a que parte de los sólidos suspendidos son materia orgánica.

Se eliminará también algo de contaminación bacteriológica (Coliformes, *Es-treptococos*, etc.). De los sólidos suspendidos se tratarán de eliminar específicamente los sedimentables. Dentro de este proceso unitario se puede incluir la decantación primaria, flotación y los procesos físico-químicos, permitiendo éstos últimos un incremento en la reducción de los sólidos suspendidos y la DBO5.

Tratamiento terciario

Su objetivo básico consiste en reducir la materia orgánica disuelta. El tratamiento básico es biológico. Se trata de eliminar tanto la materia orgánica coloidal como la que está en forma disuelta. Se consigue una coagulación y floculación de la materia coloidal orgánica por medio de biomasa. El proceso se va a basar en el consumo de la materia orgánica por organismos adecuados. En esta etapa se van a conseguir importantes rendimientos en eliminación de DBO5. Entre los procesos de tipo biológico cabe distinguir:

- Fangos activos.
- Lechos bacterianos / filtros biológicos sumergidos.
- Biodiscos.
- Estanques de estabilización.
- Lagunas aireadas.

Después de esta operación, el efluente pasará por una etapa de clarificación para eliminar los flóculos biológicos que se ha producido (fangos en exceso)

Las instalaciones de tipo COMBIPRO permiten efectuar los tratamientos anteriormente mencionados en un único equipo y para caudales de entrada de hasta 150 l/s (540 m³/h) (Zambrano, 2016). Las aguas residuales se introducen desde la tubería a través de la brida de entrada al equipo. Los sólidos que contiene el líquido quedan atrapados en el tamiz y, durante su extracción, una serie de boquillas de gran eficacia y potencia proceden a su lavado para eliminar la mayor parte de las sustancias orgánicas existentes. En la parte superior de la criba se produce la compactación/deshidratación del cribado con la consiguiente y significativa reducción de volumen del mismo antes de su descarga en el contenedor o saco de plástico diseñado a tal efecto. El líquido que atraviesa la criba entra en una tolva donde, optimizada por la introducción de aire, se produce la sedimentación de la arena existente. Un sinfín se encarga de su deshidratación y descarga en el contenedor diseñado a tal efecto.

En la misma tolva, optimizado gracias al sistema de introducción de aire, se produce el proceso de “flotación” de las sustancias grasas existentes, que un apropiado dispositivo se encarga de deshidratar y descargar en el contenedor (Estruagua, 2010).

Los desagües sanitarios o separados llevan las aguas residuales desde las casas y negocios a la planta de tratamiento; otros drenajes combinados llevan el agua de tormenta de los drenajes de aguas pluviales. Reservorio: éstos sirven para el almacenaje de las aguas residuales a largo plazo. El propósito del almacenamiento es para poder descargar los efluentes en el período deseado del año y obtener efluentes de alta calidad. Áreas de Cribas: Permiten el paso del agua, pero no de la basura tales como trapos o palos. La basura es recolectada y luego se dispone de ella. La basura va a una moledora o pulverizadora y es luego desaguada antes de disponerse de ella. Separador de Partículas Sólidas: Es una cámara de sedimentación que es, esencialmente, un tanque grande. Esto disminuye el caudal del agua. Posteriormente, se deja que la arena, las partículas sólidas y otros sólidos pesados se asienten al fondo. Las partículas sólidas son luego arrastradas, secadas y se dispone de ellas, usualmente como relleno.

Sedimentación: Involucra la evacuación de tanta materia sólida remanente como sea posible. El drenaje fluye hacia grandes tanques llamados Tanques de Sedimentación Primaria donde las partículas más pequeñas se asientan en el fondo. Un Lodo Primario o Lodo Crudo es barrido por restregadores eléctricos hacia una tolva y luego es bombeado a la planta de asimilación de lodos. El líquido restante llamado Efluente Primario pasa a un tratamiento secundario o proceso de sedimentación secundario (Troconis & Herbet, 2010)

Etapas de la construcción de la PTAR

Figura 64.

Etapas de construcción de la PTAR.



Las etapas son las siguientes:

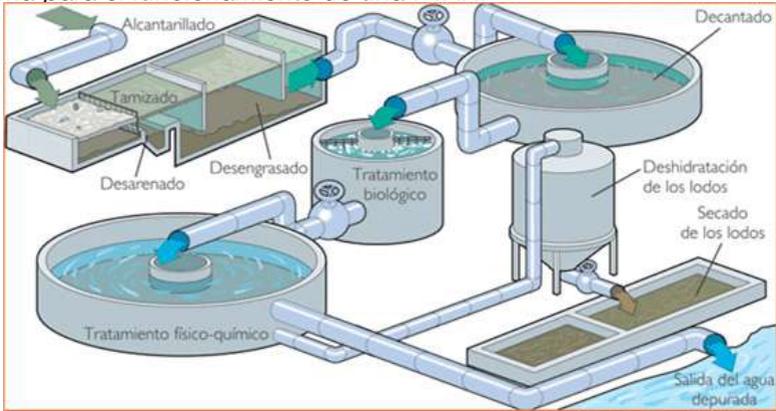
Según Montero & Pereira (2020), las etapas son las siguientes:

1. Reconocimiento del área de influencia directa e indirecta del proyecto: el inicio de esta actividad se realizó con la intervención de personal para la limpieza y desbroce de cobertura vegetal presente en el área de influencia de la construcción de la PTAR, además de la identificación de especies florísticas y faunísticas como levantamiento de información primaria de línea base.
2. Apertura de vías de acceso vehicular y de personal para el área de construcción de la PTAR: se realiza el cambio de uso de suelo mediante la introducción de material pétreo y operación de maquinaria pesada para la construcción de la vía de acceso preliminar a la construcción de la planta de tratamiento.
3. Excavación, colocación y conexión de tuberías diferenciadas para el alcantarillado pluvial y sanitario: se intervienen las vías presentes en el plan de conexión de alcantarillado mediante excavación con maquinaria y equipo caminero para la instalación técnica de tubería, así como también el cierre y reparación de vías afectadas.
4. Desarrollo y construcción de la PTAR: se establecen las áreas destinadas a la construcción de las infraestructuras técnicas de acopio de material para la construcción, aparcamiento y mantenimiento de maquinaria y equipos. Inicio de la construcción de la estructura física de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Culminación y cierre técnico de la obra: se realizan actividades de retiro de escombros y materiales sobrantes de la construcción.

Figura 65.

Diagrama para el funcionamiento de una PTAR.



Fuente: (Mas-industria, 2017).

En el manejo y operación de la planta de tratamiento se debe tener en cuenta es que la planta cuente con el suministro de energía para las bombas y equipos que operan mediante energía eléctrica, así mismo se deberá tener en cuenta la limpieza de los tanques y los tubos que permiten la comunicación entre las etapas de la planta de tratamiento (Paúl de la Cruz, 2020)

Conclusiones

La implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es fundamental para reducir la contaminación ambiental y preservar los recursos naturales. Es crucial que el tratamiento sea integral, abordando también el manejo de lodos activados para disminuir la concentración de coliformes totales y fecales, y utilizando tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia en la eliminación de contaminantes.

El proceso de tratamiento de aguas residuales generalmente se lleva a cabo en tres etapas: pretratamiento o tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario. Estas fases eliminan sólidos gruesos, reducen materia orgánica mediante la acción de bacterias, y eliminan nutrientes y materia orgánica persistente, asegurando que el efluente tratado cumpla con los estándares de calidad ambiental vigentes y pueda ser reutilizado o vertido de manera segura en fuentes hídricas.

El proyecto de construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) abarca varias etapas clave, comenzando con el reconocimiento y limpieza del área de influencia para identificar la flora y fauna local. Se

procede a la apertura de vías de acceso mediante el uso de maquinaria pesada y materiales pétreos, seguido de la excavación y colocación de tuberías diferenciadas para el alcantarillado pluvial y sanitario. La construcción de la PTAR implica la disposición de áreas para el acopio de materiales y la instalación de infraestructuras técnicas, culminando con el retiro de escombros y materiales sobrantes para el cierre técnico de la obra.

Referencias Bibliográficas

- Cavallini, & Egocheaga. (2008). El agua como recurso sustentable y de uso multiple. In Colección Encuentros (2028th ed., Vol. 5). https://dhis.hegoa.ehu.es/uploads/resources/4995/resource_files/El_agua_como_recurso_sustentable_2008_Libro.pdf
- Chávez. (2017). Diseño e implementación de un sistema de trataeminto de aguas residuales. *Dominio de Las Ciencias*, 3(1), 25. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6134928>
- Estruagua. (2010). Planta compacta pretratamiento COMBI PRO. <https://estrugua.com/wp-content/pdf/productos/esp/39-COMBI-PRO-ESP.pdf>
- Foley, & Jeffrey. (2010). Comprehensive life cycle inventories of alternative wastewater treatment systems. *Water Research*, 44(5), 1654–1666. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.11.031>
- INEC. (2021). Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Gestión de Agua Potable y Saneamiento 2022 Resumen Estadístico. In *Ecuador en cifras* (pp. 1–28). <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/gad-municipales/>
- Mas-industria. (28 de abril de 2017). Diseño PTAR. <https://masindustria.com/web/diseno-ptar/>
- Montero, & Pereira. (2020). Evaluación del impacto ambiental de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Caso río Pindo Chico, Puyo, Pastaza, Ecuador. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 3(1), 17. <https://doi.org/10.22206/cac.2020.v3i1.pp23-39>
- Paúl de la Cruz. (2020). Guía de construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en hormigon armado mediante reactores biologicos y clarificadores. [Universidad de las Americas]. In *Universitas Nusantara PGRI Kediri* (Vol. 01). <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/12831>

- RAS. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Saneamiento Basico Agua Potable Y RAS - 2000. Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Basico, 150. http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf
- Robert. (2013). Plan de gestión para lodos generados en las PTAR de los municipios [Pontificia Universidad Javeriana]. In ATZelectronics worldwide (Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s38314-024-1571-z>
- Rodríguez, & García. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Revista Tecnura, 19(46), 16. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a12>
- Ronces. (2018). Evaluación de funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales. In Universidad Autonoma de estado de mexico. [http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/94946/Tesina Mayte Ronces.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/94946/Tesina%20Mayte%20Ronces.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Troconis, & Herbet. (2010). Guía de Aplicaciones Belzona en Equipos de Tratamiento de Aguas Residuales-Tratamiento de Aguas Residuales. Primera Ed, 50. <https://www.belzona.com/es/industries/wastewater.aspx>
- Zambrano. (2016). Memoria Técnica Hidraulica. PTAR (Issue 0, p. 97).

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 16

Análisis comparativo de un sistema
de tratamiento sostenible y unos
tradicional de aguas residuales: una
revisión conceptual

AUTORES: José Eduardo Cornejo López; Gladys Garay Riofrío; Byron Manuel Mendoza
Delgado; Hugo Javier Córdova Morán



SABEREC 5.0

Análisis comparativo de un sistema de tratamiento sostenible y uno tradicional de aguas residuales: una revisión conceptual

Comparative analysis of a sustainable and a traditional wastewater treatment system: a conceptual review

Resumen

El artículo presenta un análisis comparativo entre sistemas tradicionales y sostenibles de tratamiento de aguas residuales, enfocándose en su aplicación para pequeñas y medianas comunidades rurales con poblaciones hasta 5,000 habitantes. El estudio destaca la problemática actual en Gobiernos Autónomos Descentralizados que, aunque logran implementar sistemas de colectores para transporte de aguas servidas, carecen frecuentemente de tratamientos adecuados que mitiguen la contaminación de los cuerpos receptores. Se describen técnicamente diversos sistemas de tratamiento de bajo costo y mantenimiento sencillo: fosas sépticas de una y doble cámara, fosas con filtro anaerobio, reactores anaerobios de flujo ascendente, y complementos como lechos de secado de lodos y zanjas de infiltración. Para cada sistema se presentan criterios de diseño, fórmulas de dimensionamiento, eficiencias de remoción de DBO_5 (desde 20-35% en fosas sépticas simples hasta 85-95% en reactores anaerobios) y consideraciones de implementación según factores como población, área disponible, tipo de suelo y recursos económicos. El estudio concluye que la selección de la tecnología apropiada depende de múltiples variables locales, y destaca el potencial aprovechamiento de lodos tratados como acopladores de terrenos agrícolas.

Palabras clave: Tratamiento de aguas residuales, sistemas sostenibles, reactores anaerobios, eficiencia de tratamiento, comunidades rurales.

Abstract

This paper presents a comparative analysis between traditional and sustainable wastewater treatment systems, focusing on their application for small and medium-sized rural communities with populations up to 5,000 inhabitants. The study highlights the current problems in Decentralized Autonomous Governments which, although able to implement collector systems for wastewater transport, frequently lack adequate treatments to mitigate contamination of receiving bodies. Various low-cost and easy-maintenance treatment systems are technically described: single and double chamber septic tanks, tanks with anaerobic filters, upflow anaerobic reactors, and complementary components such as sludge drying beds and infiltration trenches. For each system, design criteria, sizing formulas, BOD_5 removal efficiencies (from 20-35% in simple

septic tanks to 85-95% in anaerobic reactors) and implementation considerations are presented according to factors such as population, available area, soil type, and economic resources. The study concludes that selecting the appropriate technology depends on multiple local variables, and highlights the potential use of treated sludge as conditioners for agricultural land.

Keywords: Wastewater treatment, sustainable systems, anaerobic reactors, treatment efficiency, rural communities.

Introducción

Uno de los problemas más frecuentes que les toca enfrenar y afrontar a los Gobiernos Locales o Gobiernos Autónomos Descentralizados como se los conoce actualmente, es la falta de servicio y la baja cobertura en lo referente a sistemas de tratamiento de aguas residuales, especialmente en las zonas de pequeños y medianos asentamientos, que se ubican en las áreas rurales o en los cordones periféricos de las grandes urbes.

Si bien el accionar estatal ha logrado cubrir de cierta manera lo pertinente a sistemas hidráulicos de colectores para el transporte del agua servidas, no es menos real el hecho de que, las descargas de las mismas carecen de tratamientos que mitiguen la polución y contaminación que se presenta a nivel de los cuerpos receptores que para infortunio son escogidos para este fin.

No se puede desconocer que las inversiones para lograr la implementación de sistemas de alcantarillado sanitario integral, es decir aquellos que estén constituidos por sistema de tratamientos físicos, primario, secundario, entre otros, es altamente cuantiosa, ya que generalmente representa en costos una asignación que supera en 1.5 a 2 veces más que aquella que se efectúa en sistemas de agua potable, sin embargo, existen tecnologías de bajo costo y de fácil operación y mantenimiento que pueden aplicarse en las zonas referidas, las cuales han sido probadas en unos casos, en otros resistida por los beneficiarios debido a las exigencias de los mismos, por atribuirse el derecho a un acceso superior tecnológico de la obra considerada como básica (Azevedo et al., 2023).

Lo enunciado en el párrafo anterior, obedece a experiencias de implementación con asignaciones realizadas por organismos multilaterales de crédito, cuyas experiencias pilotos han demostrado la baja o nula aceptación de ciertas tecnologías que no obedecen a la idiosincrasia, o hábitos de quienes la reciben, tales como: programas de letrinas, pozos ciegos, entre otros, si se suma a esto el acceso a la información de la cual dispone la sociedad, es indiscutible que los niveles de exigencia en cuanto a servicios de alcantarilla-

do integrales se refiere, van a resultar más rigurosos por parte de ésta misma sociedad.

La situación en torno a depositar las aguas residuales de forma directa en cuerpos receptores, tiene un comportamiento complejo, pues la materia orgánica en descomposición tiene como efecto a más de la producción de gases y malos olores, la sobrecarga de nutrientes en el agua, lo que contribuye al crecimiento de plantas acuáticas. Concomitante con lo expuesto se hace necesario que las instituciones encargadas de dotar el servicio en conjunto con la sociedad civil, deben pensar en complementar los sistemas de alcantarillado sanitario existentes con sistemas de tratamientos, y en aquellos que no dispongan diseñarlos y construirlos de manera integral.

Respecto a las comunidades rurales concentradas sean estas pequeñas o medianas, el enfoque para el transporte y recolección de aguas servidas bien se puede establecer mediante colectores, conocidos como terciarios o condominiales, complementados con sistemas de tratamiento físicos, primarios y secundarios que tengan como resultado a través de la eficiencia que los mismos presten, la reducción de la DBO_5 y la eliminación de los organismos patógenos, y cuyos efluentes no alteren las condiciones actuales ni futuras de los cuerpos receptores que las reciben.

Con base a lo puntualizado, el documento a desarrollar tendrá como motivación presentar alternativas tecnológicas que bien pueden ser aplicadas a poblaciones de medios rurales, de pequeños o medianos asentamientos, que alcancen proyecciones hasta 5.000 habitantes, dejando explícito que la inversión no solo dependerá de la tecnología a aplicar sino de la ubicación geográfica, en donde el factor determinante será la implantación de estaciones de bombeo, o la construcción de varios sistemas de tratamiento focalizados.

El documento se muestra como requisito curricular, y como soporte para los profesionales que inquietan lograr soluciones de bajo costo y de fácil operación y mantenimiento, que tengan como consecuencia posiblemente una reutilización del efluente tratado y del lodo digerido, utilizándolo como acoplador de terreno destinado para actividades agrícolas.

Desarrollo

Problemas asociados en sistemas de tratamiento en pequeñas y medianas comunidades

Los problemas a los que se enfrentan generalmente los gobiernos autónomos descentralizados municipales, o provinciales, respecto a la implemen-

tación de proyectos integrales de sistemas de alcantarillado sanitario, están ligados al cumplimiento de las normativas existentes en cuanto a la calidad del efluente que se descarga o vierte al cuerpo receptor (Ceconet et al., 2022). en ese sentido los planteamientos que se hagan respecto a la tecnología que se aplique a los sistemas de tratamiento tienen que cubrir esta demanda expresa, la cual necesariamente está directamente relacionada a los costos de inversión, operación, mantenimiento, y sobre todo a la baja capacidad de gestión en la consecución de recursos para el financiamiento de la obra.

En la medida que los problemas ambientales se han incrementado en cuanto a polución y contaminación de fuentes se refiere, el costo per-cápita que ayude a cubrir los planes de mitigación que se proyectan para este objetivo es elevado y trasladado a la población, en ese sentido se tiene que pensar en alternativas tecnológicas de tratamiento que demuestren eficiencias de tratabilidad, y que las mismas tengan la perspectiva de cobertura desde lo individual, multifamiliar, hasta los conglomerados concentrados.

Posibilidades de tratamiento de aguas servidas en asentamiento individual o multifamiliar.

Se puede suponer una generalidad el comportamiento de las poblaciones significativamente dispersas, o conceptualmente consideradas como individuales, en el sentido de que, el sistema de evacuación y tratamiento de aguas servidas son realizados en las cercanías o en el entorno de las viviendas, mediante la implementación de reactores de cámara única conocidos como fosas sépticas, en algunos casos complementados con sistemas de infiltración a través de campos de filtración (depende del tipo de suelo) o pozos de absorción.

Cuando el terreno no ofrece las condiciones de infiltración para el tratamiento del efluente proveniente de la fosa, se han perfeccionado otras alternativas como los filtros de medio granular intermitente con recirculación) utilizados para asentamientos multifamiliares), o filtros de arena en asentamientos individuales, los cuales ofrecen un gran rendimiento en cuanto a eficiencia se refiere.

Posibilidades de tratamiento de aguas servidas en áreas conectadas a un sistema de recolección

Este modelo, responde frecuentemente a un procedimiento existente de transporte y recolección, mediante colectores de diámetros que varían desde los $D = 110$ hasta 160 mm, los cuales son utilizados en sistemas de alcantarillado sanitario del área rural en zonas concentradas o agrupadas en número significativo de familias (pequeñas urbanizaciones).

Los sistemas de tratamientos a los cuales se recurren en estos eventos, obedecen a eficiencias más exigentes en cuanto se refiere a remoción de la DBO_5 , eliminación o reducción de organismos patógenos, disposición de lodos, entre otros, en ese sentido entre las técnicas de implementación técnica de punta y bajo costo que se aplican se encuentran las siguientes: fosas sépticas de doble cámara más filtro anaerobio, reactores anaerobios de flujo ascendente, complementados con lechos de secado de lodos, y zanjas de infiltración (depende del tipo de suelo), o en su efecto lagunas de maduración.

En cuanto se refiere a los reactores anaerobios, este tipo de tecnología ha demostrado eficiencias que superan la remoción de la DBO_5 entre el 90% y 95%, dependiendo de la operación mantenimiento, tiempo de retención, temperatura, clima, entre otros.

Eficiencia alternativa de tratamiento

El propósito del Tratamiento o Depuración de las Aguas Residuales, es devolver al entorno un efluente purificado, cumpliendo con los estándares establecidos en la legislación pertinente (Centeno Mora et al., 2024). Los cuatro procesos usados más comúnmente para proveer oxidación biológica (tratamiento secundario) de materiales orgánicos en las aguas residuales son: **lodos activados, proceso de aireación extendida, filtro biológico, lagunas de estabilización, reactores anaeróbicos**. En combinación con los procesos físicos para la remoción de sólidos suspendidos, el proceso de lodos activados puede remover consistentemente de 90% a 95% de la DBO_5 y de los sólidos suspendidos disueltos en las aguas residuales crudas.

Los filtros biológicos pueden remover de 80% a 90% de los mismos materiales, y las lagunas de estabilización de 90% a 95%, mientras que los reactores anaeróbicos, pueden remover entre el 85% y 90% de la DBO_5 , existiendo casos demostrables de proyectos ubicados a nivel del mar con temperaturas promedios de 24 °C., en los cuales la eficiencia ha superado el 94% de remoción de la DBO_5 . Además, existen varias combinaciones de estos procesos que pueden proveer soluciones que son económica y técnicamente y ambientalmente viables para aplicaciones específicas. Por ejemplo, el proceso Biolac desarrollado en Europa a mediados de la década de 1970 es una combinación de los conceptos del proceso de aireación extendida de lodos activados y de las lagunas de estabilización, otro proceso combinado, que está tomando gran impulso, es el empleo de reactores anaeróbicos, y desinfección.

Tal como se lo refirió en la introducción, las poblaciones debido al acceso general de la información, cada vez son más exigentes en el momento de

implantar un tipo de tecnología, en ese sentido se debe plantear los costos aproximados que éstas involucran. A continuación, se presentan ciertos criterios sobre las opciones de tratamiento que se deben considerar para tomar la decisión de la PTAR:

- Un aspecto interesante de analizar, es el abasto eléctrico, es importante considerar el hecho de que uno de los insumos que más variación presenta, es la provisión de este servicio, por lo que los lodos activados a pesar de ser muy eficiente, requiere permanentemente de energía eléctrica, evidentemente el consumo de energía repercutirá en los costos que la ciudadanía tendrá que pagar por el servicio de alcantarillado, requiere además de personal especializado.
- Las lagunas de estabilización, ha sido un método muy empleado en las zonas costeras, sin embargo, se requiere de una gran área para su emplazamiento, y su mantenimiento no es elevado, existen circunstancias que se deben considerar, el lagunaje en la costa (nivel del mar) no ha sido eficiente, la producción de gran cantidad de nutrientes en las lagunas anaeróbicas genera una gran cantidad de vegetación, que colmata las mismas, en ocasiones inclusive son propensas a invasiones no legalizadas de asentamientos humanos.

En la **Tabla 29**, se presenta la comparación de las alternativas de procesos de tratamiento de aguas residuales, tomada del documento preparado por el Banco Mundial en el año 1998 Proyecto FASBASE.

Tabla 29.

Comparación de las alternativas de procesos de tratamiento de aguas residuales.

Proceso	Fluctuación Típica de la Capacidad, m3/día	Remoción de DBO5 & SST, %	Fluctuación Típica del Costo Capital US \$/m3	Fluctuación de Costo de O & M US\$/m3	Manejo de Lodos	Comentarios
Lodos Activados Convencionales	>20,000	90 a 95	\$400 a \$1600	\$0.10 a \$0.80	Genera lodos primarios y secundarios a razón de 0.4 a 0.6 kg. Por kg de DBO 5 removido.	Más aplicables a centros de población de más de 200,000 personas. Más técnica y económicamente viable en áreas con escasa disponibilidad de terrenos o de alto costo de terrenos, Costos Elevados de Energía
Proceso de Aireación Extendida	1,000 a 70,000	85 a 95	\$350 a \$1200	\$0.10 a \$0.90	Genera lodos secundarios a razón de 0.15 a 0.3 kg por kg de DBO5 removido.	Aplicable a comunidades de 200,000 o menos. Los requisitos de área son aproximadamente los mismos que el del proceso de lodos activados convencional. Costos Elevados de Energía

Proceso	Fluctuación Típica de la Capacidad, m3/día	Remoción de DBO5 & SST, %	Fluctuación Típica del Costo Capital US \$/m3	Fluctuación de Costo de O & M US\$/ m3	Manejo de Lodos	Comentarios
Filtros Biológicos	3,000 a 80,000	80 a 85	\$400 a \$1,600	\$0.06 a \$0.40	Genera lodos primarios y secundarios a razón de 0.3 a 0.5 kg. Por kg de DBO 5 removido.	Generalmente requiere menos mantenimiento y costos de energía que el de lodos activados. Menos requisito de área.
Lagunas de Estabilización	50 a 75,000	85 a 95	\$90 a \$700	\$0.005 a \$0.07	Los lodos se acumulan y se degradan en la laguna. Típicamente, los lodos son excavados (dragados) cada siete a diez años.	Requiere muy poco mantenimiento. Bueno en climas tropicales y subtropicales. Requiere mucha área en comparación con el proceso de lodos activados.
Reactores Anaeróbicos: Proceso Ascensional de Manto de Lodos Anaerobio	800 a 20000	85 a 95	\$500 a \$800	\$0.08 a \$0.70	Igual que el proceso de Aireación Extendida.	Similar a la aireación extendida pero las unidades de proceso son prefabricadas de acero o de hormigón pre-estresado.

Fosas sépticas

En proyectos en los cuales no se dispone de sistemas de recolección y transporte, o en asentamientos poblacionales dispersos, o individuales, la aplicación de este método considerado como proceso único de tratamiento se aplica con mucha frecuencia (Duque et al., 2021).

El proceso de digestión anaerobia se efectúa en el mismo tanque que actúa como sedimentador, la eficiencia de remoción de la DBO_5 , varía entre el 20% y 35%, y la remoción de patógenos entre el 50% y 60%.

El lodo digerido resultante se puede considerar como estable y debe cumplir con la relación:

$$SSV/SS < 0.3$$

Donde:

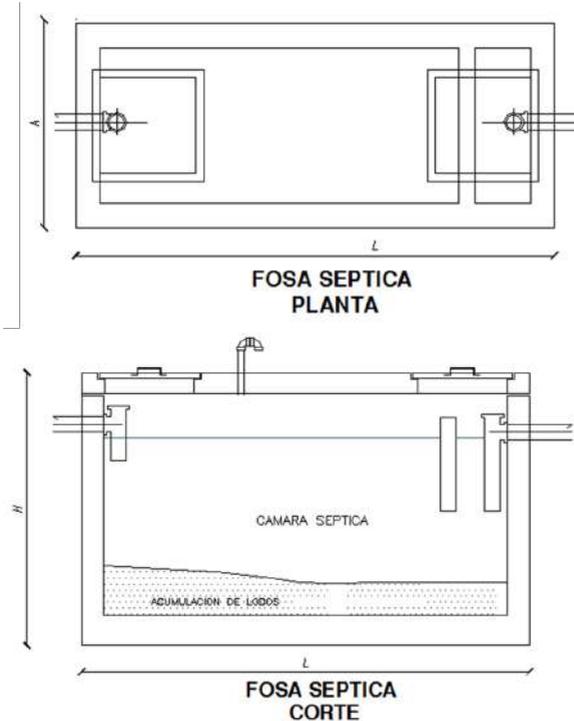
SSV = Sólidos en suspensión volátiles (orgánicos)

SS = Sólidos en suspensión

Los lodos dispuestos en el tanque sedimentador o fosa séptica pueden ser retirados por succión y dispuestos en rellenos sanitarios en donde favorecen la degradación de la basura o residuos sólidos de forma anaerobia, o en su efecto pueden ser ubicados en lechos de secado para someterlos a la deshidratación y posteriormente ser utilizado como acoplador de terrenos destinados a las actividades agrícolas en productos de alto follaje, o en productos que no se consuman sin cocción.

Figura 66.

Diseño Fosa Séptica (Planta - Corte).



Para el diseño se recomienda aplicar la fórmula siguiente:

$$V = [(N \times C \times t) + (100 \times L_f \times N)]$$

Donde:

V = Volúmen

C = Concentración de aguas servidas per cápita

L_f = Producción de lodo fresco (l/hab/día)

t = Tiempo de detención (0.5 – 1) día.

N = Número de habitantes

El dimensionamiento trata de establecer el volumen para el lodo y el efluente, con un parámetro de diseño adicional referente al tiempo de permanencia de los lodos en la fosa, el cual se recomienda mínimo tres (3) meses

o cien (100) días, procurando que los mismos se encuentren bien digeridos en el tiempo señalado. Se recomienda que el volumen mínimo a implantar no debe ser menor a los 1.500 litros (1.5 m³).

La digestión que se produce al interior del reactor de cámara única, es anaerobia, promovida en dos fases:

- En la primera fase, la materia orgánica o líquida, genera ácidos orgánicos (licuefacción), de estos el ácido que interesa es el ácido acético.
- La segunda fase corresponde a la gasificación, en la cual el ácido acético se une con el H₂ (hidrógeno), y CO₂ (dióxido de carbono), pasando a una forma estable.

Las bacterias generadas en la primera fase son facultativas (pueden desarrollarse tanto en presencia como en ausencia de oxígeno), y en conjunto con la materia orgánica se presentan como ácidos orgánicos.

Se destaca que en la segunda fase se requieren de bacterias metanogénicas (pueden producir metano a partir de sustratos orgánicos sencillos como el ácido acético, el formiato, el metanol, entre otros), que son estrictamente anaerobias, muy sensibles, cuyo mayor tóxico es el oxígeno.

Se deja establecido que el efluente resultante, contiene ácidos orgánicos que no se degradan completamente en el proceso anaerobio, en ese sentido es preferible procurar infiltrar el mismo en un pozo permeable.

El CO₂ (dióxido de carbono), también tiene un efecto contaminante en el ambiente, al igual que el CH₄ (metano), el cual es un gas de efecto invernadero que debe ser quemado, caso contrario se constituye en un aportante al calentamiento global del planeta, destruyendo como efecto final la capa de ozono.

El efluente final puede eliminarse a través de una zanja de infiltración, o en su efecto un pozo de absorción, o descargar directamente al cuerpo receptor dependiendo de la capacidad de asimilación y dilución del mismo.

Fosas sépticas de doble cámara o en serie

Una variante a la fosa séptica de cámara única, es la fosa de doble cámara, siendo ésta más eficiente en cuanto a calidad de efluente producido pos-tratamiento. La aplicación puede darse cuando el afluente a tratar proviene de un grupo de familias, o en asentamientos multifamiliares. Especificar de forma tácita un número mínimo para la implantación no tiene sustento, en ese

sentido el criterio tiene su basamento en la calidad del efluente a consignar en el cuerpo receptor.

El modelo matemático que se recomienda para el dimensionamiento se describe tal como sigue:

$$V = [(N \times 1.3) \times (C \times t) + (100 \times Lf)]$$

Donde:

V = Volúmen

C = Concentración de aguas servidas per cápita

Lf = Producción de lodo fresco (l/hab/día)

t = Tiempo de detención (1 – 2) días.

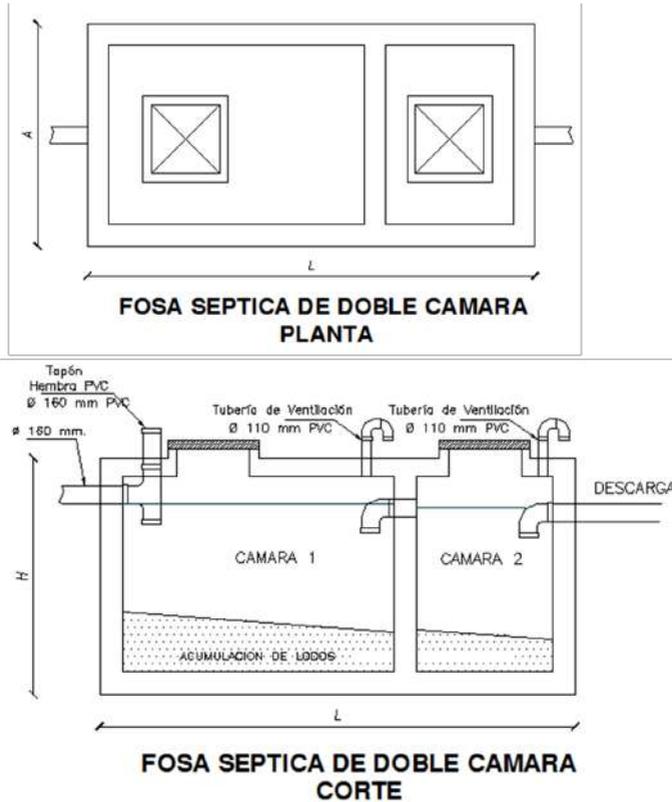
N = Número de habitantes

El volumen mínimo que debe ser implantado es de 1.700 l (1.7 m³), el proceso de digestión anaerobia se efectúa en la primera cámara, la cual actúa también como sedimentador, la segunda cámara retiene los sólidos que no han logrado precipitarse en la primera, la eficiencia de remoción de la DBO₅, varía entre el 45% y 60%, y la remoción de patógenos entre el 60% y 70%.

Las condiciones de funcionamiento y detalles de ingreso del afluente proveniente del emisario final y salida del efluente son iguales a las presentadas en la cámara única.

Figura 67.

Diseño Fosa Séptica de doble cámara (Planta - Corte)



De acuerdo al volumen obtenido en el cálculo, se puede definir el dimensionamiento, considerando los siguientes criterios:

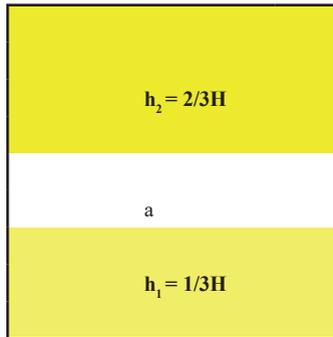
- La longitud de la primera cámara será: **$\frac{2}{3} L$**
- La longitud de la segunda cámara será: **$\frac{1}{3} L$**
- El ancho mínimo (**A**) se recomienda: **$A \geq 0.8 \text{ m.}$**
- La altura (**H**) se recomienda: **$H \geq 1.2 \text{ m.}$**
- La relación (**L/A**) en lo posible debe ser: **$2 \leq L/A \leq 4$**
- El ancho (**A**) se sugiere: **$A \leq 2H$**

Bibliografías especializadas, insinúan el paso entre la primera y segunda cámara, realizarlo mediante una apertura o ventana, omitiendo la descarga mediante tubería, en ese sentido se sugiere que la apertura de paso sea entre el 5% y 10% del área de la pantalla, y la altura antes de la apertura sea considerada en $1/3H$.

$$a \approx 5- 10\% A$$

A = Área sombreada

h_2 = mínimo debe considerarse 0.30 m.



Se destaca que, en este tipo de infraestructura, siempre existirá interferencia entre la sedimentación y flotación, debido principalmente a la salida de los gases que se generan como el metano.

De igual manera se recomienda que el efluente final post tratamiento, sea dispuesto en campos de infiltración, pozos de absorción o descarga directa a un sistema de riego de alto follaje.

Fosas sépticas de doble cámara más filtro anaerobio

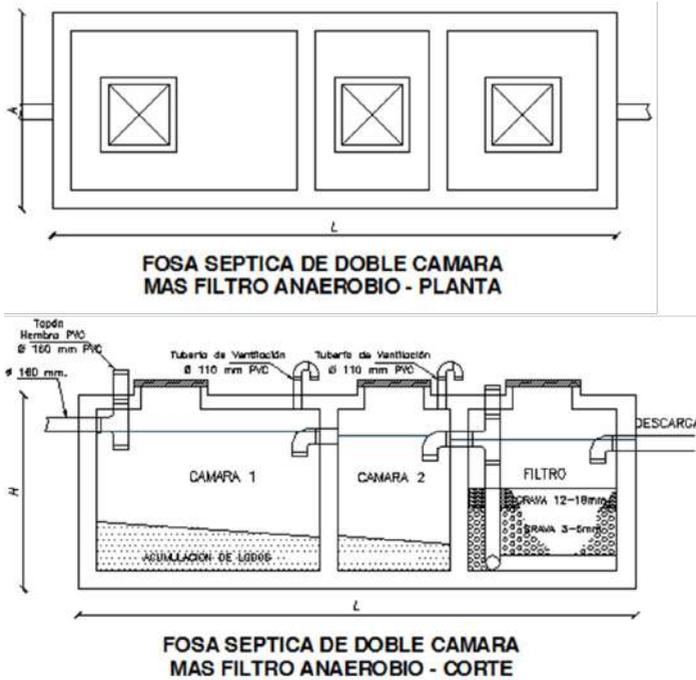
El tratamiento propuesto adicional al enunciado en el numeral anterior es de un filtro biológico con la inclusión de material granular. El objetivo que se persigue a través de este proceso es incrementar el área de contacto, minimizar la cantidad de sólidos e iniciar un proceso de degradación y estabilización de la materia orgánica en el efluente, el cual es utilizado como post tratamiento (Lizot et al., 2021). Dadas las características de susceptibilidad del reactor a la presencia excesiva de sólidos que pueden colapsar, en ese sentido se requiere un período de retención menor a 12 horas en el material filtrante.

Con el fin de reducir la carga de DBO en el efluente final, se sugiere que en el filtro anaerobio de flujo ascendente se utilice material pétreo con granu-

lometría entre 3.5 – 7.5 cm como medio de contacto que favorezca el desarrollo de biopelícula y por lo tanto aumente la eficiencia del tratamiento.

Figura 68.

Diseño Fosa Séptica mas Filtro Anaeróbico (Planta - Corte).



La base está compuesta por una estructura que soporta el medio filtrante (fondo falso) y a su vez por medio de orificios de 3 cm, espaciados 15 cm entre sí en los dos sentidos, los mismos que conducen el efluente remanente hacia el medio filtrante. En la parte superior está dispuesta una tubería perforada que recoge el agua tratada y la conduce hacia el efluente final. La carga hidrostática mínima en el filtro deberá ser de 0,10 m, por lo tanto, la salida del efluente del filtro debe estar 0,10 m. más abajo del nivel del agua en el filtro percolador.

Este tipo de tratamientos son más completos, por lo tanto, son más factibles de ser considerados para poblaciones cuyos asentamientos sean concentrados y numerosos (entre 500 y 600 habitantes), en ese sentido son más seguros para descargar directamente el efluente en cuerpos receptores o destinarlos en áreas reservadas a labores agrícolas de alto follaje. Se presenta a continuación un ejemplo de cálculo desarrollado por el suscrito.

Tabla 30.

Cuadro de cálculo NO 1.

FOSA SEPTICA DE DOBLE CAMARA Y FILTRO ANAEROBIO			
DATOS:			
Población Real a Servir = Pr =	89,00	hab.	
Población de Diseño = P = A Considerar	90,00	hab.	
Dotación de Agua Potable = Dot =	100,00	l/hab/d	
Factor de Fugas =	1,20	f	
Factor de Mayoración diario =	1,25	KMD	
Factor de Mayoración Horario =	3,00	KMH	
Coefficiente Mayoración de Aguas Servidas Trat. =	1,88	M	
Coefficiente de Retomo de Agua Potable =	0,70	r	
Volúmen Unitario para el cálculo del Filtro Anerobio =	0,05	m ³	
DESARROLLO DE CALCULO:			
Caudal medio diario =	0,13	l/seg	Qmd = fx(PxDot) /86400
Caudal máximo diario =	0,16	l/seg	Qmd = KMDxQmd
Caudal Máximo Horario =	0,38	l/seg	QMH = KMHxQmd
Caudal de Aguas Servidas =	0,16	l/seg	Q Serv = QmdxMxr
CAPACIDAD DE LAS CAMARAS:			
Volúmen 1 =	14,92	m ³	V1 = 4.28 + 64.8 Q
Volúmen 2 =	4,97	m ³	V2 = V1x1/3
Volúmen Total =	19,89	m ³	VT = V1+V2
DIMENSIONES:			
Si se considera una altura útil de 2.50 m.			
(fondo de la losa hasta el nivel del agua) y una			
longitud de cámara igual a dos veces el ancho se tiene:			
l = 3,20 m.	a = 1,60 m.	h = 2,20 m.	
FILTRO ANAEROBIO:			
Volumen del filtro anaerobio =	4,50	m ³	Vfiltro = Vu x P
Lecho filtrante fondo =	0,60	m.	m. grava de 12 a 18 mm.
Lecho filtrante superior =	0,30	m.	m. grava de 3 a 8 mm.
Con el sistema planteado se espera uina remoción de			
DBO 5 del 60 al 70% y una operación satisfactoria sin			
mantenimineto de 18 a 24 meses.			
	Cámara 1	Camara 2	Filtro Anaerobio
Volúmen calculdo de cada Cámara =	14,92	4,97	4,5
Largo =	3,2	1,6	2,5
Ancho =	2,2	2,2	2,2
Altura =	2,2	2,2	0,9
Relación=	1,5	Ok	Ok
V. Real=	15,49	7,74	4,95

Reactores anaerobios de flujo ascendente

El Proceso ascensional de manto de lodos anaerobio (PAMLA), conocido también como reactor anaerobio de flujo ascendente, es un proceso en el cual las aguas servidas se introducen por el fondo del reactor y fluye a través de un manto de lodos conformados por granos biológicos o partículas de microorganismos, en la cual la actividad se efectúa en un ambiente con ausencia de oxígeno. El tratamiento se efectúa por contacto del agua residual con el lodo granulado o floculento, en el cual se desarrollan bacterias con buenas características de sedimentación, bien mezcladas por el gas en circulación.

La concentración de sólidos suspendidos volátiles (SSV) en el manto del lodo puede alcanzar los 100 g/l. Los gases de la digestión anaerobia se adhieren a los granos o partículas biológicas o causan circulación interna para proveer la formación de más granos. El gas libre y las partículas con gas adherido se elevan hacia la parte superior del reactor. La porción líquida fluye al sedimentador donde se separan los sólidos residuales del líquido.

Una de las ventajas del reactor es que funciona con tiempos de retención reducidos en horas, teniendo como efecto directo infraestructuras de pequeños o medianos dimensionamientos, lo que redundaría en costos de inversión no excesivos.

En el proceso de digestión anaerobia, la energía inmersa en los vínculos de los compuestos orgánicos, queda aferrada en los enlaces del gas metano (CH_4), el cual escapa de forma directa a la atmósfera debido a la baja solubilidad que este presenta. Existen experiencias en las cuales este gas se aprovecha en forma de energía combustible, el sobrante de ésta misma energía queda a disposición de los microorganismos para la asimilación.

Los grados de eficiencia que este tipo de tratamientos presenta, obedece a condiciones de implantación entre las que se destacan: temperatura, condiciones climatológicas, entre otras.

Tabla 31.

Cuadro de cálculo N0 2.

TRATAMIENTO DE ALCANTARILLADO SANITARIO				
CALCULO REACTOR ANAEROBIO				
PARAMETROS DE DISEÑO				
AREA DE APORTE (Ha):		7,78	SE ESTABLECE EN DISEÑO DEFINITIVO	
ETAPAS DE EJECUCION:		2,00	SE ESTABLECE EN DISEÑO DEFINITIVO	
POBLACION:		1.437,00		
Qas. mayorado (l/s):		3,25	SE ESTABLECE EN DISEÑO DEFINITIVO	
Q. diseño: Qas+QII+Qin			SE ESTABLECE EN DISEÑO DEFINITIVO	
Q. Diseño (l/s):		3,25	SEGUN HOJA DE CÁLCULO	
DBO (grhab/d)=	45,00	Ref. Lagunas de Estabilización		
Xss/svs=	20,00	Ref. Metcalf and Eddy		
L =	0,40	Ref. Metcalf and Eddy		
(K) lodos=	0,05	Ref. Depuración lodos 1988		
Tasa aplicacion (m ³ /m ² /d)	20,00	Adoptada		
Altura decantacion (m) =	1,50	Adoptado		
Numero de unidades =	2,00	Por operación		
REACTOR				
CAUDALES		Q. diseño (l/s)	DISEÑO ADOPTADO 1,82	DISEÑO ADOPTADO 1,82
POBLACION		720,00	720,00	720,00
AREA(m ²)		7,02	8,00	8,00
a(m)		1,87	2,00	2,00
l(m)		3,75	4,00	4,00
QS(Kg/d)		64,80	64,80	64,80
Vsv(m ³)		8,10	8,10	8,10
Sst(m ³)		20,25	20,25	20,25
Hd(m)		1,50	1,50	1,50
Hb(m)		2,89	2,53	2,53
Hi(m)		0,15	0,14	0,14
Htv(m)		0,54	0,58	0,58
Htd(m)		5,08	4,74	4,74
T. ret(hor)		5,77	6,10	6,10

Una de las formas de calcular el reactor anaerobio, se presenta en el cuadro anterior, en el cual se destacan los parámetros de diseño, los cuales deben ser asumidos y/o calculados de forma previa. Generalmente se diseñan dos unidades por efectos de operación y mantenimiento, en ese sentido el caudal (Q) de tratamiento deberá ser dividido para dos. Según lo descrito el área del tanque se calculará de acuerdo a la siguiente expresión:

$$A = Q / \text{Tasa de Aplicación}$$

Donde:

$$A = \text{Área (m}^2\text{)}$$

Q = Caudal ($\text{m}^3 / \text{día}$)

Tasa de Aplicación= ($\text{m}^3 / \text{m}^2 * \text{día}$)

El ancho y largo de la cámara se deducen de la siguiente manera:

$a = \text{raíz } x (A / 2), b = 2 \times a$

Donde:

a = ancho (m)

b = largo (m)

La altura de decantación (Hd), mínima es de 1.5 m., el volumen mínimo total es de 1.500 litros (1.5 m^3). La geometría del reactor puede ser también cilíndrica o prismática, es lógico pensar que la mejor forma es la cilíndrica, ya que hablamos de estructuras cuyas profundidades varían entre los 6 y 8 metros.

Lecho de secado de lodos

El reactor anaerobio de flujo ascendente, se complementa con un lecho de secado de lodos, el cual puede implantarse a la salida de las cámaras, una forma para calcularlo se presenta en el siguiente cuadro, básicamente su desarrollo está en función del volumen de Sólidos suspendidos totales, la densidad de los mismos y de la carga de lodos sobre el lecho, para una mejor comprensión se toma los valores considerados en el cálculo presentado anteriormente en el cuadro de cálculo N° 4:

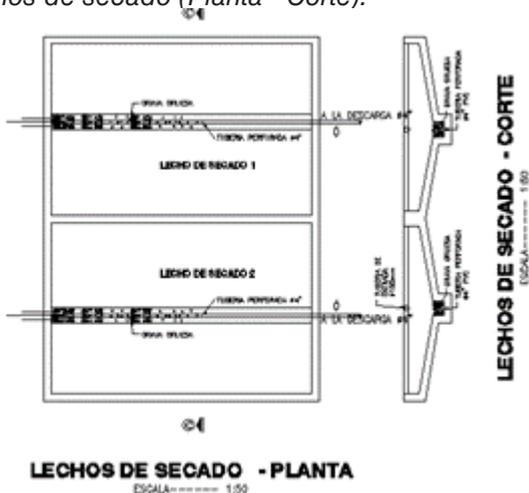
Tabla 32.

Cuadro de cálculo N0 3.

LECHOS DE SECADO DE LOS LODOS SISTEMA DE AL CANTARILLADO			
CANTIDAD DE LODOS EN 1 MES =	20,25 m ³ /mes		Vol Sst m ³
CARGA DE LODOS SOBRE LECHO =	250,00 Kg sst/m ³ año		
DENSIDAD LODO	1.050,00 Kg/m ³		
1 MASA ANUAL DE LODOS			
$Mal = Vb * 4$			
$Mal =$	81 m ³		
2 AREA DE LOS LECHOS			
$A = Mal / Q, m^2$		$H =$	1,1 m
$A =$	247,42 m ²		
3 SI SE ADOPTAN DESCARGAS BIMENSUALES			
$Af = A/6, m^2$			
$Af =$	41,24 m ²		
No. unidades	2,00		
$b =$	3,50 m		
$L =$	6,00 m		
Se adoptan	2	lechos de secado de	3,50 * 6,00
Constructivamente se adopta 2 lechos de 3.50 * 6,00			

Figura 70.

Diseño Lechos de secado (Planta - Corte).



El lodo deshidratado proveniente del lecho de secado de lodos, puede aprovecharse para ser utilizado como acopladores de terrenos destinados para las labores agrícolas de alto follaje, ya que es rico en nutrientes, tales como nitritos, nitratos, fosfatos, entre otros.

Al lecho de secado de lodos, se recomienda agregar, un kilogramo de alumbre cada 800 a 2500 litros de lodo para aumentar el desprendimiento de los gases. Debe tenerse en cuenta la humedad de los lodos que se apliquen, la superficie del lecho disponible, así como la necesidad de espacio para almacenamiento en los digestores. Una capa delgada se seca rápidamente, y permite la más rápida remoción del lodo. La superficie del lecho debe mantenerse limpia y libre de todos los lodos que se hayan encargado anteriormente. Nunca deben descargarse los lodos sobre los otros ya secos o parcialmente seco. Una vez descargados los lodos del reactor las tuberías de lodos deben escurrirse bien y hacer circular agua por ellas. Esto no solo evita el taponamiento de las tuberías, sino también el desarrollo de grandes presiones originadas por los gases emanados de los lodos que queden dentro. Por este motivo, debe evitarse encender fósforos, cigarrillos o cualquier fuego, cuando se abran las válvulas de lodos.

Es recomendable retirar los lodos dependiendo del tratamiento subsecuente de molida o picado, la necesidad de descargar los digestores, y, el contenido de humedad de los lodos que estén en los lechos. La torta que tenga un contenido de humedad de 60 a 70%, pueden retirarse con palas o rastrillos.

Zanjas de infiltración

Las zanjas de infiltración son procesos que se integran a las unidades consideradas como tratamientos primarios, o únicos, la aplicabilidad de las zanjas como tratamiento último en flujo de procesos, depende del tipo de suelo en el cual se implanten las unidades. Para el cálculo respectivo, se considera el fondo como la superficie de infiltración, la expresión que se recomienda para su uso, se define así:

$$A = Q / K$$

El coeficiente (K), se determina a nivel de laboratorio, con el cual se obtiene la capacidad de infiltración del suelo, sin embargo, existen valores de (K), recomendados por las Normas brasileras NB 41, los cuales pueden aplicarse con buen criterio, y teniendo en cuenta los conocimientos de geología básica que se tenga como experiencia. En el cuadro siguiente se establecen los valores:

Tabla 33.

Valores de capacidad de infiltración del suelo.

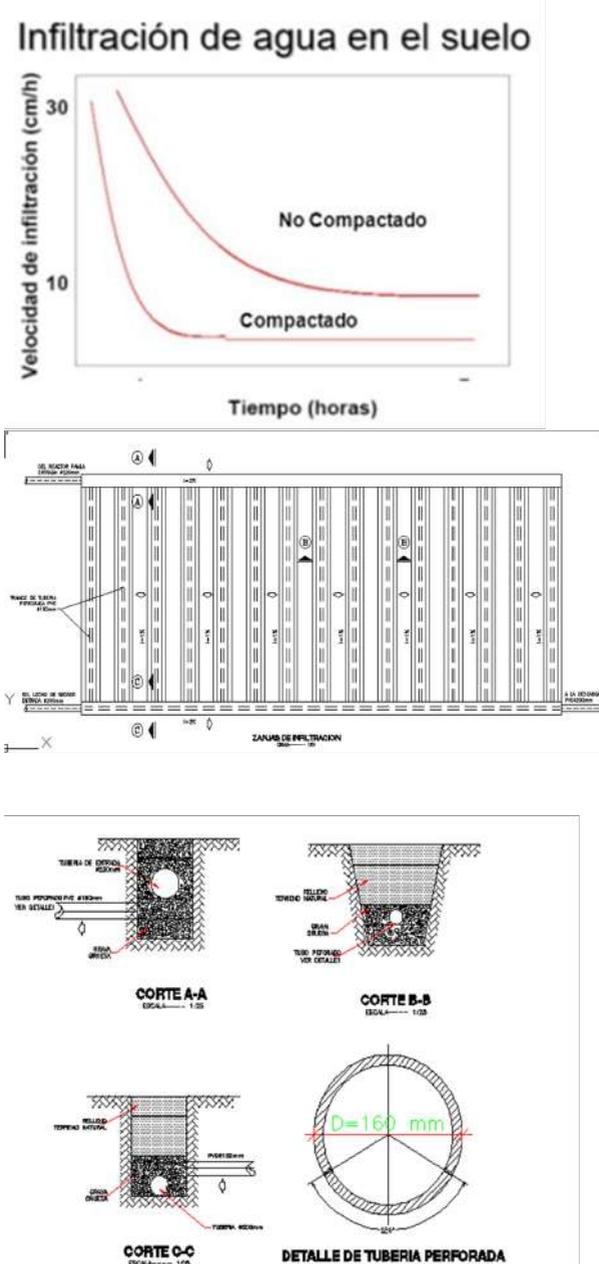
TIPO DE SUELO	K (l / m ² * día)
Arcillas compactas	< 20
Arcillas amarillas	20 – 40
Arcillas arenosas	40 – 60
Arena arcillosa	60 – 90
Arena	> 90

Si existe el interés de tener los datos de forma muy cercana a la realidad geológica del área, se puede recurrir a las pruebas de determinación de la capacidad de absorción del suelo in situ, ubicando tres (3) puntos bien distribuidos en el terreno, en ese sentido se fundan los siguientes procedimientos:

- Se realiza una excavación al nivel de la zanja (altura o profundidad de interés), de 1.00 x 1.00 m., y en la cota del fondo se procede a cavar un hueco de (0.30 x 0.30 x 0.30) m., las paredes de este hoyo tienen que rasparse para que queden ásperas, y de forma paralela se procede a llenar de grava 0.05 m., en este pequeño agujero.
- El primer día se mantiene lleno de agua mínimo cuatro horas (4), buscando como fin u objetivo saturara el terreno.
- El segundo día se llena el hueco por una sola vez y se deja infiltrar totalmente, una vez realizado este procedimiento, se llena el hueco 0.15 m., se toma el tiempo transcurrido hasta que baje el nivel del agua a los 0.14 m., si el tiempo es menor a los tres (3) minutos, se efectúan mínimo cinco (5) pruebas y se adopta el último, es decir el del quinto ensayo.
- Se procede a formar la curva en función del área transversal (1.00 x 1.00), de ésta forma se obtiene el valor de (K).

Figura 71.

Velocidad de infiltración.



En las figuras adjuntas, se aprecian los detalles de las zanjas de infiltración. Para efectos de determinar la longitud, ésta se supone de la siguiente expresión:

$$L = A / B$$

Donde:

L = Longitud en m.

A = Área de la Zanja en m²

B = Ancho de la zanja m.

Para el caso constructivo, siempre es recomendable construir cajas de revisión para operación y mantenimiento, y una zanja de emergencia, ya que con el tiempo llegan a colmatarse.

Otra forma de cálculo, considerando mayores insumos o aportes de sujeción se presenta a continuación:

Tabla 34.

Cuadro de cálculo N0 4.

ZANJAS DE INFILTRACIÓN LUEGO DE LOS REACTORES				
Parámetros de partida				
i= pendiente del terreno	1%			
permeabilidad del suelo	tierra o arcilla < 0,5 cm/s			
A_{s_1} = área requerida [m ² /d]	de 20 a 70			
Co= DBO del efluente [mg/l]	45,5			
Co= DBO del efluente [mg/l]	30			
tratamiento mínimo necesario	sedimentación primaria			
composición del agua a aplicar	suspensión, percolada y efluente superficial			
características del medio filtrante				
Tipo	tamaño de grano máximo (10%) [mm]	porosidad alta	conductividad hidráulica k_s [m ² /m ² d]	K_{20}
arena media	1	0,42	400	1,04
arena gruesa	2	0,39	400	1,35
arena gruesa (grasa fina)	3	0,35	500	0,85
i= pendiente estancaque [%]				
0,01 ejemplo				
K_1 [m ² /d]	1.300,00			
capacidad mínima del agua [l/s]	20			
i= pendiente del estancaque [m]	0,30			
esta porosidad =	0,35 de la tabla			
K_2 = [m ² /m ² d]	500			
K_{20}	0,25			
$K_1 = K_{20} (1,1)^{200} [l/s]$	0,25 capacidad de estancaque			
$C = \ln(Co/Ca) / K_1 [d]$	1,67			
$A_c = Q / C [m^2]$	260,00 área superficial			
$A_1 = A_c / i [m]$	320,00 área de infiltración			
$L = A_1 / i [m]$	23,80 largo de las zanjas			
$A_2 = L * i [m^2]$	7.735,26 superficie de la Zanja			
$A_3 = [m]$	0,77			
chequeo de carga hidráulica y superficie específica				
$H = A_1 / L [m]$	0,1681 > 0,015 y < 0,050 ejemplo			
$A_{s_1} = L * H [m^2/d]$	5,95 > 20 y < 70 ejemplo			
chequeo de carga de DBO₅				
$DBO_5 = Co * Q / 1.000 [kg/d]$	58,15			
carga DBO ₅ = DBO ₅ / A_2 [kg/m ² /d]	75,47 < 67 ejemplo			

Cuando el terreno no es permeable, se puede recurrir a las zanjas de filtración, es decir se fabrica un suelo permeable, lo que comúnmente se denomina filtro biológico.

Zanjas de filtración

El implementar este tipo de unidades, implica la concepción de un filtro biológico, y su atención obedece a ser considerados cuando se tienen caudales pequeños (viviendas únicas). Se estima 6.00 m de longitud de zanja / persona, la tasa de infiltración generalmente es de 3 m² / persona.

Este modelo de proceso, depende del nivel freático que se tenga en el área, si éste llega a ser muy alto se requiere de disponer de montículos de infiltración, el valor de (K) que con frecuencia se aplica es de 70.00 l / m² x

día, y en algunos eventos dependiendo de la carga orgánica y caudal pueden considerarse como único tratamiento.

Conclusiones

- La aplicación de tecnologías de bajo costo en los procesos de tratamientos de aguas negras, varían en cuanto se refiere a su aplicación, ya que; dependen de diversos factores para su implementación, entre los más importantes se detalla tal como sigue: número de familias o población a servir, área disponible para el posible tratamiento, recursos para la construcción, operación, mantenimiento, tipos de suelos, entre otros.
- La eficiencia de remoción de la DBO_5 , para los diferentes procesos unitarios varían de acuerdo al modelo del tratamiento a usar, en ese sentido se puede concluir las mismas de acuerdo al siguiente detalle:

SISTEMAS DE TRATAMIENTO	% EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DBO_5
Fosa séptica de una cámara	20 - 35
Fosa séptica de doble cámara o en serie	45 - 60
Fosa séptica de doble cámara más filtro anaerobio	70 - 80
Reactor anaerobio	85 - 95

- Los tratamientos descritos pueden ser complementados con otros procesos, destinados a la eliminación o reducción de organismos patógenos y posterior descarga del efluente al cuerpo receptor, tales como: zanjas de infiltración, lagunas de maduración, entre otros.
- La disposición y tratamiento del lodo digerido, proveniente de las fosas sépticas o reactor anaerobio, puede ser aprovechado si al mismo se lo somete a un proceso de deshidratación, mediante una estructura denominada como zanja de lecho de secado de lodos, el resultado que se tendría del mismo es una pasta rica en nutrientes como nitritos, nitratos, fosfatos, recomendables como acopladores de terreno de uso agrícola, para productos de alto follaje.
- Si bien las zanjas de infiltración es un método probado para el tratamiento del efluente, su aplicación depende del tipo de suelo, consecuentemente una deficiente estimación de absorción podría tener como resultado una pronta colmatación del ducto y sobresaturación del suelo.

- Los cuadros de cálculo que se presentan, pretenden ilustrar de mejor forma un modelo de estimación del dimensionamiento de las unidades, en ese sentido se deja explícito que existen diversos métodos que conjugan en similares resultados a los que se obtengan entre sí.
- Lo importante en todo proceso de implantación de tratamientos, es lograr que la operación, mantenimiento, control y monitoreo, sean técnicamente bien efectuados, en términos de manejo de lodos, y efluente ya que de ello depende la eficiencia que esta presenten en lo relacionado a la remoción de la DBO_5 , y eliminación de microorganismos patógenos.

Referencias Bibliográficas

- Azevedo, A., Lapa, N., Moldão, M., & Duarte, E. (2023). Opportunities and challenges in the anaerobic co-digestion of municipal sewage sludge and fruit and vegetable wastes: A review. *Energy Nexus*, *10*, 100202.
- Ceconet, D., Callegari, A., & Capodaglio, A. G. (2022). UASB performance and perspectives in urban wastewater treatment at sub-mesophilic operating temperature. *Water*, *14*(1), 115.
- Centeno Mora, E., Cruz Zúñiga, N., & Vidal Rivera, P. (2024). Tratamiento de aguas residuales ordinarias en Costa Rica: perfil tecnológico y perspectivas de sostenibilidad. *Ingeniería*, *34*(1), 7-22.
- Duque, A. F., Campo, R., Val del Rio, A., & Amorim, C. L. (2021). Wastewater valorization: Practice around the world at pilot-and full-scale. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(18), 9466.
- Lizot, M., Goffi, A. S., Thesari, S. S., Trojan, F., Afonso, P. S., & Ferreira, P. F. (2021). Multi-criteria methodology for selection of wastewater treatment systems with economic, social, technical and environmental aspects. *Environment, Development and Sustainability*, *23*, 9827-9851.

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES

Capítulo 17

Análisis de la tasa de infiltración de
la parte alta del río Jipijapa

AUTORES: Michelle Gisselle Bailón Moreira; Martha Johana Álvarez Álvarez



SABEREC 5.0

Análisis de la tasa de infiltración de la parte alta del río Jipijapa

Analysis of the infiltration rate of the upper part of the Jipijapa River

Resumen

La variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones, junto con cambios en el uso del suelo y la urbanización, ha causado irregularidades en la tasa de infiltración en la parte alta del río Jipijapa. Sin embargo, hay una falta de estudios que aborden específicamente la influencia del suelo en la infiltración. El objetivo de este estudio fue determinar la tasa de infiltración en la parte alta de la cuenca del río Jipijapa. El estudio fue financiado por el Consejo Nacional de Investigación y ejecutado con la asistencia del equipo técnico del laboratorio de materiales de la Universidad Estatal del Sur de Manabí. Se empleó un diseño analítico y experimental, realizando estudios de infiltración y extracción de muestras de suelo hasta 2.50 metros de profundidad. Las muestras fueron analizadas para granulometría y límites de Atterberg según las normas ASTM y programas de cálculo. Los resultados mostraron variaciones significativas con valores que fluctuaron desde descensos hasta picos de infiltración. El análisis de suelo reveló tres grupos principales: MH, CL y ML, representativos de suelos limosos-arcillosos. Este estudio proporciona nuevos datos sobre la infiltración y el tipo de suelo en la zona, subrayando su impacto en la degradación de la cuenca. Se realizaron pruebas de laboratorio y estudios directos en el sitio para asegurar precisión en los resultados.

Palabras clave: Granulometría, hidrología, infiltró metro, precipitación, suelos.

Abstract

The temporal and spatial variability of precipitation, together with changes in land use and urbanization, has caused irregularities in the infiltration rate in the upper Jipijapa River. However, there is a lack of studies that specifically address the influence of soil on infiltration. The objective of this study was to determine the infiltration rate in the upper Jipijapa river basin. The study was funded by the National Research Council and executed with the assistance of the technical team of the materials laboratory of the Universidad Estatal del Sur de Manabí. An analytical and experimental design was used, carrying out infiltration studies and extraction of soil samples up to 2.50 meters deep. The samples were analyzed for granulometry and Atterberg limits according to ASTM standards and calculation programs. The results showed significant variations with values ranging from decreases to infiltration peaks. Soil analysis revealed three main groups: MH, CL and ML, representative of silty-clay soils.

This study provides new data on infiltration and soil type in the area, highlighting their impact on watershed degradation. Laboratory tests and direct on-site studies were conducted to ensure accuracy in the results.

Keywords: Granulometry, hydrology, infiltration, precipitation, soils.

Introducción

La gestión adecuada de los recursos hídricos es uno de los mayores desafíos a nivel global debido al cambio climático, el crecimiento poblacional y las prácticas agrícolas intensivas.

A nivel internacional, la infiltración de agua en el suelo es un proceso crítico que afecta el equilibrio hídrico de las cuencas hidrográficas. Estudios recientes como los de Ríos et al. (2007), han destacado la importancia de comprender la dinámica de la infiltración para mejorar la gestión del agua y la sostenibilidad de los recursos hídricos, el incremento de la eficiencia de infiltración de agua de lluvia es muy significativo en el balance hídrico, favoreciendo la disponibilidad de agua y mejorando la recarga hídrica. En América Latina, investigaciones han mostrado que las tasas de infiltración varían significativamente según las características del suelo, la cobertura vegetal y el nosotros. (pág. 70)

A nivel nacional, en Ecuador, la cuenca del río Jipijapa es una de las áreas prioritarias para la gestión hídrica. Según datos del SENAGUA (2019), la parte alta de esta cuenca enfrenta problemas de escorrentía superficial y erosión del suelo, lo que disminuye la capacidad de infiltración, estos factores han exacerbado los problemas de disponibilidad y calidad del agua, afectando tanto a los ecosistemas como a las comunidades locales que dependen de este recurso.

El presente estudio versa sobre la estimación de la tasa de infiltración de la parte alta de la cuenca del río Jipijapa para el balance hídrico, se realiza con el fin aporta datos críticos para mejorar la planificación y manejo de las cuencas, contribuyendo a la seguridad hídrica y protección ambiental. Además, nuestros hallazgos pueden aplicarse a otras cuencas similares, el método mediante el cual se encontró la respuesta a la pregunta de investigación y los objetivos específicos es el método experimental y descriptivo, se analizan las características hidrológicas y se determinan las propiedades del suelo con su respectiva infiltración en la parte alta de la cuenca del río Jipijapa para de esta manera correlacionar ambos valores mediante tablas previamente encontradas.

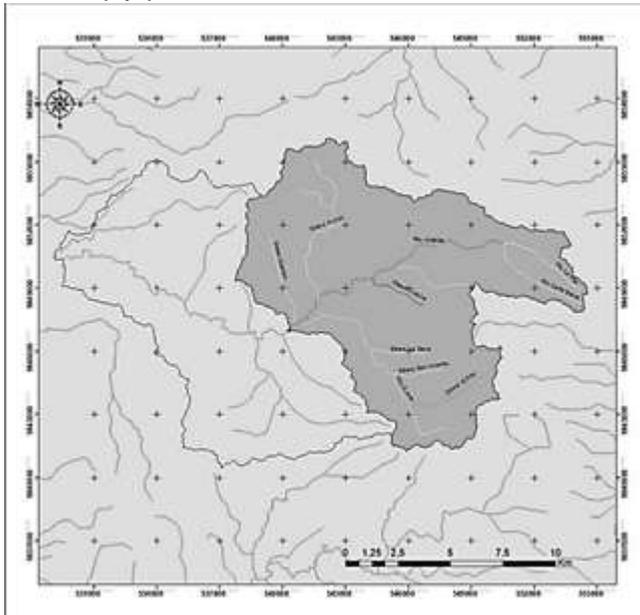
Materiales y Métodos

Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en la parte alta de la cuenca del río Jipijapa, localizada en la provincia de Manabí, Ecuador. Esta zona se caracteriza por un clima tropical monzónico con una temporada de lluvias intensas entre diciembre y mayo y una temporada seca el resto del año. La cuenca del río Jipijapa abarca aproximadamente 253,85 km² y presenta una topografía variada, con elevaciones que oscilan entre los 100 y los 500 metros sobre el nivel del mar, siendo respectivamente 20,55 km² el área de estudio en la parte alta de la cuenca.

Figura 72.

Parte alta del río Jipijapa.



Fuente: (Pincay, 2023, pág. 55)

Materiales

Para los estudios de campo se utilizaron los siguientes materiales:

1. Infiltrómetro doble anillo
2. Agua potable

3. Tachos
4. Cinta
5. Combo
6. Fundas
7. Cronómetro

Para los estudios de laboratorio se utilizaron los siguientes materiales:

1. Agua potable
2. Balanzas
3. Tamices
4. Taras
5. Hornos
6. Cuchara de Casagrande

Para los estudios de oficina se utilizaron los siguientes materiales:

1. Laptop
2. Hojas
3. lápices
4. Software de análisis de datos

Métodos

En primera instancia, se determinó las características hidrológicas en la parte alta de la cuenca del río Jipijapa, se utilizó el método de investigación en las diferentes estaciones meteorológicas, base de datos de la Nasa y datos obtenidos del programa ArcGis.

Obteniendo la siguiente tabla de resultados:

Tabla 35.

Datos Hidrológicos de la parte alta del río Jipijapa.

Parámetros		Unidad	Nomenclatura	Cuenca		
Superficie total de la cuenca		Km ²	At	63,367		
Perímetro		Km.	P	42,825		
Relaciones de forma	Factor de cuenca	Coeficiente de Compacidad (Gravelius)		s/U	$K = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$	1,518
		Factor de forma	Longitud de la Cuenca	Km.	Lb	18,065
	Ancho Medio de la Cuenca		Km.	$A_m = \frac{At}{Lb}$	3,508	
	Factor de Forma		s/U	$K_f = \frac{A_m}{Lb}$	1,21	
	Rectángulo equivalente Lado Mayor Lado Menor	Lado Mayor	Km.	$L = \frac{K\sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K} \right)^2} \right]$	18,065	
		Km.		$l = \frac{K\sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K} \right)^2} \right]$	3,508	
	Densidad de drenaje		Km./Km ² .	$D_d = \frac{Lb}{At}$	1,212	
Precipitación		mm	P	490,7		
Frecuencia del río		Km ²	$F_r = \frac{N^\circ R_{ios}}{At}$	0,552		
Altura media de la cuenca		m.s.n.m.	Hm	383		
Pendiente cuenca (Met. Rectángulo Equivalente)		%	$\tilde{n} = \frac{Ht}{Lma}$	2,945%		

Tiempo de Concentración Kirpich	min.	$T_c = \left(\frac{0,87 * L^3}{H} \right)^{0,385}$	143,564
Altitud mediana	m.s.n.m.	Hm	345,00

Fuente: Adaptado de Bailón (2022)

Método de Infiltrómetro de doble anillo

Para el análisis de la tasa de Infiltración, se utilizó el infiltrómetro de doble anillo siguiendo el protocolo estándar (ASTM D3385-09) para cada punto escogido *in situ*.

Se procedió a colocar el infiltrómetro de doble anillo en el área previamente elegida, tomando en cuenta que ambos anillos estén nivelados y el cilindro interno este centrado, luego, se introdujo los cilindros a una profundidad de 10 cm al mismo tiempo utilizando un nivel para asegurarnos que estuvieran a la misma altura y dejando marcado 5cm en la parte superior de cada cilindro; ubicamos una funda en el cilindro interno y procedemos a llenarlos, se empezó a llenar el cilindro interno dentro de la funda respetando los 5 cm previamente marcados una vez finalizado y con ayuda de alguien se llenó el cilindro externo a la vez que se retira la funda plástica del cilindro interior.

Los niveles de ambos cilindros deben estar a la misma altura, una vez que se empieza a infiltrar el agua se recomienda mantener los niveles mayores a 5cm, pero sin exceder los 10 cm llenando respectivamente ambos cilindros manteniéndolos nivelados, se repitió este proceso hasta obtener resultados constantes.

Una vez obtenidos los resultados de la infiltración se realizó el análisis respectivo de los datos y elaboración de tablas para su mejor comprensión, siendo la siguiente:

Tabla 36.

Datos de campo. Infiltrómetro doble anillo.

Fecha:		Jueves, 12 de enero de 2023		Lugar:			Caña brava			Tipo de Suelo:		
Hora:		8:35 am		Coordenadas:					-80.52636667		Arcilloso-Limoso	
Lectura n°	Tiempo Parcial		Tiempo Acumulado	Lectura	Enrase	Infiltración	Infiltración Acumulada	Infiltración Instantánea				
Hora	minutos		Minutos	Cm	cm	Mm	Mm	mm/h				
09:00	0		0		26	0	0	0				
09:01	1		1	25.7		3	3	180				
09:02	1		2	25.2		5	8	300				
09:03	1		3	24.8		4	12	240				
09:10	10		13	24	26	8	20	48				
09:20	10		23	25.8		2	22	12				
09:30	10		33	25.5		3	25	18				
09:45	15		48	25		5	30	20				
10:00	15		63	24.8		2	32	8				
Fuente. Adaptado de Bailón (2022)												

Análisis de Laboratorio

Las muestras de suelo recolectadas se llevaron al laboratorio para determinar sus propiedades físicas y químicas, mediante el método de granulometría y límites de Atterberg. Estas propiedades son fundamentales para entender los factores que influyen en la tasa de infiltración.

Para la granulometría del suelo con las muestras obtenidas *in situ*, se utilizó taras y tamices para determinar la clasificación del suelo mediante la figura 67 y según las Normas ASTM D422.

Tabla 37.

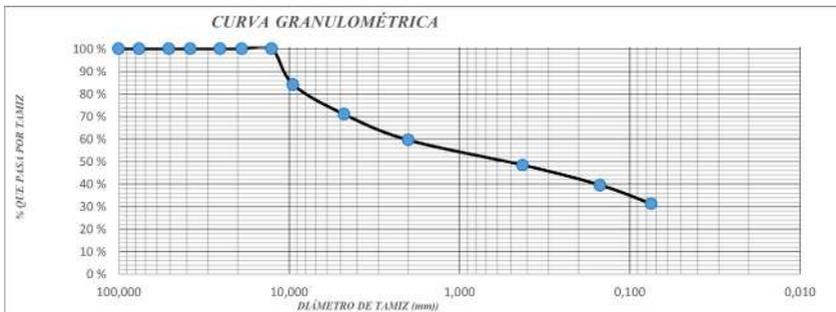
Tabla de granulometría de suelo.

PROYECTO:		MUESTRA:			
OBRA:		COORDENADA:			
UBICACIÓN:		PROFUNDIDAD:			
PESO MUESTRA HÚMEDA:		500 Gr.			
TAMIZ N°	DIÁMETRO (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO PARCIAL (gr)	% PASA
3/4"	19,1	0	0	0	100
1/2"	12,7	0	0	0,00	100
3/8"	9,52	152,7	152,7	30,54	69,46
N° 4	4,76	53,6	206,3	10,72	58,74
10	2	46,3	252,6	9,26	49,48
40	0,42	50	302,6	10,00	39,48
100	0,149	53,6	356,2	10,72	28,76
200	0,074	44	400,2	8,80	19,96
PASAN N° 200		99,8	500	19,96	0,00
SUMAN		500		100	

Fuente. Adaptado de Bailón (2022)

Figura 73.

Curva granulométrica.



Fuente: Adaptado de Bailón (2022)

Para el análisis de Límites de Atterberg, se utilizó el tamiz N° 40 para filtrar el suelo y posteriormente llevar al horno hasta quedar totalmente seco una vez finalizado este paso se llevó la muestra a otro recipiente para proceder a moler hasta volverlo polvo por completo, se tomó una porción de la muestra y se le añadió agua poco a poco hasta tener una consistencia pastosa, se ubicó una cantidad considerable en la cuchara de Casagrande según las Normas ASTM D4318 con su respectivo procedimiento para cada una de las muestras, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 38.

Límites de Atterberg.

Muestra #:								
N° de Tarro	N° de Golpes	peso húmedo + tarro (gr)	peso seco + tarro (gr)	peso de tarro (gr)	peso agua (gr)	peso suelo seco (gr)	% W	% promedio
HUMEDAD NATURAL								
34	---	53,1	39,6	5,2	13,5	34,4	39,24	40,34
15	---	51,8	38	4,7	13,8	33,3	41,44	
LÍMITE LIQUIDO								
16	20	15,64	11,98	4,99	3,66	6,99	52,36	51,37
20	28	13,37	10,63	5,25	2,74	5,38	50,93	
12	40	16,59	12,93	5,27	3,66	7,66	47,78	
LÍMITE PLÁSTICO								
37	---	10,11	9,61	8,05	0,50	1,56	32,05	33,14
58	---	7,06	6,58	5,17	0,48	1,41	34,04	
59	---	7,2	6,68	5,12	0,52	1,56	33,33	

Fuente. Adaptado de Bailón (2022)

Resultados

Se determinó las características Hidrológicas de la parte alta de la cuenca del río Jipijapa, este análisis muestra una cuenca con características bien definidas en términos de forma, tamaño y estructura de drenaje. La cuenca tiene una forma relativamente alargada, una densidad de drenaje moderada y una pendiente suave, lo que implica una respuesta hidrológica específica ante eventos de precipitación. La comprensión de estos parámetros es esencial para la gestión del agua, el diseño de infraestructuras hidráulicas y la evaluación de riesgos de inundaciones en la región.

El análisis de infiltración de suelos en la parte alta de la cuenca del río Jipijapa (38) muestra una variabilidad significativa en los valores de infiltración

entre las diferentes muestras, con infiltraciones que oscilan entre 32 mm y 54 mm. La infiltración acumulada varía de 152 mm a 215 mm, mientras que la infiltración promedio por hora fluctúa entre 4,7 mm/h y 13,8 mm/h. Esta variabilidad sugiere diferencias en las propiedades del suelo, como la textura, estructura, contenido de materia orgánica y compactación. La infiltración total de todas las muestras es de 197 mm, con una acumulada de 892 mm y un promedio total de 9,1 mm/h. Estos datos indican que los suelos en la región tienen capacidades de infiltración dispares, lo que podría influir en la gestión de recursos hídricos y la planificación agrícola.

Tabla 39.

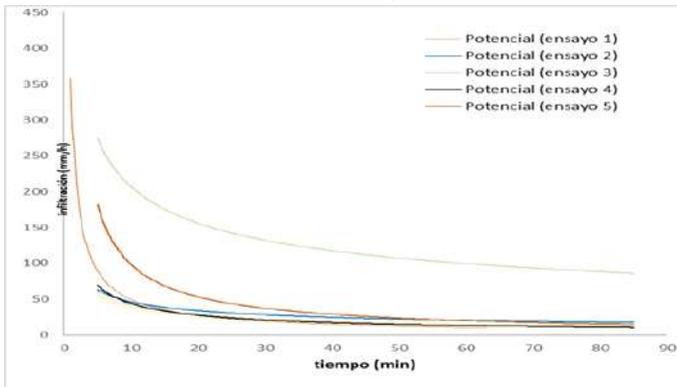
Resumen de datos del Infiltrómetro de doble anillos.

Muestra	Infiltración(mm)	Infiltración Acumulada (mm)	Infiltración promedio (mm/h)
1	32	152	13,8
2	40	171	4,7
3	39	215	6,5
4	32	152	13,8
5	54	202	6,5
Total	197	892	9,1

Fuente. Adaptado de Bailón (2022)

Figura 74.

Curva general de Infiltración de los ensayos.



Fuente: Adaptado de Bailón (2022)

Investigaciones similares como las de Briones (2021), comparte que el análisis realizado sobre la textura del suelo empleado al inicio de la ejecución de los ensayos con el Infiltrómetro doble anillo y la textura del suelo determinado mediante el mismo ensayo, muestra una gran diferencia entre los suelo en el ensayo número 1 y el suelo empleado al inicio, mientras que en los otros ensayos los resultados son más cercanos uno del otro, además vale recalcar que para determinar un tipo o textura del suelo es recomendable realizar el ensayo de suelos en un laboratorio específicamente para suelos, mismo que dará resultados más específicos y exactos (pág. 116)

Partiendo de este análisis y comparando ambos casos se obtiene que en relación de los resultados de Briones en la parte alta de la cuenta se presenta una infiltración más elevada y una variación en el tipo de suelo, misma que puede ser la causante de los valores de infiltración.

La clasificación de los ensayos según las Normas SUCS Tabla 40 muestra una clara distinción entre suelos con un límite líquido (LL) mayor y menor de 50. Las muestras 1 y 2, con un LL mayor de 50, corresponden a suelos de grano fino, específicamente linos inorgánicos con características que incluyen la presencia de mica o diatomeas y propiedades elásticas. Estos suelos tienden a ser más compresibles y presentan mayor plasticidad, lo que puede afectar su comportamiento ante cargas y su capacidad de infiltración.

Por otro lado, las muestras 3, 4 y 5 tienen un LL menor de 50 y se clasifican como arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media. Estos suelos incluyen mezclas con grava, arena y limo, lo que puede influir en su estabilidad y capacidad de carga. La menor plasticidad de estos suelos sugiere que son menos compresibles y pueden tener mejores propiedades de soporte comparados con los suelos de los ensayos 1 y 2.

Tabla 40.

Tipo de suelo según las Normas SUCS.

Muestra	Tipo de suelo	Simbología del grupo	Descripción
1		LL mayor de 50	Linos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, linos elásticos.
2		LL mayor de 50	Linos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, linos elásticos.
3	suelos de grano fino	LL menor de 50	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
4		LL menor de 50	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
5		LL menor de 50	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.

Fuente: Adaptado de Bailón (2022)

Conclusiones

A partir de este estudio sobre el análisis de infiltración de suelos en la parte alta de la cuenca del río Jipijapa surgen datos que revelan una considerable variabilidad en las tasas de infiltración, influenciada por diferencias en la textura, estructura, contenido de materia orgánica y compactación del suelo. La clasificación de los suelos según las Normas SUCS destaca una distinción entre suelos con un límite líquido mayor de 50, que son más plásticos y compresibles, y aquellos con un límite líquido menor de 50, que presentan mejor estabilidad y capacidad de carga. Estos hallazgos son cruciales para el balance hídrico de la cuenca, ya que los suelos con alta variabilidad en la infiltración pueden afectar la gestión de los recursos hídricos y la planificación agrícola. La comprensión detallada de estas características hidrológicas permitirá una gestión más eficiente del agua y una mejor evaluación de los riesgos de inundación en la región, facilitando el diseño de infraestructuras hidráulicas adecuadas y sostenibles.

Referencias Bibliográficas

- Bailón, M. (2022). Estimación de la tasa de infiltración de la parte alta de la cuenca del río Jipijapa para el balance hídrico. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Briones, E. (2021). Análisis hidrométrico de infiltración en la cuenca del río Jipijapa cantón Jipijapa. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Pincay, A. (2023). Análisis del balance hídrico de la cuenca del río Jipijapa parte alta, mediante la aplicación del modelo HEC-HMS.
- Ríos, N., Cárdenas, A. Y., Andrade, H., Ibrahim, M., Jiménez, F., Sancho, F., Ramírez, E., Reyes, B., & Woo, A. (2007). Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería En Las Américas*, 45, 66–71. <https://acortar.link/wmaIXI>
- SENAGUA, S. N. (2019). Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019-2027. Secretaría Del Agua, 84.

Conclusiones Generales

Este compendio de investigaciones, fruto del esfuerzo de los estudiantes de la Maestría en Planificación de Infraestructura de Obras Civiles de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, representa una valiosa contribución al campo de la ingeniería civil. A través de una amplia gama de estudios, se han explorado y analizado diversas temáticas que abordan los desafíos y oportunidades más relevantes en la actualidad.

La adopción de tecnologías avanzadas como BIM e IA se ha consolidado como un pilar fundamental para la optimización de procesos en la industria de la construcción. Estas herramientas no solo mejoran la eficiencia y precisión en la entrega de proyectos, sino que también contribuyen a la sostenibilidad y reducción de costos.

La sostenibilidad se ha posicionado como un eje transversal en todas las investigaciones presentadas. Se han explorado soluciones innovadoras para la construcción de viviendas autosustentables, el uso de materiales reciclados y la mitigación del impacto ambiental en infraestructuras viales. Estos estudios demuestran el compromiso de la comunidad académica con la búsqueda de prácticas más responsables y respetuosas con el medio ambiente.

La evaluación y el reforzamiento de estructuras existentes, así como la gestión eficiente de residuos sólidos, son aspectos cruciales para garantizar la seguridad y durabilidad de las infraestructuras. Las investigaciones presentadas en este compendio ofrecen valiosas perspectivas sobre innovaciones en modelos avanzados para la evaluación de la resistencia estructural, el reforzamiento de vigas de hormigón armado y la eficiencia en rellenos sanitarios.

La planificación y gestión de infraestructuras se han abordado desde una perspectiva integral, considerando aspectos como el diseño geométrico de vías, la revisión de normativas de construcción, la planificación estratégica en gobiernos autónomos descentralizados y la valuación de la susceptibilidad a la licuación de suelos. Estos estudios resaltan la importancia de una planificación adecuada para el desarrollo de infraestructuras resilientes y adaptadas a las necesidades de la sociedad.

La gestión de recursos hídricos se ha destacado como un tema de gran relevancia, abordando aspectos como la funcionalidad y construcción de PTAR, el análisis comparativo de sistemas de tratamiento de aguas residuales y los avances tecnológicos en sistemas hidrosanitarios. Estos estudios subrayan la importancia de una gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos para garantizar el bienestar de las comunidades y la protección del medio ambiente.

Este compendio de investigaciones representa un valioso aporte al conocimiento en el campo de la ingeniería civil. Los estudios presentados ofrecen perspectivas innovadoras y soluciones prácticas para los desafíos que enfrenta la industria en la actualidad. Se espera que esta obra sirva de inspiración y guía para futuras generaciones de ingenieros civiles, contribuyendo al desarrollo de infraestructuras más eficientes, sostenibles y resilientes.

DESARROLLANDO COMPETENCIAS PARA EL SIGLO XXI:

TOMO: PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
FÍSICA DE OBRAS CIVILES



Publicado en Ecuador
Enero 2025

Edición realizada desde el mes de Octubre del 2024 hasta
enero del año 2025, en los talleres Editoriales de MAWIL
publicaciones impresas y digitales de la ciudad de Quito.

Quito – Ecuador

Tiraje 30, Ejemplares, A5, 4 colores; Offset MBO
Tipografía: Helvetica LT Std; Bebas Neue; Times New Roman.
Portada: Collage de figuras representadas y citadas en el libro.