



CATÁLOGO

DE TECNOLOGÍAS Y MATERIALES PARA LA
CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

BASADA EN LA RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS TESIS
DESARROLLADAS EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE
LA USTA VILLAVICENCIO.



ALFONSINA BOCANEGRA GÓMEZ
ÁNGEL ARTURO RINCÓN SUÁREZ
HARLEY RODRIGO SANTOYO SANABRIA

Contenido

Introducción.....	15
CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS	16
Resumen	17
Introducción.....	18
Metodología.....	19
1. Innovación en concreto: refuerzo con macrofibra de polipropileno.....	22
1.1. Resultados.....	23
1.2. Análisis e interpretación de resultados	25
2. Botellas PET en sistemas no estructurales de construcción	26
2.1. Resultados.....	27
2.2. Análisis e interpretación de resultados	28
3. Puente Peatonal en Guadua como Solución Sostenible	29
3.1. Resultados.....	30
3.2. Análisis e interpretación de resultados	31
4. Concreto sostenible con adición de vidrio reciclado	32
4.1. Resultados.....	33
4.2. Análisis e interpretación de resultados	34
5. Concreto sostenible reforzado con ceniza de cascarilla de arroz	36

CATÁLOGO DE TECNOLOGÍAS Y MATERIALES SOSTENIBLES

5.1. Resultados.....	37
5.2. Análisis e interpretación de resultados	38
6. Concreto sostenible con ceniza de cascarilla de arroz.....	40
6.1. Resultados.....	41
6.2. Análisis e interpretación de resultados	42
7. Eco-Construcción: Tetra Pak, PET y Llantas	44
7.1. Resultados.....	46
7.2. Análisis e interpretación de resultados	48
8. Elementos estructurales sostenibles con botellas PET rellenas de arena.....	49
8.1. Resultados.....	50
8.2. Análisis e interpretación de resultados	50
9. Materiales cementantes sostenibles en pastas de cemento.....	52
9.1. Resultados.....	53
9.2. Análisis e interpretación de resultados	54
10. Concreto ecológico reforzado con cascarilla de arroz carbonatada.....	56
10.1. Resultados.....	57
10.2. Análisis e interpretación de resultados	58
11. Cemento sostenible a partir de cenizas de aceituna y cascarilla de arroz	60

CATÁLOGO DE TECNOLOGÍAS Y MATERIALES SOSTENIBLES

11.1. Resultados.....	60
11.2. Análisis e interpretación de resultados	61
12. Construcción sostenible con Guadua angustifolia	63
12.1. Resultados.....	64
12.2. Análisis e interpretación de resultados	65
13. Concreto sostenible con llantas recicladas	66
13.1. Resultados.....	67
13.2. Análisis e interpretación de resultados	68
14. Concreto sostenible con cuesco y RCD	70
14.1. Resultados.....	71
14.2. Análisis e interpretación de resultados	72
15. PET reciclado en concreto: alternativa sostenible	73
15.1. Resultados.....	74
15.2. Análisis e interpretación de resultados	76
16. Evaluación del concreto con plástico reciclado en perlas y fibras de acero	77
16.1. Resultados.....	77
16.2. Análisis e interpretación de resultados	79
Referencias	80
CAPÍTULO 2: SUELOS	84

CATÁLOGO DE TECNOLOGÍAS Y MATERIALES SOSTENIBLES

Resumen	85
Introducción.....	86
Metodología.....	88
17. Mejoramiento de suelos con poliestireno expandido reciclado para pavimentos sostenibles.....	90
17.1. Resultados.....	91
17.2. Análisis e interpretación de resultados	92
18. Bioingeniería sostenible para la estabilización de taludes con Vetiver y micorrizas	94
18.1. Resultados.....	95
18.2. Análisis e interpretación de resultados	97
19. Evaluación de las propiedades mecánicas y cumplimiento normativo de los materiales MERI en concreto	98
19.1. Resultados.....	99
19.2. Análisis e interpretación de resultados	102
Referencias	104
CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE.....	105
Resumen	106
Introducción.....	108
Metodología.....	110

CATÁLOGO DE TECNOLOGÍAS Y MATERIALES SOSTENIBLES

20. Materiales MERI provenientes de excavación de túneles: caracterización y aplicaciones en obras viales.....	113
20.1. Resultados.....	115
20.2. Análisis e interpretación de resultados	116
21. Asfalto sostenible 60/70 modificado con residuos de polietileno de alta densidad (D-PEAD)	118
21.1. Resultados.....	119
21.2. Análisis e interpretación de resultados	120
22. Análisis del comportamiento físico de un ligante asfáltico 60/70 modificado con grano de caucho reciclado (GCR) y nanoarcilla para pavimentos de ingeniería civil sostenible	122
22.1. Resultados.....	124
22.2. Análisis e interpretación de resultados	125
23. Cenizas de biosólidos de PTAR como solución sostenible en mezclas asfálticas.	126
23.1. Resultados.....	127
23.2. Análisis e interpretación de resultados	129
24. Uso de nylon y ceniza volante en mezclas asfálticas.....	130
24.1. Resultados.....	131
24.2. Análisis e interpretación de resultados	133
25. Pavimentos sostenibles con materiales reciclados (RAP y GCR)	134

CATÁLOGO DE TECNOLOGÍAS Y MATERIALES SOSTENIBLES

25.1. Resultados.....	135
25.2. Análisis e interpretación de resultados	135
26. Mezcla asfáltica con vidrio templado molido (VTM)	137
26.1. Resultados.....	138
26.2. Análisis e interpretación de resultados	142
27. Mezcla asfáltica con vidrio templado molido (VTM) 2.0.....	143
27.1. Resultados.....	144
27.2. Análisis e interpretación de resultados	146
28. Materiales alternativos y sostenibles para la construcción de terraplenes aligerados	147
28.1. Resultados.....	147
28.2. Análisis e interpretación de resultados	150
29. Residuos de Concreto (RCD) en Subrasantes de Pavimentos.....	152
29.1. Resultados.....	152
29.2. Análisis e interpretación de resultados	156
30. Mezclas Asfálticas con Polímeros en Colombia.....	158
30.1. Resultados.....	159
30.2. Análisis e interpretación de resultados	161
Referencias	163

CATÁLOGO DE TECNOLOGÍAS Y MATERIALES SOSTENIBLES

CAPÍTULO 4: AGUAS	166
Resumen	167
Introducción.....	168
Metodología.....	169
31. Evaluación de la eficiencia de humedales construidos con especies de la toпочera llanera para el tratamiento de aguas residuales.....	171
31.1. Resultados.....	172
31.2. Análisis e interpretación de resultados	173
32. Tratamiento de aguas superficiales mediante biofiltros.....	175
32.1. Resultados.....	176
32.2. Análisis e interpretación de resultados	178
33. Diseño estructural e hidráulico de cubierta verde con aprovechamiento de aguas lluvias en la Universidad Santo Tomás, sede Aguas Claras.	180
33.1. Resultados.....	181
33.2. Análisis e interpretación de resultados	181
34. Diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para el Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, Villavicencio.....	183
34.1. Resultados.....	184
34.2. Análisis e interpretación de resultados	184
35. Diseño hidráulico de un sistema de captación, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias en el Campus Loma Linda de la Universidad Santo Tomás, Villavicencio.....	186

CATÁLOGO DE TECNOLOGÍAS Y MATERIALES SOSTENIBLES

35.1. Resultados.....	187
35.2. Análisis e interpretación de resultados	187
36. Viabilidad técnica de zonas de biorretención con geotextiles y polímeros reciclados en el tramo Chimita–la cemento	189
36.1. Resultados.....	190
36.2. Análisis e interpretación de resultados	191
Referencias	192
CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD.....	194
Resumen	195
Introducción.....	196
Metodología.....	198
37. Llantas recicladas en ingeniería civil.....	201
37.1. Análisis e interpretación de resultados	202
38. Poliestireno expandido (EPS) y cenizas de lodo en ingeniería civil.....	203
38.1. Resultados.....	204
38.2. Análisis e interpretación de resultados	205
39. Plan de Manejo Ambiental (PMA) en proyectos de infraestructura.....	206
39.1. Análisis e interpretación de resultados	207
40. Concreto reciclado con fibras de acero para aplicaciones constructivas	208
40.1. Resultados.....	209

CATÁLOGO DE TECNOLOGÍAS Y MATERIALES SOSTENIBLES

40.2. Análisis e interpretación de resultados	210
41. Cuesco de la palma de aceite africana en la ingeniería civil	211
41.1. Resultados.....	211
41.2. Análisis e interpretación de resultados	213
42. Llantas recicladas en ingeniería civil 2.0	214
42.1. Análisis e interpretación de resultados	215
43. Baño seco como solución sostenible: uso de materiales orgánicos y reutilizables en el saneamiento rural	216
43.1. Análisis e interpretación de resultados	217
44. Ladrillos de cáñamo vs. arcilla: una alternativa sostenible en la construcción	218
44.1. Resultados.....	220
44.2. Análisis e interpretación de resultados	222
45. Aplicaciones geotécnicas sostenibles en la estabilización de suelos para infraestructura vial	223
45.1. Resultados.....	227
45.2. Análisis e interpretación de resultados	232
46. Biosólidos de PTAR como material alternativo en la construcción civil.....	235
46.1. Resultados.....	238
46.2. Análisis e interpretación de resultados	240

CATÁLOGO DE TECNOLOGÍAS Y MATERIALES SOSTENIBLES

Referencias	242
Conclusiones.....	244

Lista de figuras

Figura 1.....	22
Figura 2	26
Figura 3	29
Figura 4.....	32
Figura 5.....	36
Figura 6.....	40
Figura 7.....	44
Figura 8.....	45
Figura 9.....	45
Figura 10.....	49
Figura 11.....	52
Figura 12.....	56
Figura 13.....	63
Figura 14.....	66
Figura 15.....	70
Figura 16.....	73
Figura 17.....	77
Figura 18.....	90
Figura 19.....	94
Figura 20.....	98
Figura 21.....	114
Figura 22.....	118

CATÁLOGO DE TECNOLOGÍAS Y MATERIALES SOSTENIBLES

Figura 23.....	123
Figura 24.....	126
Figura 25.....	130
Figura 26.....	134
Figura 27.....	137
Figura 28.....	143
Figura 29.....	158
Figura 30.....	171
Figura 31.....	175
Figura 32.....	180
Figura 33.....	183
Figura 34.....	186
Figura 35.....	189
Figura 36.....	201
Figura 37.....	203
Figura 38.....	206
Figura 39.....	208
Figura 40.....	214
Figura 41.....	216
Figura 42.....	217
Figura 43.....	218
Figura 44.....	219
Figura 45.....	223

CATÁLOGO DE TECNOLOGÍAS Y MATERIALES SOSTENIBLES

Figura 46.....	224
Figura 47.....	225
Figura 48.....	226
Figura 49.....	235
Figura 50.....	235
Figura 51.....	236
Figura 52.....	236
Figura 53.....	237

Introducción

El presente catálogo contiene una recopilación y análisis de tecnologías y materiales aplicados a la construcción sostenible, a partir de trabajos de grado desarrollados en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio. Su contenido se organiza en cinco capítulos: CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS, CAPÍTULO 2: SUELOS, CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE, CAPÍTULO 4: AGUAS y CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD, permitiendo identificar aportes, enfoques y soluciones relacionadas con el desarrollo de obras civiles más eficientes, responsables y acordes con las necesidades actuales del sector.

De igual manera, se invita a la comunidad académica tomasina a aprovechar los recursos disponibles en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la Universidad Santo Tomás, Seccional Villavicencio, como un espacio fundamental para el acceso a información confiable para el fortalecimiento de los procesos de investigación y el desarrollo de propuestas que aporten al avance de la ingeniería civil.



CAPÍTULO 1:
ESTRUCTURAS

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Resumen

En el presente capítulo son presentados 16 trabajos de grado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, seleccionados a partir de 378 investigaciones disponibles en la biblioteca virtual CRAI. La selección fue realizada según su relación con el enfoque de estructuras, con énfasis en el uso de materiales no convencionales y el análisis de su comportamiento en elementos estructurales.

A partir de estos estudios, es evidenciada una tendencia hacia la innovación en el diseño y la construcción estructural, especialmente mediante la incorporación de materiales alternativos y reciclados. Se destaca el uso de insumos como fibras sintéticas, residuos plásticos, vidrio molido, cenizas y otros subproductos, cuya aplicabilidad ha sido evaluada a través de ensayos experimentales enfocados en propiedades físico-mecánicas, principalmente la resistencia, durabilidad y comportamiento estructural.

En el capítulo son incluidos tanto estudios experimentales como investigaciones de carácter analítico. Por una parte, son presentados trabajos enfocados en la modificación de mezclas de concreto y el desarrollo de nuevos materiales, evaluando su desempeño frente a condiciones específicas. Por otra, son considerados análisis comparativos que permiten establecer diferencias entre materiales convencionales y alternativas innovadoras, aportando criterios técnicos para su implementación.

En conjunto, son identificadas diversas alternativas con potencial de aplicación en el campo estructural, las cuales permiten no solo mejorar el desempeño de los elementos constructivos, sino también promover el aprovechamiento de residuos y el desarrollo de prácticas más sostenibles dentro de la ingeniería civil.

Palabras claves. Ingeniería civil, estructuras, materiales no convencionales, PET reciclado, guadua angustifolia, vidrio molido, ceniza de cascarilla de arroz (CCA), cenizas volantes, materiales cementantes suplementarios, residuos de construcción y demolición (RCD), polímeros reciclados, fibras sintéticas.

Introducción

En la ingeniería civil, el desarrollo de sistemas estructurales ha estado tradicionalmente ligado al uso de materiales convencionales como el concreto y el acero, lo que ha generado diversas problemáticas asociadas al alto consumo de recursos naturales, el incremento en los costos de construcción y el limitado aprovechamiento de residuos sólidos. Asimismo, han sido evidenciadas dificultades relacionadas con el desempeño de los materiales, especialmente en términos de resistencia, durabilidad y comportamiento estructural bajo diferentes condiciones.

Frente a estas problemáticas, ha sido reconocida la necesidad de explorar alternativas que permitan optimizar las propiedades de los materiales y, al mismo tiempo, reducir el impacto ambiental de la construcción. En este sentido, ha sido justificado el estudio de materiales no convencionales como una estrategia viable para mejorar el rendimiento de los elementos estructurales y fomentar el aprovechamiento de residuos provenientes de diversas fuentes.

A partir de ello, han sido desarrolladas investigaciones orientadas a la incorporación de materiales reciclados, subproductos industriales y refuerzos innovadores, con el fin de evaluar su comportamiento y viabilidad en aplicaciones estructurales. Estas iniciativas responden no solo a necesidades técnicas, sino también a criterios de sostenibilidad y eficiencia en el uso de los recursos.

De esta manera, el análisis de estos estudios permite sustentar la importancia de continuar investigando y aplicando materiales alternativos en la ingeniería civil, como una respuesta integral a las problemáticas actuales del sector estructural.

Metodología

En los trabajos de grado analizados ha sido empleada principalmente una metodología experimental, en la cual fueron evaluados materiales convencionales y no convencionales mediante la elaboración de probetas y la aplicación de ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades físico-mecánicas. Asimismo, fueron realizados análisis comparativos con materiales tradicionales y, en algunos casos, revisiones bibliográficas, con el fin de establecer la viabilidad técnica de estos materiales en aplicaciones estructurales.

En la siguiente tabla se presentan los trabajos de grado seleccionados que hacen parte del capítulo de suelos, los cuales abordan diferentes enfoques relacionados con la caracterización, mejoramiento y comportamiento geotécnico del suelo.

Tabla 1

Tesis del capítulo de estructuras.

No.	Nombres y Apellidos Estudiante	Título del Proyecto	Enlace
1	Ana Milena Rivera Ardila	Análisis y evaluación de las propiedades mecánicas en placa prefabricada de concreto con refuerzo en macrofibras de polipropileno	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/693fb6b8-8eff-47cc-bb26-5f3b6a30f91d/content
2	Diego Alejandro Chávez y Dayan Smith Londoño Ángel	Diseño de casetones y muros no estructurales con botellas pet para construcciones en obras civiles	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/be14e08c-752c-49ef-b53b-669c071f3445/content
3	Daniel Felipe Herrera Ramos Y Jorge Yesid Torres Espitia	Proyecto de aplicación en temas de ingeniería civil diseño de puente peatonal en material vegetal, carrera 22 sector aguas claras para la universidad Santo Tomás Villavicencio	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/2ce03180-d738-4ff2-9b4d-602fe9847c6e/content
4	Carlos Andrés Amaya Meléndez Y Marilyn Natalia Araque Fetecua	Estudio de las propiedades físico-mecánicas del concreto con incorporación de vidrio molido y análisis comparativo a partir de	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/c9b3a9c8-8152-4c93-9338-ddf4b57df332/content

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

No.	Nombres y Apellidos Estudiante	Título del Proyecto	Enlace
		concreto con fibra de acero y concreto convencional	
5	María José Leguizamón Álvarez Y María Alejandra Beltrán Vanegas	Estudio de las propiedades mecánicas que presenta el concreto geopolímero a base de ceniza de cascarilla de arroz producida en el departamento del meta, y reforzado con fibras de acero	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/f44fd5c1-6982-4fd0-a944-46082f450234/content
6	Anyi Marcela Rodríguez Sánchez Y María Paula Tibabuzo Jiménez	Evaluación de la ceniza de cascarilla de arroz como suplemento al cemento en mezclas de concreto hidráulico	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/8b4a222a-6fb7-47a8-8f7d-7c14bdaaf76c/content
7	Sofy Alejandra Velásquez Barajas	Análisis físico-mecánico, propiedades y uso de materiales reciclables para la construcción de viviendas en Villavicencio	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/59d30f60-2fa7-4a24-a0c5-5a04f3c46bcb/content
8	Jeisson David Penagos Suarez	Calibración mediante el método de elementos finitos de elementos estructurales conformados por botellas rellenas de arena y reforzadas con acero corrugado en el software ANSYS	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/ff7208cd-a0fb-4391-9fd3-9a171e53532f/content
9	Juan David Valdés Uribe	Desempeño de materiales cementantes suplementarios en resistencia a compresión e hidratación en pastas de cemento	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/78b712bc-e70f-42e8-81c7-c2d3a606a664/content
10	Andrés Orlando Bacca Tapiero Y Daniel Arturo Vélez González	Efecto de la fibra de arroz carbonatada en las propiedades mecánicas y físicas del concreto	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/2ab834d2-fe67-43b4-b99c-43b81f7fe6e1/content
11	Jesica Mariana Gómez Godoy	Estado del arte de la inclusión de residuos orgánicos para la creación de una mezcla de cemento que implemente la economía circular.	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/44455e85-9471-45e0-bb42-7db6bf4ee0ff/content

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

No.	Nombres y Apellidos Estudiante	Título del Proyecto	Enlace
12	Henry Alejandro Unda Ladino Y David Santiago Poveda Sánchez	Estudio comparativo de las propiedades físico-mecánicas de un concreto convencional y modificado a partir del agregado grueso con 3 tipos de ladrillos y un retardante reductor de agua como aditivo	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/211363d9-feeb-4f1a-a2fa-c0d40b621c19/content
13	Juliana Paola Vásquez Usquiano	Estudio de comportamiento de un diseño de mezcla de concreto con adición de material reciclado de llantas.	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/5d169f00-ff13-4a8b-afd3-ec4384e2a048/content
14	Brayan Edilson García Velásquez Y Luis Miguel Díaz Morales	Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto utilizando el cuesco proveniente de los residuos de fruto fresco de la palma africana y el concreto de residuos de construcción y demolición en obras civiles (RCD)	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/bd4d2375-d148-4a6a-8152-f06a0da09394/content
15	Madelein Natalia Sanabria Rojas	Evaluación de las propiedades físico – mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/104f0dfc-5041-41e4-aca3-36c71d7676be/content
16	Nicolás Pérez Villarraga Y Lina Marcela Molano González	Estudio de plástico reciclado como agregado en la elaboración de concreto con fibras de acero	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/2c12aee2-b38c-41b7-9578-2ea8729d4beb/content

Nota. Elaborado por el autor.

A continuación, se desarrolla cada una de las tesis presentadas, incluyendo su procedimiento técnico, los resultados obtenidos y un breve análisis de estos.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

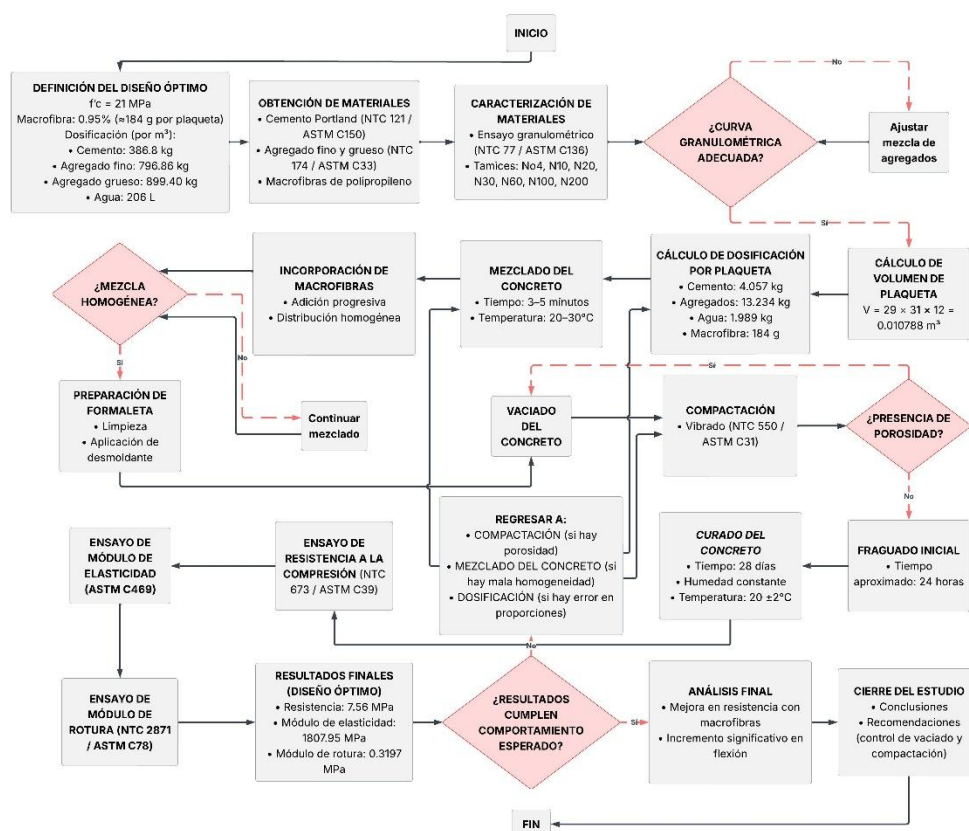
1. Innovación en concreto: refuerzo con macrofibra de polipropileno

Por: Ana Milena Rivera Ardila

2020

Figura 1

Diagrama de flujo del proceso constructivo y evaluación mecánica de plaquetas con macrofibras de polipropileno.



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

1.1. Resultados

Tabla 2

Propiedades de los materiales.

Material	Característica principal	Referencia
Cemento Portland	Resistencia de diseño $f'_c = 21 \text{ MPa}$	Pág. 20
Agregado fino y grueso	Distribución granulométrica adecuada, sin afectar la mezcla	Pág. 20

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 3

Comparación mecánica.

Elemento	Esfuerzo (MPa)	Observación
Bloque convencional	9.14	Mayor resistencia
Plaqueta (DISEÑO ÓPTIMO – 0.95%)	6.778	Afectada por porosidad en fabricación

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 4

Módulo de elasticidad.

% Macrofibra	Módulo de elasticidad (MPa)
0%	1174.84
0.47%	1349.19

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

% Macrofibra	Módulo de elasticidad (MPa)
0.67%	1395.64
0.95% (DISEÑO ÓPTIMO)	1807.95

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 5

Módulo de rotura (flexión).

Tipo de elemento	% Macrofibra	Módulo de rotura (MPa)
Vigueta sin macrofibra	0%	0.1106
Vigueta con macrofibra	0.67%	0.3197

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 6

Análisis costo – beneficio

Ítem	Bloque convencional	Plaqueta con macrofibra
Cemento Portland	\$14.900	\$14.900
Agregados	\$20.000	\$20.000
Formaleta	\$195.000	\$45.000
Macrofibra de polipropileno	\$0	\$70.000
Costo total	\$299.900	\$149.900

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

1.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que las mezclas con adición de macrofibra de polipropileno presentaron mejoras en el módulo de elasticidad y en el comportamiento a flexión, alcanzándose el mejor desempeño con el diseño óptimo al 0.95% de macrofibra. Asimismo, se observó un incremento significativo en el módulo de rotura de las viguetas reforzadas respecto a las convencionales. Sin embargo, en la resistencia mecánica a compresión, el bloque convencional presentó un mejor comportamiento frente a la plaqueta con macrofibra, debido a la presencia de porosidad generada durante el proceso de fabricación.

Se concluye que la incorporación de macrofibra de polipropileno resultó favorable en términos de elasticidad, flexibilidad y reducción de costos de producción, evidenciándose una alternativa más económica frente al sistema convencional. No obstante, la disminución de la resistencia a compresión limita su aplicación en elementos estructurales que requieran mayores capacidades mecánicas. Por tanto, su uso podría ser considerado principalmente en elementos no estructurales y en futuras investigaciones orientadas al desarrollo de materiales sostenibles.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

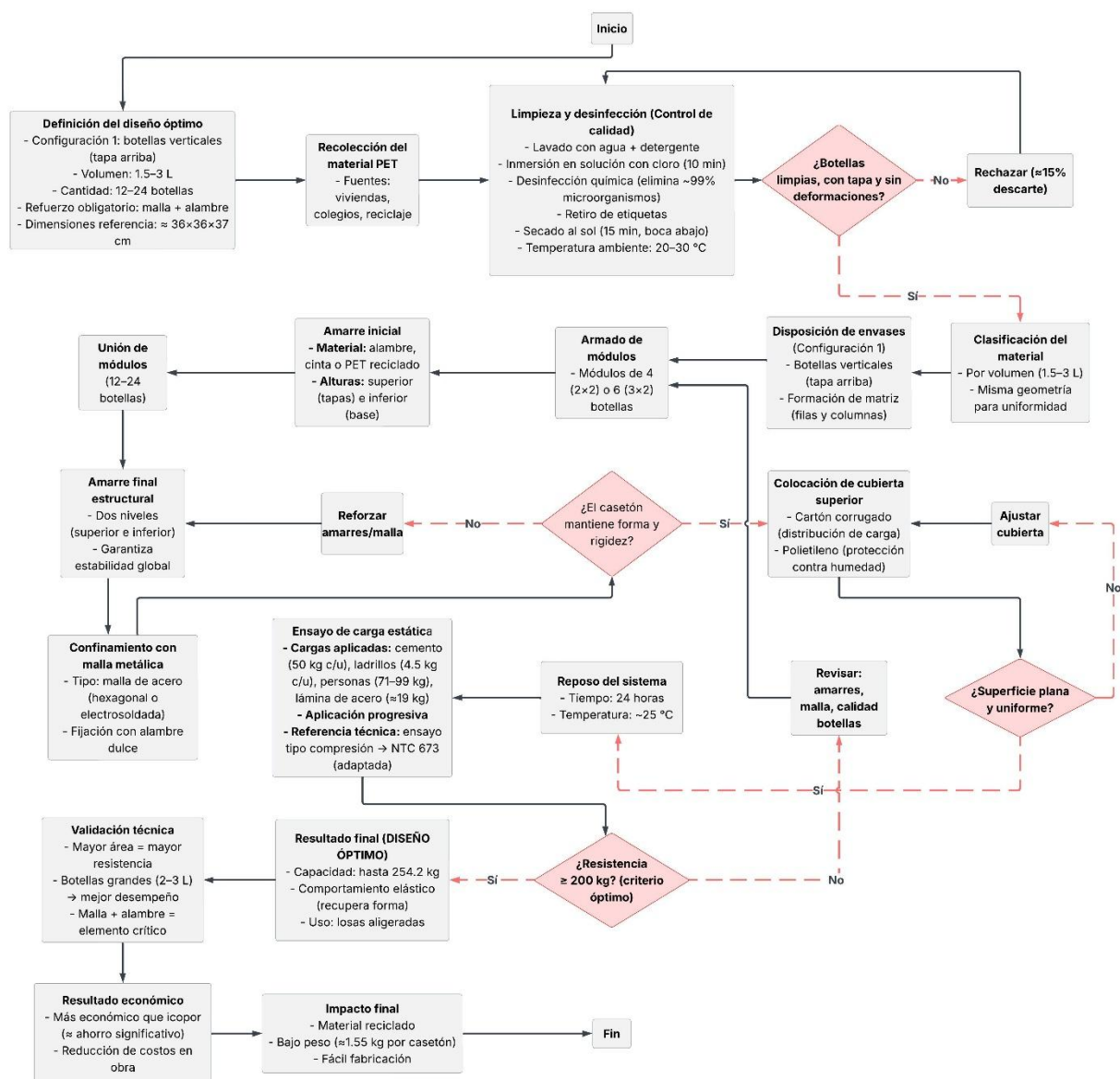
2. Botellas PET en sistemas no estructurales de construcción

Por: Diego Alejandro Chávez y Dayan Smith Londoño Ángel

2021

Figura 2

Diagrama de flujo del diseño óptimo de casetones en PET.



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

2.1. Resultados

Tabla 7

Resultados

Aspecto	Resultado clave
Capacidad de carga	Entre 155,2 kg y 254,2 kg en ensayos estáticos
Desempeño general	Todos los casetones superan 100 kg
Diseño óptimo	Botellas verticales (tapa arriba) – Configuración 1
Carga máxima	Hasta 254,2 kg
Influencia del volumen	Botellas de 1,5 a 3 L mejoran la resistencia
Cantidad de botellas	Mayor número = mejor distribución de cargas
Elemento clave	Malla metálica + alambre dulce dan rigidez
Muros no estructurales	Requieren malla en vena para adherencia del mortero
Costo vs icopor	Solo 0,2% más económico el icopor
Ahorro en obra	Hasta \$11.041.530 COP en 4 niveles
Comparación con guadua	PET es 247,1% más económico
Peso del sistema	Sistema liviano = facilita construcción
Impacto ambiental	Uso de material reciclado, económico y sostenible

Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

2.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que los casetones elaborados con botellas PET recicladas presentaron un comportamiento favorable en los ensayos de carga, alcanzándose capacidades entre 155,2 kg y 254,2 kg. Asimismo, se observó que todas las configuraciones superaron los 100 kg de resistencia, destacándose como diseño óptimo la disposición de botellas verticales con tapa hacia arriba. De igual manera, se determinó que el incremento en el volumen y la cantidad de botellas permitió una mejor distribución de cargas, mientras que la incorporación de malla metálica y alambre dulce aportó mayor rigidez al sistema.

Se concluye que el sistema constructivo con botellas PET recicladas representa una alternativa económica, liviana y sostenible frente a materiales tradicionales como el icopor y la guadua. Además, fueron evidenciados beneficios económicos importantes en proyectos de varios niveles, junto con un impacto ambiental positivo debido al aprovechamiento de material reciclado. No obstante, para aplicaciones en muros no estructurales, se requiere la implementación de malla en vena con el fin de garantizar una adecuada adherencia del mortero y un mejor desempeño constructivo.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

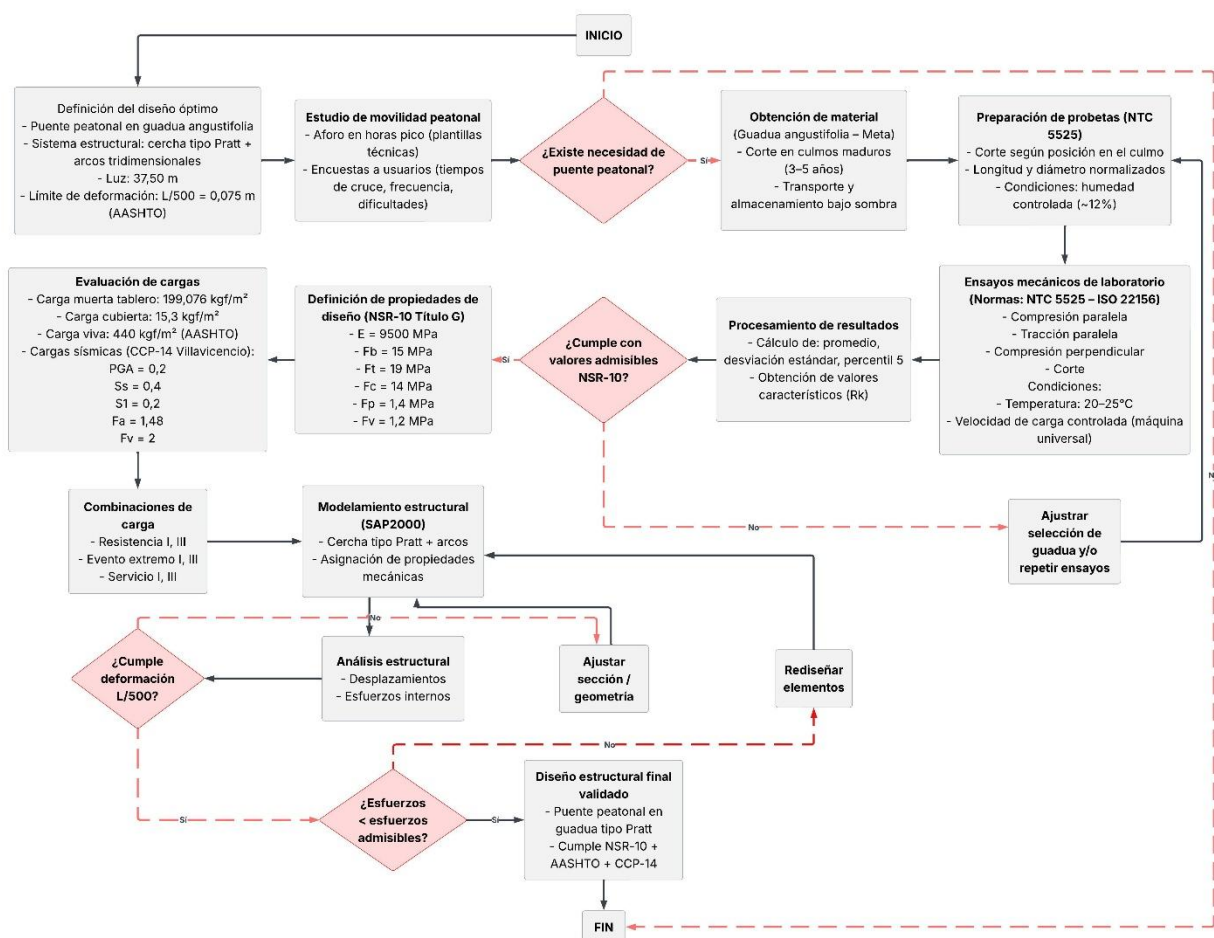
3. Puente Peatonal en Guadua como Solución Sostenible

Por: Daniel Felipe Herrera Ramos y Jorge Yesid Torres Espitia

2019

Figura 3

Procedimiento técnico para el diseño de puente peatonal sostenible en guadua



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

3.1. Resultados

Tabla 8

Parámetros del diseño estructural.

Parámetro	Valor	Norma / Referencia
Sistema estructural	Cercha tipo Pratt + arcos en guadua	Diseño adoptado
Material	Guadua angustifolia	NSR-10
Luz del puente	37,50 m	Diseño
Límite de deformación	0,075 m (L/500)	AASHTO
Módulo de elasticidad ($E_{0.5}$)	9500 MPa	NSR-10 Título G

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 9

Resultados mecánicos relevantes.

Propiedad	Valor característico (MPa)	Esfuerzo admisible (MPa)
Compresión paralela	15,378	8,543
Compresión perpendicular	6,18	2,86
Tracción paralela	32,31	5,385

Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Tabla 10*Verificación del diseño*

Criterio	Resultado
Cumplimiento de deformación (L/500)	Cumple
Cumplimiento de esfuerzos admisibles	Cumple
Cumplimiento sísmico	Cumple
Validación normativa	NSR-10 + AASHTO + CCP-14

Nota. Elaborado por el autor.

3.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que el diseño estructural del puente en guadua presentó un comportamiento adecuado frente a las condiciones de carga y deformación establecidas por la normativa. Se observó que la implementación de una cercha tipo Pratt combinada con arcos en guadua permitió cumplir con el límite de deformación permitido de L/500, garantizándose así la estabilidad y funcionalidad de la estructura. Asimismo, las propiedades mecánicas de la guadua angustifolia demostraron valores favorables en compresión y tracción, permitiendo que los esfuerzos admisibles fueran satisfechos dentro de los rangos establecidos.

Se concluye que el sistema estructural propuesto en guadua resulta viable para el diseño de puentes peatonales, debido a que fueron cumplidos los criterios de deformación, resistencia y desempeño sísmico exigidos por la NSR-10, AASHTO y CCP-14. Además, fue evidenciado que la guadua representa una alternativa estructural eficiente y sostenible, gracias a sus propiedades mecánicas y a su potencial como material de construcción de bajo impacto ambiental.

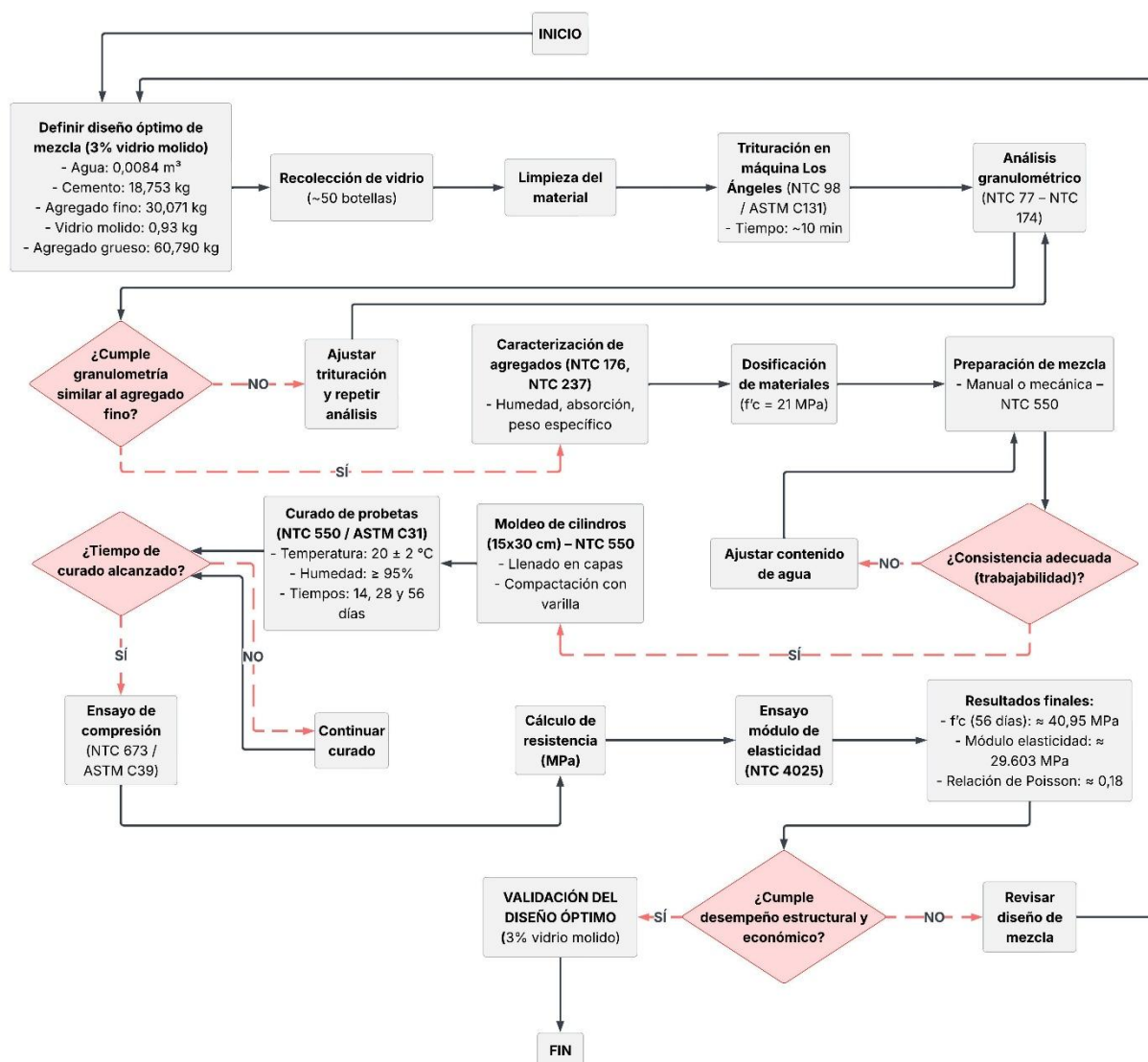
4. Concreto sostenible con adición de vidrio reciclado

Por: Carlos Andrés Amaya Meléndez y Marilyn Natalia Araque Fetecua

2020

Figura 4

Procedimiento técnico para la elaboración de concreto sostenible con 3% de vidrio molido.



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

4.1. Resultados

Tabla 11*Dosificación del diseño óptimo (3% vidrio molido).*

Material	Cantidad por lote
Agua	0,0084 m ³
Cemento	18,753 kg
Agregado fino (arena)	30,071 kg
Vidrio molido	0,9300 kg
Agregado grueso (grava)	60,790 kg

Nota. Elaborado por el autor.**Tabla 12***Resistencia a la compresión promedio.*

Edad (días)	Concreto convencional (MPa)	Concreto con 3% vidrio molido (MPa)
14 días	14,73	17,35
28 días	29,45	35,96
56 días	38,84	40,95

Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Tabla 13*Módulo de elasticidad (56 días).*

Tipo de mezcla	Módulo de elasticidad (MPa)
Convencional	24.314,31
Fibra de acero	22.440,59
3% vidrio molido	29.603,07
5% vidrio molido	31.180,43
8% vidrio molido	24.437,36

Nota. Elaborado por el autor.**Tabla 14***Relación de Poisson (56 días).*

Tipo de mezcla	Deformación horizontal (mm)	Deformación vertical (mm)	Relación E_h/E_v
Convencional	0,001	0,00528	0,1893
3% vidrio molido	0,001	0,00549	0,1821

Nota. Elaborado por el autor.**4.2. Análisis e interpretación de resultados**

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que la incorporación de vidrio molido al 3% en la mezcla de concreto permitió mejorar el comportamiento mecánico respecto al concreto convencional, especialmente en la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad. Se observó un incremento progresivo de la resistencia a edades de 14, 28 y 56 días, alcanzándose

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

valores superiores frente a la mezcla tradicional. Asimismo, fueron obtenidos mejores resultados en el módulo de elasticidad para las mezclas con 3% y 5% de vidrio molido, mientras que la relación de Poisson presentó un comportamiento similar al concreto convencional, indicando estabilidad en la deformación del material.

Se concluye que la mezcla con 3% de vidrio molido sí resulta viable para aplicaciones estructurales, debido a que fueron alcanzadas resistencias superiores a las del concreto convencional y se evidenció un mejor desempeño mecánico general. Además, el aprovechamiento de residuos de vidrio aporta beneficios ambientales y sostenibles dentro del sector de la construcción. Sin embargo, se determinó que porcentajes mayores de sustitución, como el 8%, no generan mejoras significativas en las propiedades mecánicas, por lo que el contenido de vidrio molido debe mantenerse dentro de rangos óptimos para garantizar un adecuado desempeño del concreto.

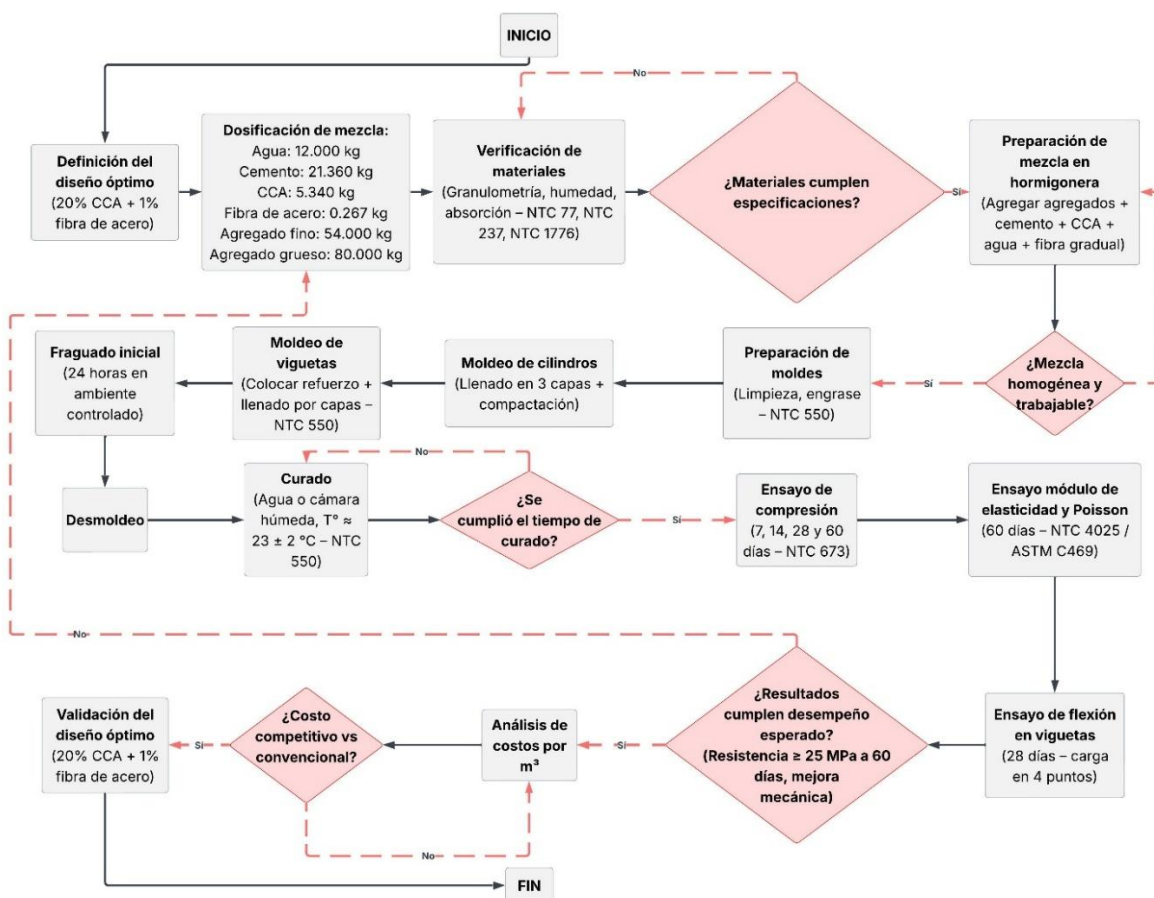
5. Concreto sostenible reforzado con ceniza de cascarilla de arroz

Por: María José Leguizamón Álvarez y María Alejandra Beltrán Vanegas
2019

Nota: En las dosificaciones presentadas, los valores numéricos utilizan el punto como separador decimal y no como separador de miles, conforme a la notación empleada por los autores en el trabajo de grado. Por lo tanto, valores como “12.000kg” deben interpretarse como 12.0 kg. No obstante, se recomienda al lector validar esta interpretación en función del contexto técnico de la mezcla.

Figura 5

Procedimiento técnico para la elaboración de concreto sostenible con 20% CCA y 1% de fibra de acero.



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

5.1. Resultados

Tabla 15

Dosificación de mezcla (cilindros).

Material	Convencional	20% CCA + 1% Fibra
Agua (kg)	12.000	12.000
Cemento (kg)	26.700	21.360
CCA (kg)	-	5.340
Fibra de acero (kg)	-	0.267
Agregado fino (kg)	54.000	54.000
Agregado grueso (kg)	80.000	80.000

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 16

Propiedades mecánicas.

Propiedad	Convencional	20% CCA + 1% Fibra
Compresión 7 días (MPa)	11.70	6.00
Compresión 14 días (MPa)	14.62	8.43
Compresión 28 días (MPa)	21.83	15.85
Compresión 60 días (MPa)	24.60	25.93
Módulo de elasticidad (MPa)	21 812.24	23 717.39

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Propiedad	Convencional	20% CCA + 1% Fibra
Relación de Poisson	0.193	0.191
Módulo de rotura (MPa)	5.14	5.51

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 17

Costos de materiales.

Mezcla	Costo (COP/m ³)
Concreto convencional	505.000
20% CCA + 1% fibra de acero	505.580

Nota. Elaborado por el autor.

5.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que la mezcla con 20% de ceniza de cáscara de arroz (CCA) y 1% de fibra de acero presentó un comportamiento mecánico inferior al concreto convencional en las edades iniciales de curado, especialmente en la resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días. Sin embargo, a los 60 días fue alcanzada una resistencia superior a la del concreto tradicional, evidenciándose un mejor desarrollo mecánico a largo plazo. Asimismo, se observó un incremento en el módulo de elasticidad y en el módulo de rotura, indicando una mejora en la rigidez y en la capacidad de resistencia a flexión de la mezcla modificada.

Se concluye que la mezcla con 20% de CCA y 1% de fibra de acero sí resulta viable para aplicaciones estructurales, debido a que a edades avanzadas fueron alcanzadas resistencias superiores al concreto convencional y se evidenció un mejor comportamiento en propiedades como elasticidad y flexión. Además, el uso de ceniza de cáscara de arroz contribuye al aprovechamiento

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

de residuos agrícolas y al desarrollo de materiales más sostenibles. No obstante, debe considerarse que las bajas resistencias iniciales pueden limitar su utilización en obras que requieran una rápida ganancia de resistencia, y que el costo de producción presentó un ligero incremento frente al concreto convencional.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

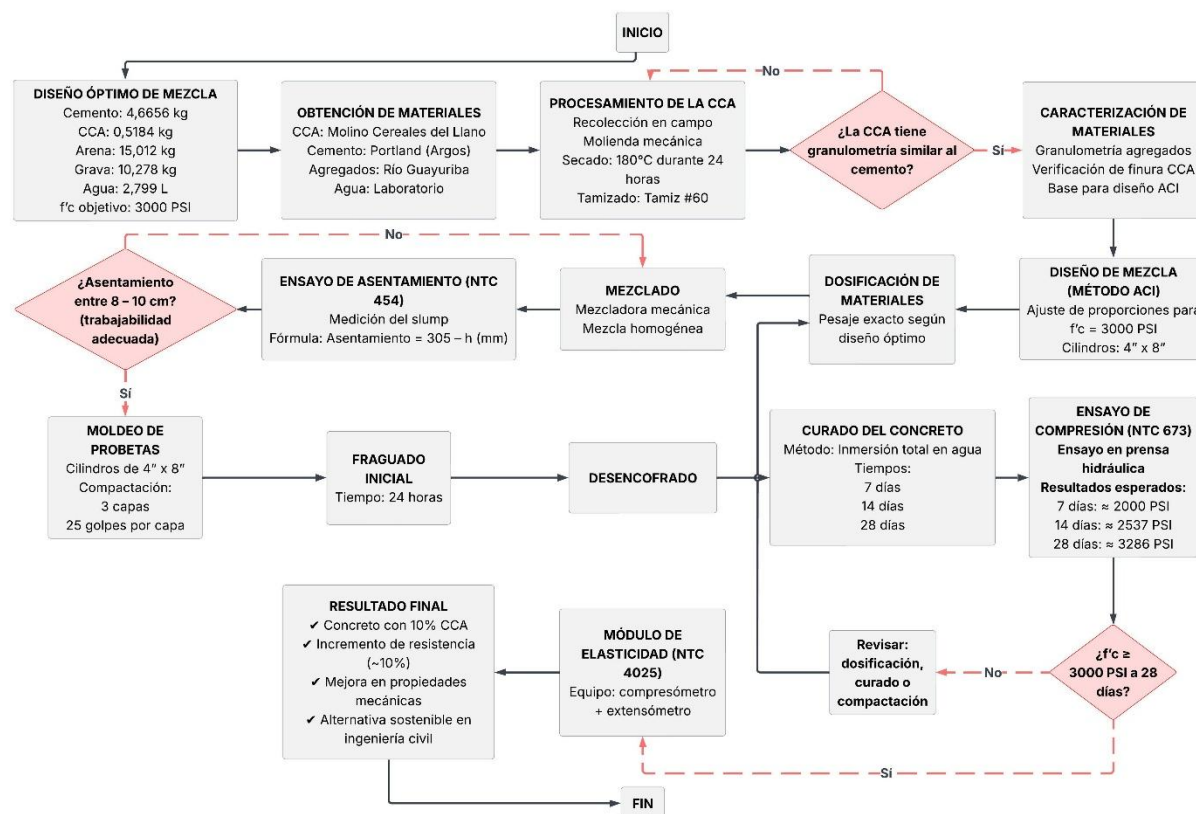
6. Concreto sostenible con ceniza de cascarilla de arroz

Por: Anyi Marcela Rodríguez Sánchez y María Paula Tibabuzo Jiménez
2019

El siguiente procedimiento describe de manera detallada la elaboración de concreto hidráulico con adición del 10% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) como material puzolánico, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas y aportar a la sostenibilidad en la ingeniería civil. Se presentan las etapas desde la preparación de materiales hasta los ensayos bajo normas técnicas colombianas, permitiendo replicar el proceso y obtener un concreto con mayor resistencia y desempeño.

Figura 6

Procedimiento técnico para la elaboración de concreto con 10% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA).



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

6.1. Resultados

Tabla 18

Diseño de mezcla (Patrón vs 10% CCA).

Material	Mezcla patrón (0% CCA)	Mezcla con 10% CCA
Cemento (kg)	5,184	4,6656
Ceniza CCA (kg)	0	0,5184
Arena (kg)	15,012	15,012
Grava (kg)	10,278	10,278
Agua (L)	2,799	2,799

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 19

Propiedades físicas y trabajabilidad.

Propiedad	Valor
Humedad CCA (%)	0,80
Densidad (g/cm ³)	3,44
Masa unitaria suelta (g/cm ³)	0,327
Masa unitaria compacta (g/cm ³)	0,399
% Vacíos sueltos	1,02

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Propiedad	Valor
% Vacíos compactos	0,95
Asentamiento patrón (cm)	10,16
Asentamiento 10% CCA (cm)	8,89

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 20

Propiedades mecánicas (comparación).

Propiedad / Edad	Patrón (0% CCA)	10% CCA
Resistencia 7 días (PSI)	1877	2000
Resistencia 14 días (PSI)	2488	2537
Resistencia 28 días (PSI)	3074	3286
Módulo de elasticidad	70329,13	802507

Nota. Elaborado por el autor.

6.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que la incorporación del 10% de ceniza de cáscara de arroz (CCA) en la mezcla de concreto permitió mejorar las propiedades mecánicas respecto a la mezcla patrón. Se observó un incremento en la resistencia a compresión a edades de 7, 14 y 28 días, alcanzándose valores superiores frente al concreto convencional. Asimismo, fue evidenciado un aumento significativo en el módulo de elasticidad, indicando una mayor rigidez y capacidad de resistencia del material. En cuanto a la trabajabilidad, se presentó una disminución

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

en el asentamiento de la mezcla con CCA, lo cual evidenció una reducción moderada en la fluidez del concreto.

Se concluye que la mezcla con 10% de CCA sí resulta viable para aplicaciones estructurales, debido a que fueron alcanzadas resistencias superiores al diseño patrón y se obtuvo un mejor comportamiento mecánico general. Además, el aprovechamiento de ceniza de cáscara de arroz contribuye al desarrollo de materiales sostenibles y al uso de residuos agroindustriales en la construcción. No obstante, debe considerarse que la reducción en la trabajabilidad puede requerir ajustes en el diseño de mezcla para garantizar un adecuado proceso constructivo.

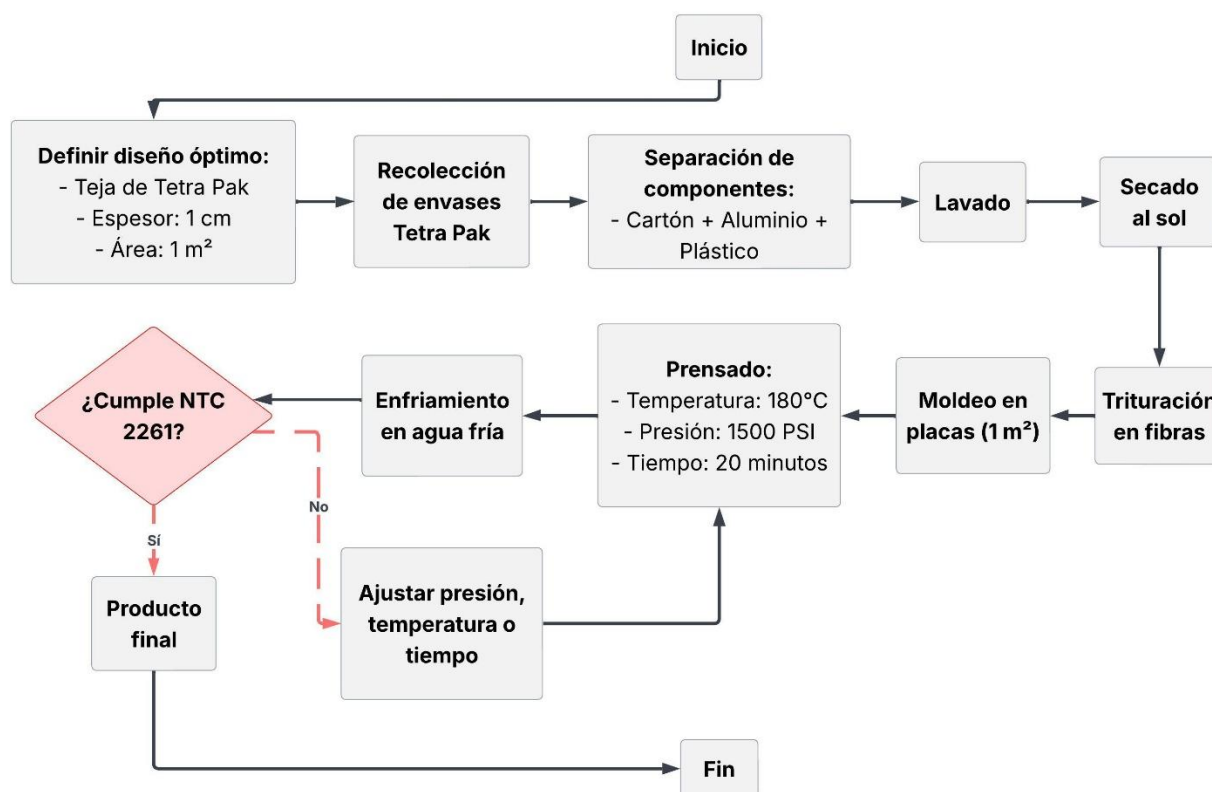
7. Eco-Construcción: Tetra Pak, PET y Llantas

*Por: Sofy Alejandra Velásquez Barajas
2024*

A continuación, son presentados tres diagramas de flujo relacionados con procesos de fabricación de materiales de construcción sostenibles a partir del aprovechamiento de residuos reciclados, enfocados en la elaboración de tejas con Tetra Pak reciclado, ladrillos con PET reciclado y pisos decorativos con llantas recicladas, debido a que cada alternativa constructiva requiere procedimientos y metodologías específicas según el material reutilizado y sus propiedades.

Figura 7

Diagrama de flujo del proceso de fabricación de tejas a partir de Tetra Pak reciclado.

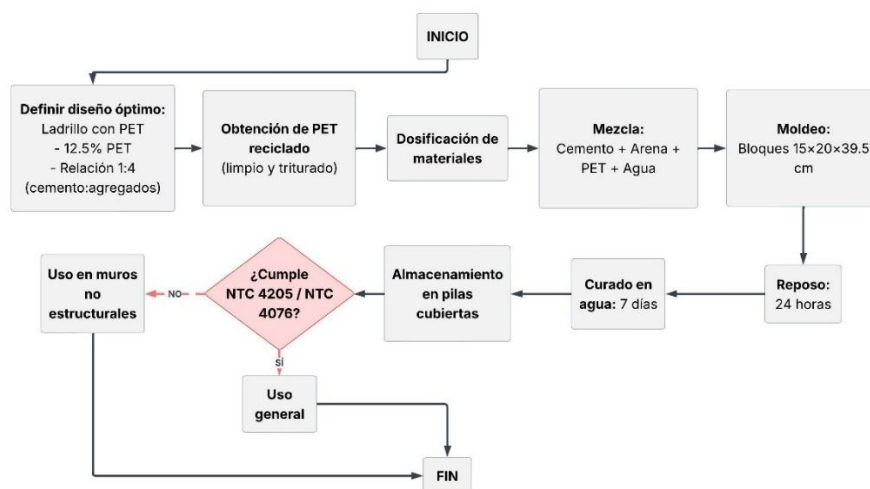


Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Figura 8

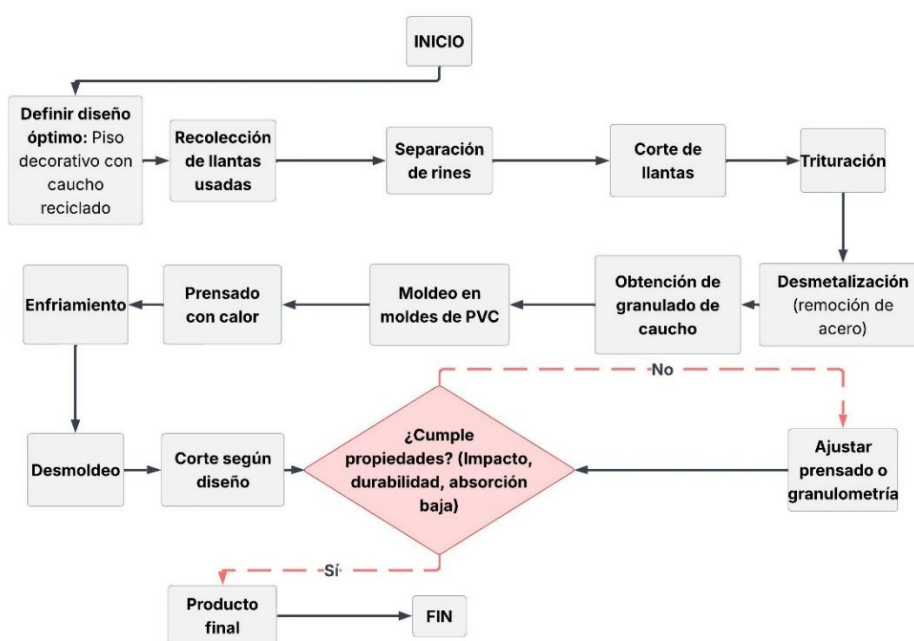
Diagrama de flujo del proceso de fabricación de ladrillos con PET reciclado.



Nota. Elaborado por el autor.

Figura 9

Diagrama de flujo del proceso de fabricación de pisos decorativos con llantas recicladas.



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

7.1. Resultados

Tabla 21*Resultados – tetra pak en tejas.*

Parámetro	Resultado / Especificación
Material	Cartón + aluminio + plástico (separados)
Preparación	Lavado, secado al sol, trituración en fibras
Moldeo	Placas de 1 m ²
Prensado	180°C – 1500 PSI – 20 minutos
Enfriamiento	Agua fría (aumenta dureza)
Espesor óptimo	1 cm
Cumplimiento	Cumple norma NTC 2261
Producto final	Tejas sostenibles

Nota. Elaborado por el autor.**Tabla 22***Resultados – PET en ladrillos*

Parámetro	Resultado / Especificación
Material	PET reciclado + cemento + arena + agua
Proporción óptima	12.5% PET
Relación de mezcla	1:4 (cemento: agregados)

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Parámetro	Resultado / Especificación
Moldeo	Bloques $15 \times 20 \times 39.5$ cm
Proceso inicial	Vertido en moldes
Curado	7 días en agua
Almacenamiento	Pilas cubiertas
Cumplimiento	No cumple resistencia estructural
Uso final	Muros no portantes

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 23

Resultados – llantas en pisos decorativos.

Parámetro	Resultado / Especificación
Material	Caucho reciclado de llantas
Preparación	Separar rines → cortar → triturar
Refinamiento	Desmetalización (eliminar acero)
Forma final	Granulado / arena de caucho
Moldeo	Moldes decorativos de PVC
Prensado	Con calor
Enfriamiento	Posterior al prensado

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Acabado	Desmoldeo y corte según diseño
Producto final	Pisos decorativos sostenibles

Nota. Elaborado por el autor.

7.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que el aprovechamiento de residuos reciclados como Tetra Pak, PET y llantas permitió desarrollar materiales alternativos con aplicaciones en el sector de la construcción. En el caso de las tejas fabricadas con Tetra Pak reciclado, fueron obtenidos resultados favorables en el proceso de prensado y conformación, lográndose un producto que cumple con la norma NTC 2261 y presenta características adecuadas para su uso como cubierta sostenible. Asimismo, los pisos decorativos elaborados con caucho reciclado de llantas mostraron un proceso eficiente de trituración, des metalización y moldeo, permitiendo la obtención de elementos decorativos sostenibles y de fácil fabricación.

Por otra parte, en los ladrillos elaborados con PET reciclado se observó que, aunque la proporción óptima del 12.5% permitió fabricar bloques funcionales y sostenibles, no fueron alcanzadas las resistencias necesarias para aplicaciones estructurales. Se concluye que las tejas de Tetra Pak y los pisos decorativos con llantas recicladas sí resultan viables para aplicaciones constructivas y decorativas, debido a que presentaron un adecuado desempeño y contribuyen al aprovechamiento de residuos sólidos. Sin embargo, los ladrillos con PET reciclado no resultan viables para uso estructural, por lo que su aplicación debe limitarse a muros no portantes y elementos no estructurales.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

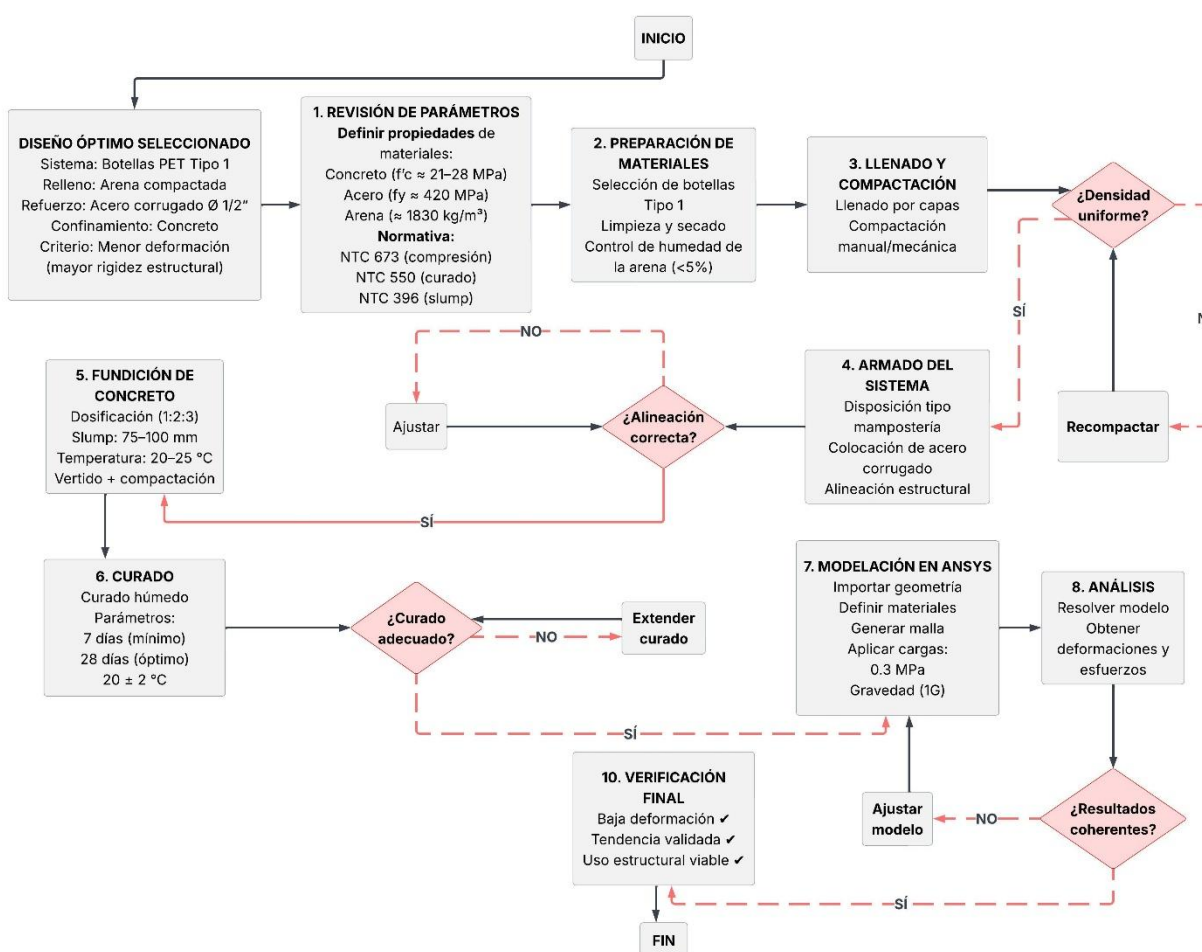
8. Elementos estructurales sostenibles con botellas PET rellenas de arena

Por: Jeisson David Penagos Suarez
2024

En el presente procedimiento técnico se describen las etapas necesarias para el diseño, construcción y validación de elementos estructurales sostenibles elaborados con botellas PET rellenas de arena y reforzadas con acero corrugado, integrando procesos constructivos y simulación numérica para garantizar su adecuado comportamiento estructural.

Figura 10

Diagrama de flujo del proceso constructivo y validación estructural con botellas PET.



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

8.1. Resultados

Tabla 24

Resultados.

Parámetro	Resultado Simulación (ANSYS)	Resultado Experimental	Análisis
Deformación máxima (mm)	0.032287	0.025	Menor deformación = mayor rigidez estructural
Esfuerzo máximo (MPa)	5.2519	3.519	Sobreestimación del modelo numérico
Diferencia en esfuerzos (%)	-	49.8%	Discrepancia moderada
Comportamiento estructural	Coherente con tendencia real	Validado experimentalmente	Modelo confiable
Evaluación del diseño	-	-	Diseño óptimo seleccionado

Nota. Elaborado por el autor.

8.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que el modelo estructural analizado mediante simulación numérica en ANSYS presentó un comportamiento coherente con los resultados experimentales, permitiendo validar la confiabilidad del diseño propuesto. Se observó que la deformación máxima experimental fue menor a la obtenida en la simulación, lo cual indicó una mayor rigidez estructural del elemento evaluado. Asimismo, fueron identificadas diferencias en los esfuerzos máximos entre el modelo numérico y el experimental, evidenciándose una sobreestimación moderada por parte de la simulación computacional.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Se concluye que el diseño evaluado sí resulta viable desde el punto de vista estructural, debido a que el comportamiento obtenido experimentalmente confirmó las tendencias previstas en el análisis numérico y permitió validar el modelo desarrollado. Además, fue seleccionado un diseño óptimo al presentar un desempeño adecuado en términos de deformación y resistencia. No obstante, la discrepancia observada entre los esfuerzos simulados y experimentales indica que el modelo numérico puede requerir ajustes adicionales para mejorar la precisión de los resultados.

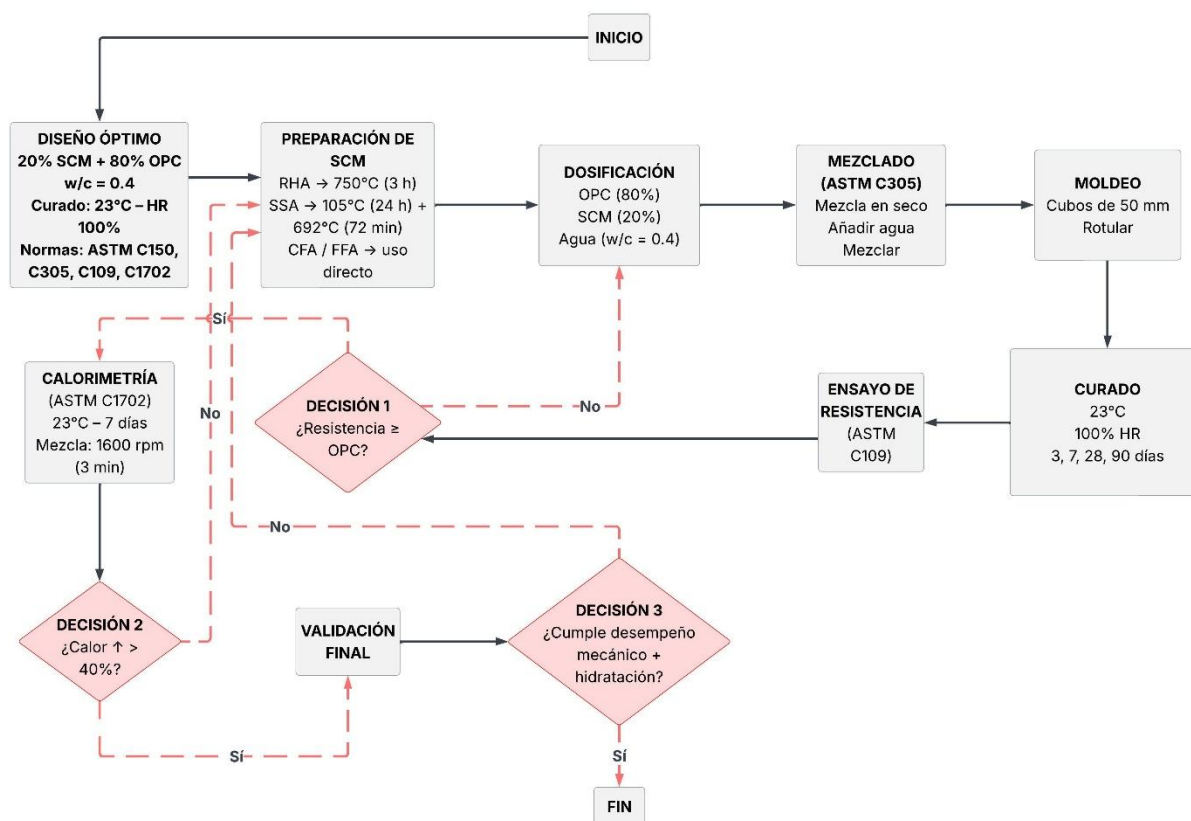
9. Materiales cementantes sostenibles en pastas de cemento

Por: Juan David Valdés Uribe

2019

Figura 11

Diagrama de flujo de proceso técnico.



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

9.1. Resultados

Tabla 25

Diseño óptimo de la mezcla cementicia.

Parámetro	Valor
Porcentaje de reemplazo	20% SCM + 80% OPC
Relación agua/cemento (w/c)	0.4
Materiales recomendados	CFA, FFA, RHA, SSA
Condición de curado	23°C – 100% HR
Edades de evaluación	3, 7, 28 y 90 días
Normas aplicadas	ASTM C150, ASTM C305, ASTM C109, ASTM C1702
Justificación técnica	Resistencias iguales o superiores al OPC + incremento del calor de hidratación (>40%)

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 26

Desempeño mecánico (resistencia a compresión).

Condición	Resultado principal	Materiales destacados	Interpretación
20% reemplazo	Igual o superior al OPC	CFA, FFA, RHA, SSA	Mejor desempeño global
40% reemplazo	Disminución general	RHA, SSA	Mejor comportamiento relativo

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Edad temprana (3–7 días)	Alta resistencia	CFA, FFA, RHA, SSA	Efecto físico y finura
Edad tardía (28–90 días)	Incremento de resistencia	Todos	Reacciones puzolánicas

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 27

Hidratación y propiedades físico-químicas

Parámetro	Resultado	Materiales destacados	Interpretación
Tamaño de partícula (D50)	5-140µm	RHA (más fino)	Mayor reactividad
LOI (>8%)	Presente	RHA, SSA, CFA	Materia orgánica / sulfatos
Actividad hidráulica	Alta	SSA, CFA, FFA	Alto contenido de CaO
Baja actividad hidráulica	Baja	RHA, CT	Bajo CaO
Calor de hidratación (20%)	>40%	Todos	Mejora hidratación
Calor de hidratación (40%)	52-68%	Todos	Mayor interacción
Correlación (R^2)	0.9 - 0.99	General	Relación con resistencia

Nota. Elaborado por el autor.

9.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que la incorporación de materiales cementantes suplementarios (SCM) en un 20% dentro de la mezcla cementicia permitió alcanzar resistencias a compresión iguales o superiores al cemento Portland ordinario (OPC). Se observó que materiales como CFA, FFA, RHA y SSA presentaron el mejor desempeño mecánico,

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

especialmente en edades tempranas y tardías, debido al efecto de finura y a las reacciones pozolánicas generadas durante el proceso de hidratación. Asimismo, fue identificado un incremento significativo en el calor de hidratación, superior al 40%, lo cual evidenció una mayor interacción química y un adecuado desarrollo de las propiedades físico-mecánicas del sistema cementicio.

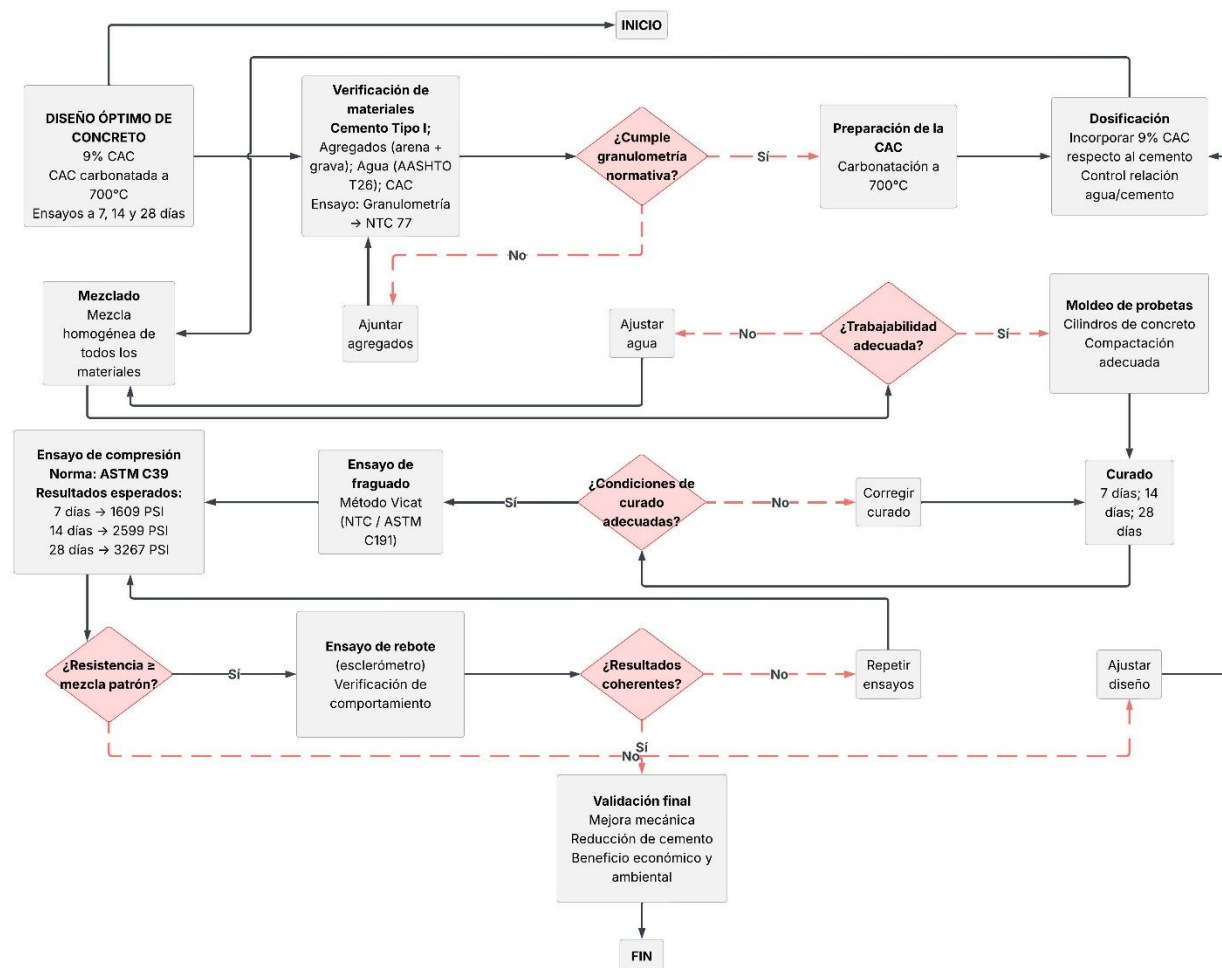
Se concluye que la mezcla con 20% de SCM sí resulta viable para aplicaciones estructurales, debido a que fueron alcanzadas resistencias adecuadas y se evidenció un comportamiento mecánico comparable o superior al OPC convencional. Además, el uso de materiales suplementarios contribuye a la sostenibilidad ambiental mediante la reducción del consumo de cemento Portland y el aprovechamiento de subproductos industriales y agrícolas. No obstante, se determinó que porcentajes de reemplazo más altos, como el 40%, generan disminuciones en la resistencia mecánica, por lo que el contenido óptimo de sustitución debe mantenerse controlado para garantizar un adecuado desempeño estructural.

10. Concreto ecológico reforzado con cascarilla de arroz carbonatada

Por: Andrés Orlando Bacca Tapiero y Daniel Arturo Vélez González
2020

Figura 12

Diagrama de flujo del procedimiento técnico para la elaboración de concreto sostenible con 9% de cascarilla de arroz carbonatada.



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

10.1. Resultados

Tabla 28

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión (Diseño óptimo 9% CAC).

Edad (días)	Resistencia (PSI)
7	1609
14	2599
28	3267

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 29

Resultados del ensayo de rebote (Esclerómetro) – Diseño óptimo 9% CAC.

Edad (días)	Rebote promedio
7	6,75
14	9,25
28	16,75

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 30

Parámetros técnicos del diseño óptimo.

Parámetro	Valor
Contenido de CAC	9%

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Parámetro	Valor
Temperatura de carbonatación	700°C
Tipo de ensayo principal	Compresión (ASTM C39)
Ensayo de fraguado	Vicat (NTC / ASTM C191)
Tiempos de curado	7, 14 y 28 días
Comportamiento	Mejora resistencia mecánica
Comparación	Superior a mezcla patrón
Beneficio	Económico y ambiental

Nota. Elaborado por el autor.

10.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que la incorporación del 9% de CAC en la mezcla de concreto permitió mejorar el comportamiento mecánico respecto a la mezcla patrón. Se observó un incremento progresivo en la resistencia a compresión a edades de 7, 14 y 28 días, alcanzándose un valor máximo de 3267 PSI a los 28 días. Asimismo, los resultados obtenidos mediante el ensayo de rebote con esclerómetro mostraron un aumento continuo en la dureza superficial del concreto, evidenciándose un adecuado desarrollo del proceso de fraguado y endurecimiento del material.

Se concluye que la mezcla con 9% de CAC sí resulta viable para aplicaciones constructivas, debido a que fueron alcanzadas resistencias superiores a la mezcla convencional y se evidenció un mejor desempeño mecánico general. Además, el material presentó beneficios ambientales y económicos asociados al aprovechamiento de residuos y a la disminución en el consumo de materiales tradicionales. No obstante, el control de la temperatura de carbonatación y de las

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

condiciones de curado resulta fundamental para garantizar un comportamiento óptimo del concreto y mantener la estabilidad de sus propiedades mecánicas.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

11. Cemento sostenible a partir de cenizas de aceituna y cascarilla de arroz

*Por: Jesica Mariana Gómez Godoy
2021*

No fueron identificados procedimientos metodológicos específicos en el trabajo analizado, dado que el enfoque se basó en la recopilación y el análisis de información secundaria relacionada con residuos orgánicos, tales como cenizas de aceituna y cascarilla de arroz. Asimismo, se consideraron sus procesos generales de transformación, ensayos de laboratorio y criterios normativos, sin que haya sido desarrollada una metodología experimental propia ni un procedimiento detallado paso a paso.

11.1. Resultados**Tabla 31**

Dosificación y diseño de mezcla con residuos.

Parámetro	Valor
Resistencia objetivo	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
Reemplazo de cemento	10% – 15% (ceniza de cascarilla de arroz)
Sustitución de arena	2.5% (PET reciclado)
Agregado de cascarilla de arroz	6%
Resultado	Concreto con resistencia de 210 kg/cm^2

Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Tabla 32*Resultados de resistencia mecánica.*

Mezcla / Ensayo	Resultado principal	Observación
20% ceniza de aceituna + 80% escoria	300 kg/cm ² (compresión)	Alta resistencia, viable como material cementante
Ceniza de cascarilla de arroz + fibras de acero	+42% resistencia a tracción	Mejora significativa en comportamiento mecánico
	+12% módulo de elasticidad	Aumento en rigidez del material
Sustitución de cemento por CCA (8%, 12%, 16%)	231 kg/cm ² (mejor resultado con 8%)	Porcentajes mayores reducen el desempeño

Nota. Elaborado por el autor.**11.2. Análisis e interpretación de resultados**

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que la incorporación de residuos como ceniza de cascarilla de arroz, PET reciclado, ceniza de aceituna y escoria permitió mejorar el comportamiento mecánico del concreto y desarrollar mezclas con resistencias adecuadas para aplicaciones constructivas. Se observó que las mezclas con ceniza de aceituna y escoria alcanzaron resistencias de hasta 300 kg/cm² a compresión, mientras que la adición de fibras de acero junto con ceniza de cascarilla de arroz permitió incrementar la resistencia a tracción en un 42% y el módulo de elasticidad en un 12%, evidenciándose una mejora significativa en la rigidez y desempeño mecánico del material. Asimismo, fue identificado que porcentajes moderados de sustitución de cemento con ceniza de cascarilla de arroz, especialmente del 8%, generaron los mejores resultados mecánicos.

Se concluye que las mezclas con residuos reciclados y subproductos agroindustriales sí resultan viables para aplicaciones estructurales, debido a que fueron alcanzadas resistencias adecuadas y se evidenció un mejor comportamiento mecánico frente a mezclas convencionales.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Además, el aprovechamiento de estos materiales contribuye a la sostenibilidad ambiental y a la reducción del consumo de recursos tradicionales en la construcción. No obstante, se determinó que porcentajes elevados de sustitución pueden disminuir el desempeño mecánico del concreto, por lo que las dosificaciones deben mantenerse dentro de rangos óptimos para garantizar la estabilidad y resistencia del material.

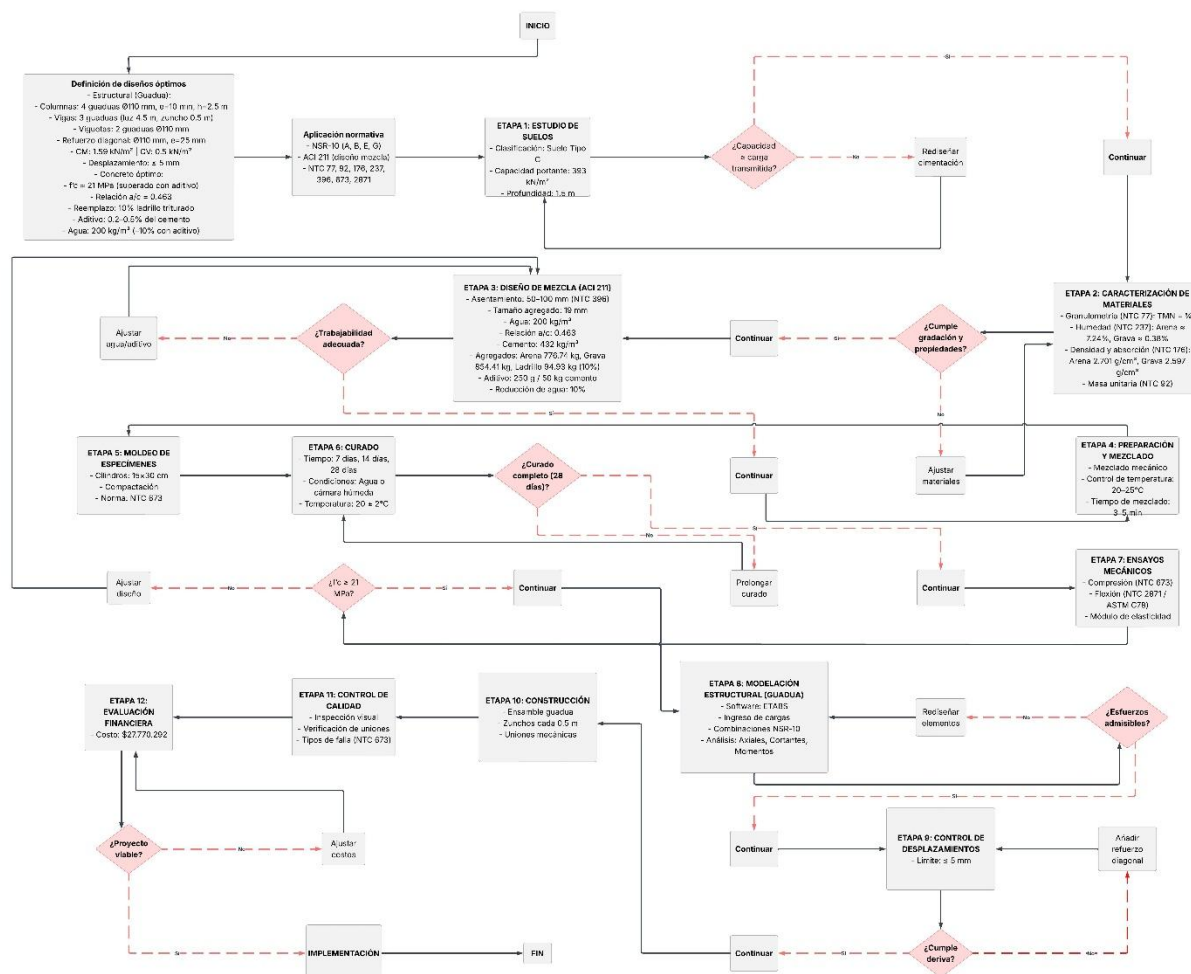
CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

12. Construcción sostenible con *Guadua angustifolia*

Por: Henry Alejandro Unda Ladino y David Santiago Poveda Sánchez
2023

Figura 13

Procedimiento técnico de vivienda sostenible en guadua y concreto modificado



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

12.1. Resultados

Tabla 33

Configuración estructural y viabilidad.

Elemento	Especificación
Columnas	4 guaduas Ø110 mm, e=10 mm, h=2.5 m
Vigas	3 guaduas unidas, luz 4.5 m, zuncho cada 0.5 m
Viguetas de cubierta	2 guaduas unidas Ø110 mm
Refuerzo diagonal	1 guadua Ø110 mm, e=25 mm
Sistema estructural	Guadua como elemento principal
Costo estimado	\$27.770.292
Viabilidad	Económicamente viable

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 34

Resultados geotécnicos y estructurales.

Parámetro	Resultado
Tipo de suelo	Tipo C (NSR-10)
Capacidad portante	393 kN/m ² (40 Ton/m ²)
Profundidad de cimentación	≥ 1.5 m
Carga muerta (CM)	1.59 kN/m ²

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Parámetro	Resultado
Carga viva (CV)	0.5 kN/m ²
Desplazamiento máximo	5 mm

Nota. Elaborado por el autor.

12.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que la guadua presentó un comportamiento estructural adecuado para ser utilizada como elemento principal en el sistema constructivo evaluado. Se observó que la configuración de columnas, vigas, viguetas y refuerzos diagonales permitió garantizar estabilidad y rigidez estructural, alcanzándose desplazamientos máximos reducidos de 5mm. Asimismo, las condiciones geotécnicas del terreno, clasificadas como suelo tipo C según la NSR-10, mostraron una capacidad portante adecuada para soportar las cargas de diseño establecidas, garantizándose un desempeño estructural seguro mediante una profundidad de cimentación igual o superior a 1.5 m.

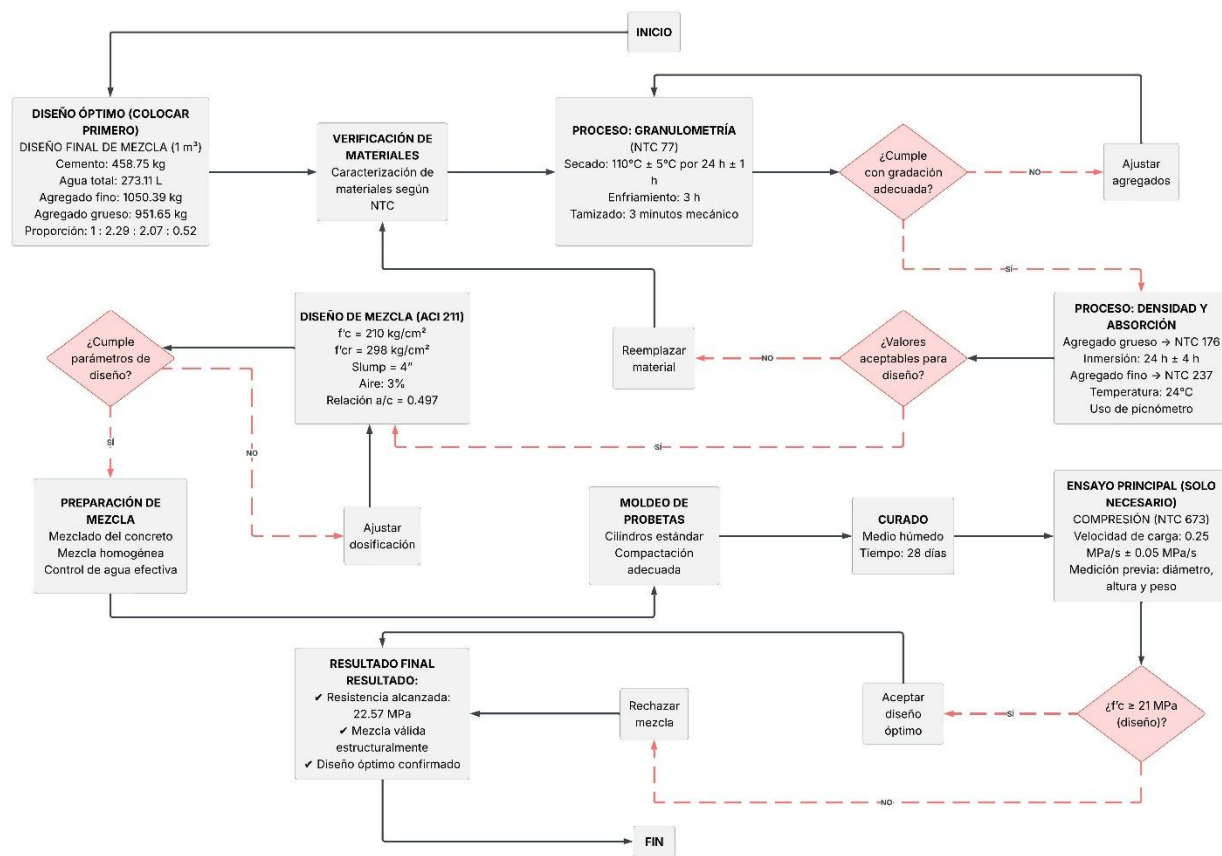
Se concluye que el sistema estructural en guadua sí resulta viable tanto técnica como económicamente, debido a que fueron cumplidos los requisitos de estabilidad, capacidad portante y control de desplazamientos. Además, el uso de guadua representa una alternativa sostenible y de menor impacto ambiental frente a materiales convencionales, manteniendo costos accesibles dentro del proyecto constructivo. No obstante, el adecuado diseño de conexiones, refuerzos y cimentación resulta fundamental para garantizar la seguridad y durabilidad del sistema estructural.

13. Concreto sostenible con llantas recicladas

Por: Juliana Paola Vásquez Usquiano
2021

Figura 14

Diagrama de flujo de procedimiento técnico.



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

13.1. Resultados

Tabla 35*parámetros de diseño del concreto.*

Parámetro	Valor
Resistencia de diseño (f'_c)	210 kg/cm ² ($\approx$ 21 MPa)
Resistencia promedio (f'_{cr})	298 kg/cm ²
Asentamiento (Slump)	4"
Contenido de aire	3%
Relación agua/cemento (a/c)	0.497
Tamaño máximo nominal (TMN)	3/8"

Nota. Elaborado por el autor.**Tabla 36***Dosificación final del diseño óptimo (1 m³).*

Material	Cantidad
Cemento	458.75 kg
Agua total	273.11 L
Agregado fino	1050.39 kg
Agregado grueso	951.65 kg

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Aire	3%
------	----

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 37

Resultados mecánicos del diseño óptimo.

Propiedad	Valor obtenido
Resistencia a compresión	22.57 MPa
Módulo de elasticidad	23150 MPa
Módulo de rotura	4.42 MPa
Cumple diseño	Sí

Nota. Elaborado por el autor.

13.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que el diseño de mezcla desarrollado presentó un comportamiento mecánico adecuado para cumplir con los requisitos estructurales establecidos. Se observó que la resistencia a compresión alcanzó un valor de 22.57 MPa, superando la resistencia de diseño de 21 MPa planteada inicialmente. Asimismo, fueron obtenidos valores favorables en el módulo de elasticidad y en el módulo de rotura, evidenciándose una adecuada capacidad de rigidez y resistencia a flexión del concreto. Además, los parámetros de diseño, como la relación agua/cemento, el asentamiento y el contenido de aire, permitieron garantizar una mezcla trabajable y estable durante el proceso de elaboración.

Se concluye que el diseño óptimo de concreto sí resulta viable para aplicaciones estructurales, debido a que fueron cumplidos los requerimientos de resistencia y desempeño mecánico establecidos para el proyecto. Además, la dosificación final permitió obtener un concreto

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

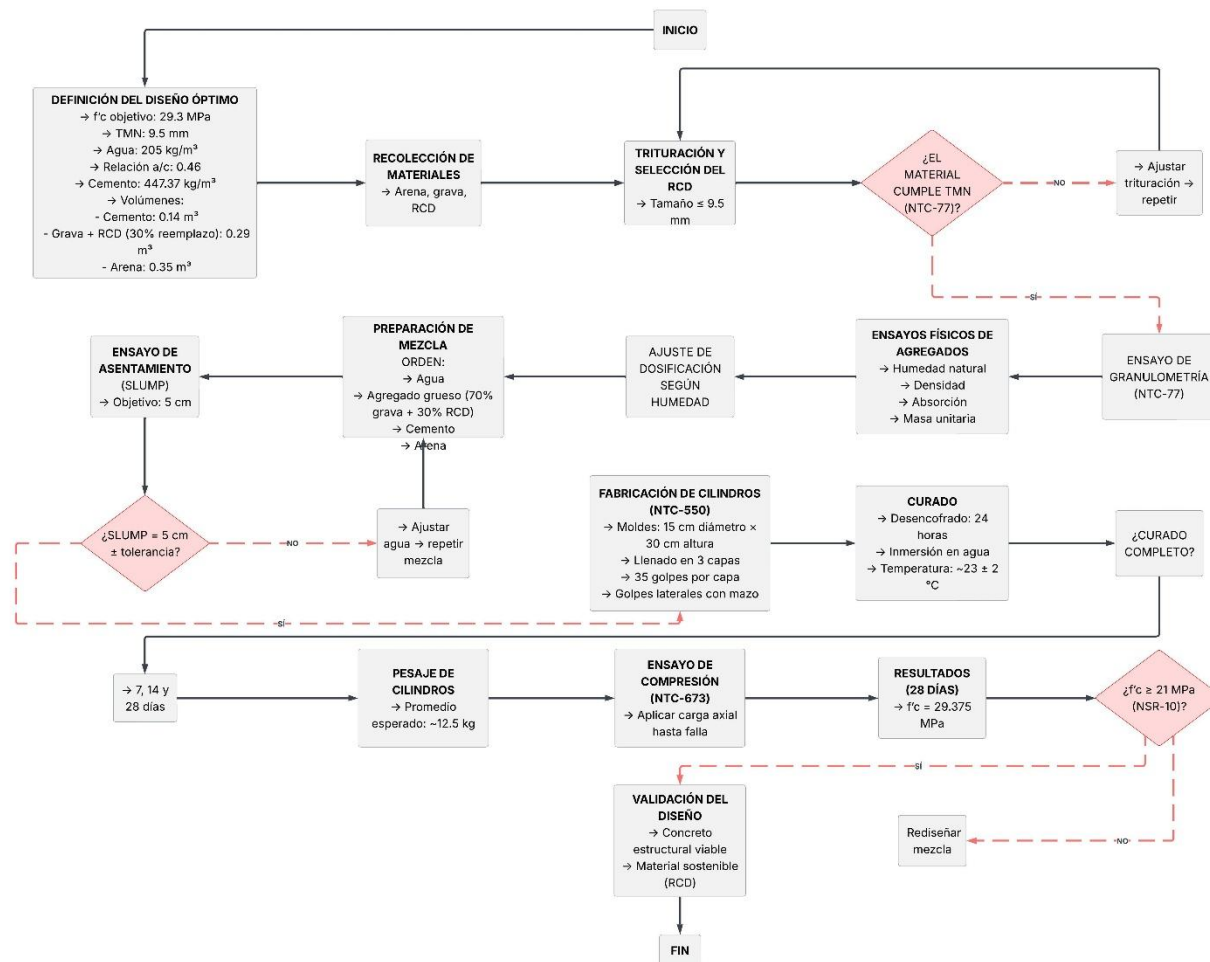
con propiedades físicas y mecánicas adecuadas, garantizando estabilidad y durabilidad en su aplicación constructiva. No obstante, el control de los materiales y de las condiciones de mezclado y curado resulta fundamental para mantener el desempeño esperado del concreto en obra.

14. Concreto sostenible con cuesco y RCD

Por: Brayan Edilson García Velásquez y Luis Miguel Díaz Morales
2019

Figura 15

Diagrama de flujo del procedimiento técnico para el diseño óptimo de concreto con RCD (30%).



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

14.1. Resultados

Tabla 38*Diseño de mezcla óptimo.*

Parámetro	Valor
Resistencia de diseño (f'_c_r)	29.3 MPa
Tamaño máximo nominal (TMN)	9.5 mm
Agua	205 kg/m ³
Relación a/c	0.46
Cemento	447.37 kg/m ³
Volumen de cemento	0.14 m ³
Volumen agregado grueso (Grava + RCD)	0.29 m ³
Volumen arena	0.35 m ³

Nota. Elaborado por el autor.**Tabla 39***Resistencia a compresión (MPa).*

Mezcla	7 días	14 días	28 días
Convencional	18	18	22.2
RCD 30% (ÓPTIMO)	21.4	26.2	29.375
Cuesco 10% (mejor caso)	18.8	19.8	25.4

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Nota. Elaborado por el autor.

14.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que la incorporación de residuos de construcción y demolición (RCD) en un 30% dentro de la mezcla de concreto permitió mejorar significativamente el comportamiento mecánico respecto al concreto convencional. Se observó que la mezcla óptima alcanzó resistencias a compresión superiores en todas las edades de evaluación, obteniéndose un valor máximo de 29.375 MPa a los 28 días, superando tanto la resistencia de diseño como la mezcla tradicional. Asimismo, las mezclas con incorporación de cuesco presentaron incrementos en la resistencia frente al concreto convencional, aunque con un desempeño inferior al alcanzado con los RCD.

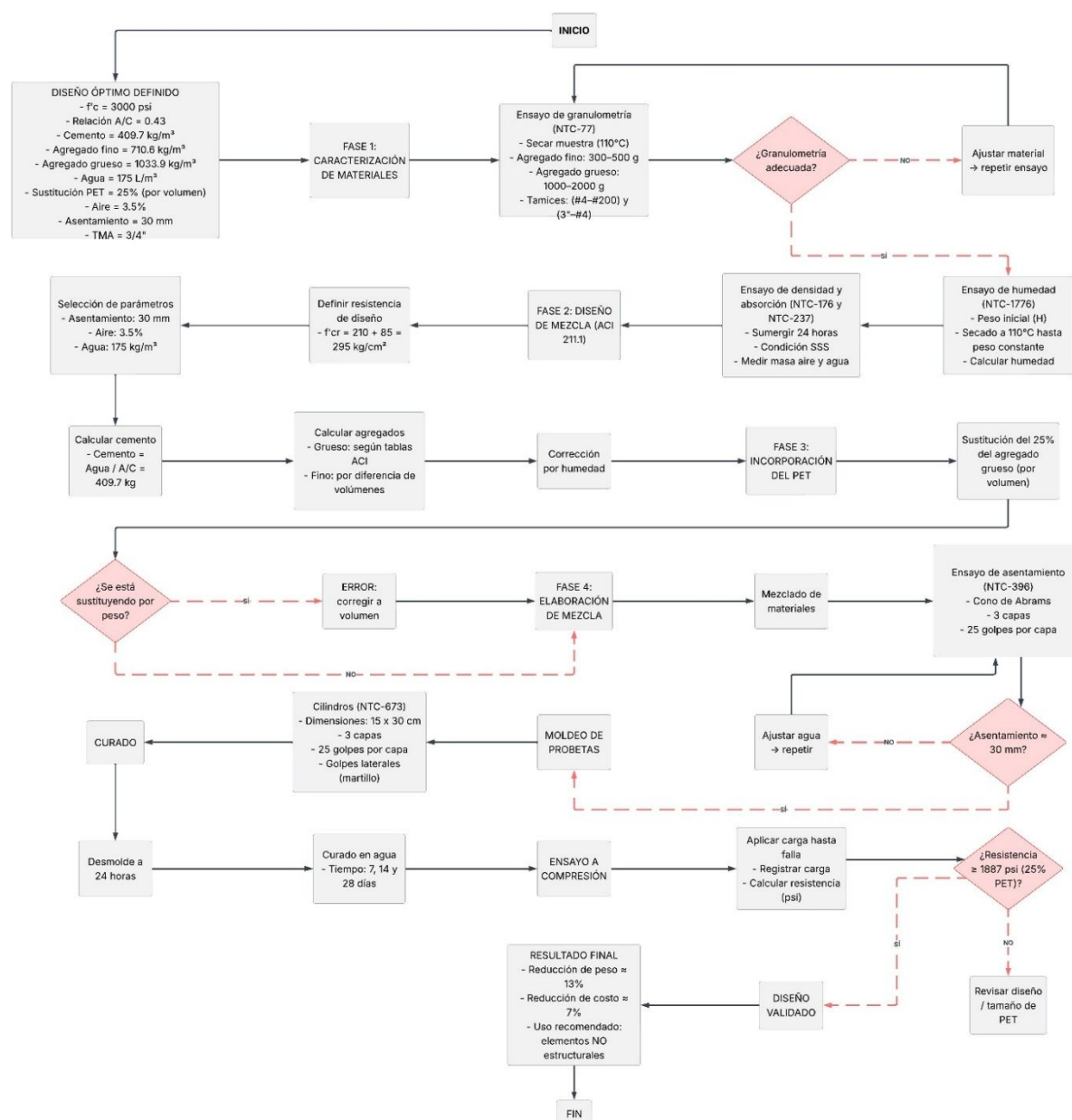
Se concluye que la mezcla con 30% de RCD sí resulta viable para aplicaciones estructurales, debido a que fueron alcanzadas resistencias superiores al diseño requerido y se evidenció un mejor desempeño mecánico general. Además, el aprovechamiento de residuos de construcción contribuye a la sostenibilidad ambiental y a la reducción del impacto generado por los desechos del sector constructivo. No obstante, el uso de cuesco como material de sustitución presentó resultados más limitados, por lo que su porcentaje de incorporación debe ser controlado para garantizar un adecuado comportamiento estructural del concreto.

15. PET reciclado en concreto: alternativa sostenible

Por: Madelein Natalia Sanabria Rojas
2020

Figura 16

Diagrama de flujo de procedimiento técnico.



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

15.1. Resultados

Tabla 40

Diseño de mezcla óptimo (25% PET).

Parámetro	Valor
Resistencia de diseño	3000 psi (210 kg/cm ²)
Relación agua/cemento	0.43
Asentamiento	30mm
Contenido de aire	3.5%
Tamaño máximo agregado	3/4"
Cemento	409.7 kg/m ³
Agregado fino	710.6 kg/m ³
Agregado grueso	1033.9 kg/m ³
Agua	175 L/m ³
Sustitución PET	25% (por volumen)

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 41

Propiedades físicas y mecánicas (diseño óptimo vs convencional).

Propiedad	Concreto convencional	Concreto con 25% PET	Variación
Resistencia a compresión	3120 psi (aprox.)	1887 psi	Menos 39.5%

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Propiedad	Concreto convencional	Concreto con 25% PET	Variación
Peso del cilindro	12.13 kg	10.7 kg	Menos 13%
Comportamiento	Alta cohesión	Menor cohesión	Disminuye
Vacíos	Bajos	Moderados	Aumentan

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 42

Evaluación técnica y económica.

Aspecto	Resultado
Costo concreto convencional (11 cilindros)	\$28.206 COP
Costo concreto con 25% PET	\$26.229 COP
Reducción de costo	7%
Viabilidad estructural	No cumple (resistencia <2465 psi)
Uso recomendado	Elementos no estructurales
Límite recomendado de PET	25%
Principal problema	Baja adherencia PET-cemento
Beneficio principal	Reducción de peso y reciclaje

Nota. Elaborado por el autor.

15.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que la incorporación del 25% de PET reciclado en la mezcla de concreto permitió reducir el peso del material y generar una disminución en los costos de producción respecto al concreto convencional. Se observó una reducción aproximada del 13% en el peso de los cilindros y un ahorro económico cercano al 7%, lo cual evidenció beneficios asociados al uso de materiales reciclados y a la fabricación de concretos livianos. Sin embargo, también fue identificada una disminución significativa en la resistencia a compresión, alcanzándose únicamente 1887 psi, valor inferior al requerido para aplicaciones estructurales. Asimismo, se evidenció una menor cohesión y un aumento en los vacíos internos de la mezcla, debido a la baja adherencia entre el PET y la pasta de cemento.

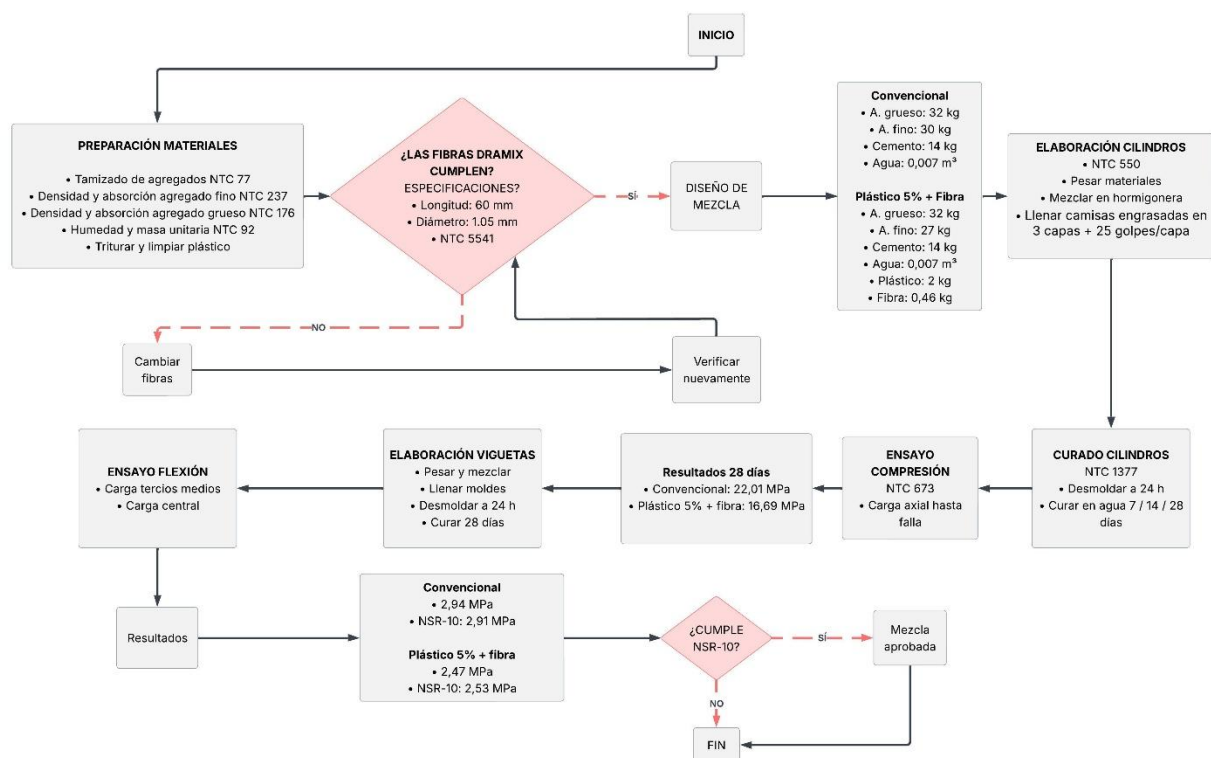
Se concluye que la mezcla con 25% de PET reciclado no resulta viable para aplicaciones estructurales, debido a que no fueron alcanzadas las resistencias mínimas requeridas para este tipo de elementos. No obstante, el material sí puede ser considerado para elementos no estructurales, donde la reducción de peso y el aprovechamiento de residuos plásticos representen ventajas funcionales y ambientales. Además, el uso de PET reciclado contribuye a la sostenibilidad y a la disminución de residuos sólidos, aunque su porcentaje de incorporación debe mantenerse controlado para evitar afectaciones significativas en el desempeño mecánico del concreto.

16. Evaluación del concreto con plástico reciclado en perlas y fibras de acero

Por: Nicolás Pérez Villarraga y Lina Marcela Molano González
2020

Figura 17

Diagrama de flujo de procedimiento técnico



Nota. Elaborado por el autor.

16.1. Resultados

Tabla 43

Diseño de Mezcla de Cilindros Convencionales y Plástico 5%

Material	Cilindros Convencionales	Cilindros Plástico 5%
Agregado grueso	32kg	32kg

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Material	Cilindros Convencionales	Cilindros Plástico 5%
Agregado fino	30kg	27kg
Agua	0,007m ³	0,007m ³
Cemento	14kg	14kg
Plástico reciclado	-	2kg

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 44

Ensayo a Compresión de Cilindros a 28 días

Tipo de mezcla	Resistencia a compresión (MPa)
Concreto convencional	22,01 MPa
Plástico 5% + fibra de acero	16,69 MPa

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 45

Módulo de Rotura de la Vigüeta

Tipo de mezcla	Módulo de rotura obtenido (MPa)	Valor NSR-10 (MPa)
Concreto convencional	2,94 MPa	2,91 MPa
Plástico 5% + fibra de acero	2,47 MPa	2,53 MPa

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 46*Comparación de Resultados Mecánicos*

Parámetro evaluado	Concreto convencional	Plástico 5% + fibra	Resultado
Resistencia a compresión	22,01MPa	16,69MPa	Disminución del 24%
Módulo de rotura	2,94MPa	2,47MPa	Menor capacidad flexural
Cumplimiento NSR-10	Cumple	No cumple	No apto estructuralmente

Nota. Elaborado por el autor.

16.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que el concreto convencional presentó un mejor comportamiento mecánico frente a la mezcla con plástico reciclado al 5% y fibra de acero, especialmente en la resistencia a compresión y el módulo de rotura. Aunque la adición del plástico aportó beneficios ambientales, las mezclas modificadas mostraron menores resistencias respecto al concreto tradicional.

Se concluye que la mezcla con plástico reciclado y fibra de acero no resulta viable para aplicaciones estructurales, debido a que no alcanzó los valores requeridos por la NSR-10. Sin embargo, podría considerarse para elementos no estructurales y futuras investigaciones relacionadas con materiales sostenibles

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

Referencias

- Amaya Meléndez, C. A., & Araque Fetecua, M. N. (2020). *Estudio de las propiedades físico-mecánicas del concreto con incorporación de vidrio molido y análisis comparativo a partir de concreto con fibra de acero y concreto convencional* [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.
<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/c9b3a9c8-8152-4c93-9338-ddf4b57df332/content>
- Bacca Tapiero, A. O., & Vélez González, D. A. (2020). *Efecto de la fibra de arroz carbonatada en las propiedades mecánicas y físicas del concreto* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.
<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/2ab834d2-fe67-43b4-b99c-43b81f7fe6e1/content>
- Chávez, D. A., & Londoño Ángel, D. S. (2021). *Diseño de casetones y muros no estructurales con botellas PET para construcciones en obras civiles* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.
<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/be14e08c-752c-49ef-b53b-669c071f3445/content>
- García Velásquez, B. E., & Díaz Morales, L. M. (2019). *Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto utilizando el cuesco proveniente de los residuos de fruto fresco de la palma africana y el concreto de residuos de construcción y demolición en obras civiles (RCD)* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.
<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/bd4d2375-d148-4a6a-8152-f06a0da09394/content>
- Gómez Godoy, J. M. (2021). *Estado del arte de la inclusión de residuos orgánicos para la creación de una mezcla de cemento que implemente la economía circular* [Monografía de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/44455e85-9471-45e0-bb42-7db6bf4ee0ff/content>

Herrera Ramos, D. F., & Torres Espitia, J. Y. (2019). *Diseño de puente peatonal en material vegetal, carrera 22 sector Aguas Claras para la Universidad Santo Tomás Villavicencio* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.

<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/2ce03180-d738-4ff2-9b4d-602fe9847c6e/content>

Leguizamón Álvarez, M. J., & Beltrán Vanegas, M. A. (2019). *Estudio de las propiedades mecánicas que presenta el concreto geopolímero a base de ceniza de cascarilla de arroz producida en el departamento del Meta, y reforzado con fibras de acero* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.

<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/f44fd5c1-6982-4fd0-a944-46082f450234/content>

Penagos Suárez, J. D. (2024). *Calibración mediante el método de elementos finitos de elementos estructurales conformados por botellas rellenas de arena y reforzadas con acero corrugado en el software ANSYS* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás].

Repositorio Institucional USTA.
<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/ff7208cd-a0fb-4391-9fd3-9a171e53532f/content>

Pérez Villarraga, N., & Molano González, L. M. (2020). *Proyecto de investigación estudio de plástico reciclado como agregado en la elaboración de concreto con fibras de acero* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.

<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/2c12aee2-b38c-41b7-9578-2ea8729d4beb/content>

Rivera Ardila, A. M. (2020). *Análisis y evaluación de las propiedades mecánicas en placa prefabricada de concreto con refuerzo en macrofibras de polipropileno* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/693fb6b8-8eff-47cc-bb26-5f3b6a30f91d/content>

Rodríguez Sánchez, A. M., & Tibabuzo Jiménez, M. P. (2019). *Evaluación de la ceniza de cascarilla de arroz como suplemento al cemento en mezclas de concreto hidráulico* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.

<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/8b4a222a-6fb7-47a8-8f7d-7c14bdaaf76c/content>

Sanabria Rojas, M. N. (2020). *Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.

<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/104f0dfc-5041-41e4-aca3-36c71d7676be/content>

Unda Ladino, H. A., & Poveda Sánchez, D. S. (2023). *Estudio comparativo de las propiedades físico-mecánicas de un concreto convencional y modificado a partir del agregado grueso con 3 tipos de ladrillos y un retardante reductor de agua como aditivo* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.

<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/211363d9-feebe-4f1a-a2fa-c0d40b621c19/content>

Valdés Uribe, J. D. (2019). *Desempeño de materiales cementantes suplementarios en resistencia a compresión e hidratación en pastas de cemento* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.

<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/78b712bc-e70f-42e8-81c7-c2d3a606a664/content>

Vásquez Usquiano, J. P. (2021). *Estudio de comportamiento de un diseño de mezcla de concreto con adición de material reciclado de llantas* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás].

Repositorio Institucional USTA.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS

<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/5d169f00-ff13-4a8b-afd3-ec4384e2a048/content>

Velásquez Barajas, S. A. (2024). *Análisis físico-mecánico, propiedades y uso de materiales reciclables para la construcción de viviendas en Villavicencio* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/59d30f60-2fa7-4a24-a0c5-5a04f3c46bcb/content>



CAPÍTULO 2:
SUELOS

Resumen

En el presente capítulo son analizados tres trabajos de grado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, los cuales se encuentran enfocados en la estabilización de suelos y el control de la erosión en proyectos de ingeniería civil. La selección es realizada con base en su relación con el uso de materiales y técnicas aplicadas al mejoramiento del comportamiento del suelo.

A partir de estos estudios, es evidenciado el interés en la implementación de alternativas que permitan optimizar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales empleados en obras civiles. Se destaca la evaluación de materiales no convencionales y la aplicación de metodologías orientadas a mejorar la resistencia, cohesión y estabilidad del suelo, especialmente bajo condiciones de carga y variabilidad ambiental.

En el capítulo son incluidas investigaciones de carácter experimental. Por una parte, son presentados estudios enfocados en la modificación de materiales, en los cuales es analizada la incorporación de diferentes elementos para el mejoramiento de su desempeño. Por otra parte, son abordadas técnicas de control de la erosión en taludes, mediante las cuales es buscada la reducción de la pérdida de material y la mitigación de riesgos geotécnicos. Asimismo, es considerada la viabilidad de los materiales en su aplicación práctica, siendo evaluado su comportamiento y su eficiencia frente a soluciones tradicionales.

Finalmente, es resaltada la importancia de la adecuada selección de materiales y técnicas en los procesos de estabilización de suelos y control de la erosión, reconociéndose su papel en el desarrollo de soluciones técnicas eficientes y su posible aporte a enfoques sostenibles dentro de la ingeniería civil.

Palabras claves. Estabilización de suelos, control de la erosión, materiales no convencionales, mejoramiento del suelo, ingeniería civil, sostenibilidad.

Introducción

En la ingeniería civil, el comportamiento del suelo ha sido reconocido como un factor determinante en la estabilidad y durabilidad de las obras. Sin embargo, en distintos contextos geotécnicos se presentan problemáticas asociadas a la baja capacidad de soporte de los suelos, la presencia de materiales con propiedades deficientes y la acción de procesos erosivos que afectan el desempeño de estructuras y taludes. Estas condiciones han generado la necesidad de implementar alternativas que permitan mejorar las características del suelo y garantizar un adecuado funcionamiento de las obras civiles, incorporando en algunos casos el uso de materiales con enfoque sostenible.

Frente a esta situación, ha sido impulsado el estudio de materiales y técnicas orientadas a la estabilización de suelos y al control de la erosión, con el propósito de optimizar sus propiedades físicas y mecánicas. En este capítulo son abordados tres trabajos de grado desarrollados en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, en los cuales han sido analizadas diferentes estrategias relacionadas con la modificación de materiales, la mitigación de procesos erosivos y la evaluación de la viabilidad de su aplicación en proyectos de ingeniería civil, incluyendo el uso de materiales alternativos y no convencionales.

En estos estudios han sido identificadas problemáticas relacionadas con la resistencia, la cohesión y la estabilidad de los suelos, así como la necesidad de reducir la pérdida de material en taludes y mejorar el comportamiento del terreno frente a condiciones de carga y factores ambientales. Como respuesta, han sido propuestas soluciones que incluyen la incorporación de materiales no convencionales, algunos de ellos de origen reciclado o sostenible, y la aplicación de técnicas que permiten optimizar el desempeño del suelo, evaluadas mediante diferentes metodologías.

Asimismo, han sido consideradas investigaciones en las que se aborda la viabilidad de los materiales en su aplicación práctica, teniendo en cuenta su comportamiento, eficiencia y posibles ventajas frente a alternativas tradicionales. En este sentido, es reconocido el aporte de los materiales con enfoque sostenible, los cuales favorecen el aprovechamiento de recursos, la reducción de residuos y la disminución del impacto ambiental en proyectos de ingeniería civil.

CAPÍTULO 2: SUELOS

De esta manera, en el presente capítulo es realizada una síntesis de los aportes más relevantes de los estudios analizados, con el fin de identificar las principales técnicas empleadas, evaluar el comportamiento de los materiales y reconocer su aplicabilidad en el campo de la ingeniería civil. Con ello, se busca aportar una visión completa que contribuya al fortalecimiento del conocimiento en procesos de estabilización de suelos y control de la erosión, considerando su relación con prácticas más sostenibles.

CAPÍTULO 2: SUELOS

Metodología

En los estudios analizados se emplearon ensayos de laboratorio para la caracterización de los materiales, así como para evaluar su comportamiento en términos de compactación y resistencia. A partir de estos ensayos se determinó la respuesta del suelo frente a condiciones de carga, humedad y factores externos, incluyendo su comportamiento ante procesos erosivos.

En la siguiente tabla se presentan los trabajos de grado seleccionados que hacen parte del capítulo de suelos, los cuales abordan diferentes enfoques relacionados con la caracterización, mejoramiento y comportamiento geotécnico del suelo.

Tabla 47

Tesis del capítulo de suelos.

No.	Nombres y Apellidos Estudiante	Título del Proyecto	Enlace
1	William Enrique Herrera Zarta	Análisis de la modificación del material natural existente de las calles marginales 9 y 8 paralelas a la avenida maracos, intercepción anillo vial en la ciudad de Villavicencio-meta, con poliestireno expandido triturado reciclado para su utilización en la estructura de pavimento.	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/7c1052ba-4279-4970-9a4d-81cc2d0dfac2/content
2	Salomón Andrés Sánchez Restrepo Sergio Oviedo Solano	Y Control de la erosión de taludes mediante el uso de vetiver y micorrizas arbusculares, zona de Soceagro en el municipio de Villavicencio – meta	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/9d690483-649a-4965-8677-d0f906796647/content

CAPÍTULO 2: SUELOS

No.	Nombres y Apellidos Estudiante	Título del Proyecto	Enlace
3	Angie Juliana Isairias Montoya Y Lesly Daniela Hernández Rojas	Viabilidad y aplicabilidad de los materiales MERI en proyectos de ingeniería civil, caso carretera Bogotá – Villavicencio, tramo Chirajara – fundadores.	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/2ee8cae8-05fe-4dfb-a23b-a653fd648124/content

Nota. Elaborado por el autor.

A continuación, se desarrolla cada una de las tesis presentadas, incluyendo su procedimiento técnico, los resultados obtenidos y un breve análisis de estos.

17. Mejoramiento de suelos con poliestireno expandido reciclado para pavimentos sostenibles

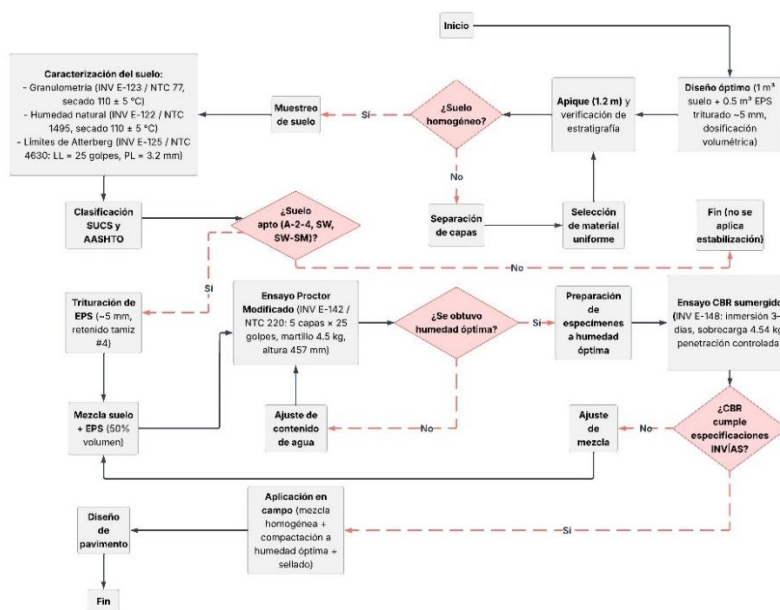
William Enrique Herrera Zarta
2021

El análisis y mejoramiento del suelo natural es desarrollado mediante un procedimiento metodológico orientado a la incorporación de poliestireno expandido triturado reciclado. Para ello, es adoptado un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo explicativo, en el cual son definidas una serie de etapas que permiten la caracterización del material, la evaluación de su comportamiento y la determinación de su viabilidad en aplicaciones de pavimento.

A través de este proceso, son considerados ensayos de laboratorio, la preparación de mezclas y la evaluación de la capacidad portante, con el fin de que sea identificada una dosificación adecuada que contribuya al mejoramiento de las propiedades del suelo en condiciones propias de la ingeniería civil.

Figura 18

Diagrama de flujo: procedimiento técnico.



CAPÍTULO 2: SUELOS

Nota. Elaborado por el autor.

17.1. Resultados

Tabla 48

Caracterización del suelo

Muestra	Profundidad (m)	Descripción granulométrica	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO
Roja	0.8 - 1.2	Predominio de arena con finos	SW (Arena bien gradada)	A-2-4
Negra	0.8 - 1.2	Arena con presencia de limos	W-SM (Arena bien gradada con limos)	A-2-4

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 49

Diseño óptimo

Parámetro	Valor
Proporción óptima	50% suelo - 50% EPS
Tipo de dosificación	Volumétrica
Relación recomendada	1 m ³ suelo + 0.5 m ³ EPS
Tamaño del EPS	5 mm (retenido tamiz #4)
Observación	No se recomienda dosificación por peso debido a la baja densidad del EPS

CAPÍTULO 2: SUELOS

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 50

Recomendaciones técnicas

Aspecto	Recomendación
Estratigrafía	Verificar y no mezclar suelos de diferentes capas
Preparación de mezcla	Realizar mezcla homogénea suelo–EPS
Humedad	Determinar humedad óptima mediante Proctor
Compactación	Compactar a humedad óptima
Aplicación	Sellar adecuadamente antes de colocar la estructura de pavimento

Nota. Elaborado por el autor.

17.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, es observado que los suelos analizados presentan características favorables, al estar compuestos principalmente por arenas bien gradadas y clasificarse como A-2-4, lo cual indica un buen comportamiento para su uso en obras de pavimento.

Asimismo, es determinado que la dosificación óptima corresponde a una mezcla del 50% de suelo y 50% de EPS en volumen, ya que permite mejorar las propiedades del material sin afectar su estabilidad. Se destaca que la dosificación volumétrica es la más adecuada debido a la baja densidad del EPS.

Por otra parte, es establecido que la aplicación de esta técnica es viable, siempre que se garantice la homogeneidad del suelo, el control de la humedad óptima y una adecuada

CAPÍTULO 2: SUELOS

compactación. Además, es necesario evitar la mezcla de diferentes capas del suelo para asegurar un buen desempeño del material.

18. Bioingeniería sostenible para la estabilización de taludes con Vetiver y micorrizas

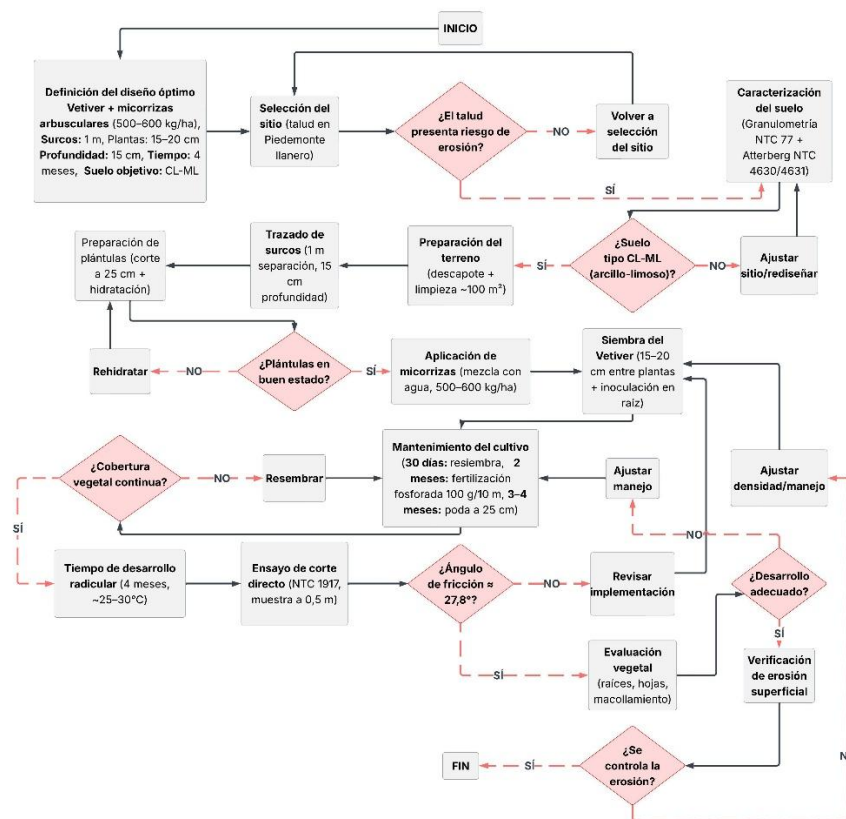
Por: Salomón Andrés Sánchez Restrepo y Sergio Oviedo Solano

2019

La metodología desarrolla una técnica de bioingeniería sostenible basada en el uso de pasto Vetiver con micorrizas arbusculares para el control de la erosión en taludes del Piedemonte llanero. Fueron incluidas etapas de selección del sitio, caracterización geotécnica del suelo, implementación del sistema vegetal y evaluación de su desempeño mediante ensayos de laboratorio y observaciones en campo. Los resultados permitieron validar la eficiencia del sistema en la mejora de la resistencia del suelo y la estabilidad superficial del talud.

Figura 19

Diagrama de flujo: procedimiento técnico.



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 2: SUELOS

18.1. Resultados

Tabla 51

Propiedades del suelo

Parámetro	Valor
Clasificación SUCS	CL-ML
Tipo de suelo	Arcillo-limoso de baja plasticidad
Contenido de finos	Alto
Comportamiento esperado	Similar en suelos equivalentes

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 52

Propiedades mecánicas (Corte directo)

Condición	Ángulo de fricción (°)	Mejora (%)
Con micorrizas	27.8	3
Sin micorrizas	26.98	0

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 53

Desarrollo vegetal

Parámetro	Con micorrizas	Sin micorrizas	Mejora (%)
Número de hojas	56.4	51.6	8.5
Longitud radicular (cm)	20.6	19.2	6.8
Densidad de raíces	Alta (buena)	Media (regular)	Cualitativa
Número de tallos	9	6.6	26.6

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 54

Resultado global del sistema

Aspecto	Resultado
Resistencia al corte	Mejora (~3%)
Estructura del suelo	Mejorada
Cobertura vegetal	Incrementada
Control de erosión	Reducido
Viabilidad técnica	Factible
Tiempo de evaluación	4 meses

CAPÍTULO 2: SUELOS

Aspecto	Resultado
Limitación	Raíz no alcanza longitud máxima (3–5 m)

Nota. Elaborado por el autor.

18.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se determinó que la técnica de bioingeniería implementada es técnicamente viable para el control de la erosión en taludes con suelos tipo CL-ML. Fue evidenciado un incremento en la resistencia al corte del suelo, acompañado de un desarrollo vegetal más favorable en las muestras con micorrizas, lo cual contribuye a la estabilización superficial.

Asimismo, se comprobó que la interacción entre el sistema radicular del Vetiver y las micorrizas arbusculares mejora la estructura del suelo y reduce la susceptibilidad a la erosión. No obstante, se reconoce que el periodo de evaluación fue limitado, por lo que los resultados podrían optimizarse a medida que se alcance un mayor desarrollo radicular. En consecuencia, la técnica es considerada viable, con potencial de mejora a largo plazo.

CAPÍTULO 2: SUELOS

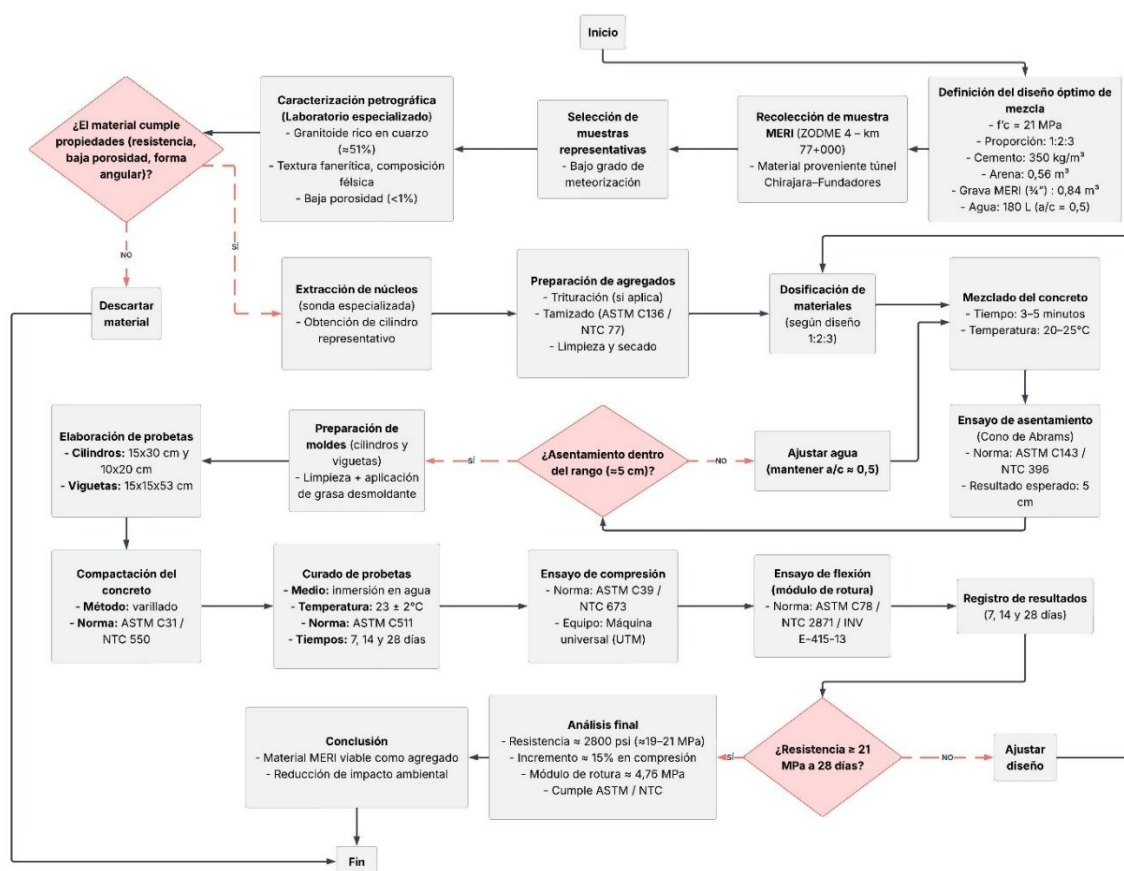
19. Evaluación de las propiedades mecánicas y cumplimiento normativo de los materiales MERI en concreto

Por: Angie Juliana Isairias Montoya y Lesly Daniela Hernández Rojas
2023

En esta sección se describe el procedimiento metodológico empleado para la caracterización de los materiales MERI, su incorporación en mezclas de concreto y la evaluación de su desempeño mecánico. Se incluyen las etapas de recolección, análisis petrográfico, diseño de mezcla, elaboración de probetas y ejecución de ensayos, con el fin de determinar la viabilidad técnica del material.

Figura 20

Diagrama de flujo: procedimiento técnico.



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 2: SUELOS

19.1. Resultados

Tabla 55

Propiedades del material MERI

Parámetro	Valor	Observación
Tipo de roca	Granitoide rico en cuarzo	Ígnea
Cuarzo	51%	Mineral predominante
Plagioclasa	16%	Albita-oligoclasa
Feldespatos potásicos	13%	Ortoclasa
Moscovita	8%	Alterada a clorita
Calcita	5%	Accesorio
Biotita	4%	Alterada a clorita
Zircón	1%	Accesorio
Opacos	2%	-

Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 2: SUELOS

Tabla 56*Diseño de mezcla óptimo (1 m³)*

Componente	Cantidad	Observación
Cemento	350kg	7 bultos
Arena	0,56m³	-
Grava MERI	0,84m³	Tamaño ¾"
Agua	180L	Relación a/c = 0,5

Nota. Elaborado por el autor.**Tabla 57***Dosificación de mezcla y dimensiones de probetas de concreto*

Categoría	Tipo/Componente	Dimensiones	Cantidad	Valor
Dosificación	Cemento	-	-	33 kg
Dosificación	Arena	-	-	52 kg
Dosificación	Grava MERI	-	-	78 kg
Dosificación	Agua	-	-	17 L
Dosificación	Volumen total	-	-	0,0882 m³
Probeta	Cilindro grande	15 x 30cm	9	5301,44cm³

CAPÍTULO 2: SUELOS

Categoría	Tipo/Componente	Dimensiones	Cantidad	Valor
Probeta	Cilindro pequeño	10 x 20cm	3	1570,80cm ³
Probeta	Vigueta	15 x 15 x 53cm	3	11925cm ³

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 58

Resultados de resistencia a compresión

Edad (días)	Cilindro grande (psi)	Cilindro pequeño (psi)
7	1460	1320
14	2494	2187
28	2802	2789

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 59 Resultados de flexión (módulo de rotura)

Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia (psi)
7	19,72	4,65	673,72
14	17,83	4,20	609,15
28	20,21	4,76	690,46

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 60*Evaluación final*

Parámetro	Resultado	Observación
Resistencia final	Cercana a 21 MPa	Cumple diseño
Mejora en compresión	15%	Superior a convencional
Cumplimiento normativo	ASTM / NTC	Adecuado
Viabilidad técnica	Alta	Aplicable en concreto
Impacto ambiental	Positivo	Aprovechamiento MERI

Nota. Elaborado por el autor.

19.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que el material MERI, clasificado como un granitoide rico en cuarzo y con baja porosidad, presenta propiedades físicas y mecánicas adecuadas para su uso como agregado en concreto. Fue observado que la resistencia a la compresión aumentó progresivamente con el tiempo de curado, alcanzando valores cercanos a la resistencia de diseño de 21 MPa a los 28 días. Asimismo, se registraron valores satisfactorios en el módulo de rotura, lo que indica un buen comportamiento a la flexión.

De igual manera, se verificó que los resultados cumplen con los parámetros establecidos por las normas ASTM y NTC aplicables, lo que respalda la confiabilidad del material en condiciones controladas de laboratorio. Adicionalmente, se identificó una mejora aproximada del 15% en la resistencia a compresión respecto a materiales convencionales.

CAPÍTULO 2: SUELOS

Se concluye que el uso de materiales MERI es técnicamente viable como sustituto de agregado grueso en la elaboración de concreto, contribuyendo además al aprovechamiento de materiales de excavación y a la reducción del impacto ambiental.

Referencias

- Herrera Zarta, W. E. (2021). *Análisis de la modificación del material natural existente de las calles marginales 9 y 8 paralelas a la avenida Maracos, intercepción anillo vial en la ciudad de Villavicencio-Meta, con poliestireno expandido triturado reciclado para su utilización en la estructura de pavimento.* <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/7c1052ba-4279-4970-9a4d-81cc2d0dfac2/content>
- Isairias Montoya, A. J., & Hernández Rojas, L. D. (2023). *Viabilidad y aplicabilidad de los materiales MERI en proyectos de ingeniería civil, caso carretera Bogotá–Villavicencio, tramo Chirajara–Fundadores.* <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/2ee8cae8-05fe-4dfb-a23b-a653fd648124/content>
- Sánchez Restrepo, S. A., & Oviedo Solano, S. (2019). *Control de la erosión de taludes mediante el uso de vetiver y micorrizas arbusculares, zona de Soceagro en el municipio de Villavicencio – Meta.* <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/9d690483-649a-4965-8677-d0f906796647/content>



CAPÍTULO 3:

VÍAS Y TRANSPORTE

Resumen

En el presente capítulo son presentados once trabajos de grado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, seleccionados a partir de 378 investigaciones disponibles en la biblioteca virtual CRAI. La selección fue realizada según su relación con el enfoque de Vías y Transporte, específicamente en el uso de materiales no convencionales en infraestructura vial.

A partir de estos estudios, es evidenciada una tendencia hacia la innovación en materiales dentro de la ingeniería civil, especialmente en el diseño, construcción y mejoramiento de pavimentos. Se destaca la incorporación de residuos y materiales alternativos como polímeros, vidrio, biosólidos, caucho reciclado y subproductos industriales, cuya viabilidad ha sido evaluada mediante ensayos de laboratorio y metodologías estandarizadas.

En el capítulo son incluidas investigaciones de carácter experimental y teórico. Por una parte, se presentan estudios orientados a la modificación de mezclas asfálticas y la caracterización de materiales, a partir del análisis de sus propiedades físicas y mecánicas para determinar su desempeño. Por otra, se integran revisiones bibliográficas que consolidan el estado del arte sobre materiales alternativos en infraestructura vial, aportando bases técnicas para su aplicación.

Finalmente, son identificadas alternativas viables para la implementación de materiales no convencionales en proyectos viales, favoreciendo la optimización de recursos, el mejoramiento del desempeño de los pavimentos y la adopción de prácticas más sostenibles.

Palabras claves. Materiales no convencionales, infraestructura vial, ingeniería civil, pavimentos, mezclas asfálticas, modificación de ligantes asfálticos, caracterización de materiales, propiedades físico-mecánicas, ensayos de laboratorio, metodología Marshall, desempeño estructural, subrasante, mejoramiento de suelos, terraplenes aligerados, materiales reciclados, sostenibilidad vial, residuos sólidos, aprovechamiento de residuos, polímeros, polietileno de alta densidad (PEAD), caucho reciclado (GCR), vidrio templado, biosólidos, cenizas, nylon, RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), RCD (Residuos de Construcción y Demolición), nanoarcillas, ligantes modificados, vía seca, vía húmeda, estabilidad, flujo, durabilidad, resistencia,

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

comportamiento mecánico, análisis técnico, evaluación de materiales, diseño de pavimentos, innovación en materiales, economía circular, impacto ambiental.

Introducción

En la ingeniería civil, el desarrollo de la infraestructura vial ha estado tradicionalmente asociado al uso de materiales convencionales. Sin embargo, con el paso del tiempo, ha sido reconocida la necesidad de buscar alternativas que respondan a diferentes problemáticas, como el deterioro prematuro de los pavimentos, los altos costos de los materiales tradicionales y la acumulación de residuos que no están siendo aprovechados de manera adecuada.

Frente a esta situación, ha sido impulsado el estudio de materiales no convencionales aplicados a vías y transporte, con el propósito de mejorar el desempeño de las estructuras viales y, al mismo tiempo, dar un uso más eficiente a distintos tipos de residuos. En este capítulo son abordados once trabajos de grado desarrollados en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, en los cuales han sido analizadas diversas alternativas basadas en la incorporación de materiales reciclados y subproductos industriales.

En estos estudios han sido identificadas problemáticas relacionadas con la resistencia, la durabilidad y el comportamiento de los materiales en pavimentos, así como la necesidad de optimizar las propiedades de los ligantes asfálticos. Como respuesta, han sido propuestas soluciones que incluyen la modificación de mezclas asfálticas y la caracterización de materiales como polímeros, vidrio, biosólidos, caucho reciclado y otros residuos, evaluados mediante ensayos de laboratorio.

También han sido consideradas investigaciones de tipo teórico, en las que se recopila y analiza información existente sobre el uso de materiales alternativos en infraestructura vial. Estas revisiones permiten entender mejor el estado actual del tema y sirven como base para futuras aplicaciones dentro de la ingeniería vial.

De esta manera, se evidencia que el uso de materiales no convencionales no solo responde a necesidades técnicas, sino que también representa una alternativa viable desde el punto de vista ambiental y económico, al promover el aprovechamiento de residuos y la optimización de recursos.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

En este capítulo es presentada una visión clara sobre el uso de materiales innovadores en vías y transporte, en la que se abordan tanto las problemáticas como las soluciones propuestas desde la investigación académica, aportando al fortalecimiento del conocimiento en la ingeniería civil.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Metodología

En este capítulo se presenta la metodología, donde se describen las etapas, procedimientos y ensayos necesarios para la obtención y análisis de los resultados. Esto permite estructurar de manera clara y ordenada cada fase, facilitando su comprensión y aplicación.

En la siguiente tabla se presentan los trabajos de grado seleccionados que hacen parte del capítulo de vías y transporte, los cuales abordan diferentes enfoques relacionados con el diseño, construcción, operación y análisis del sistema vial y del tránsito.

Tabla 61

Tesis del capítulo de vías y transporte.

No.	Nombres y Apellidos Estudiante	Título del Proyecto	Enlace
1	Wilson Camilo Fuentes Baquero	Caracterización de los materiales MERI producidos en la excavación de los túneles del corredor vial Chirajara – fundadores	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/ce6f2c70-e7ea-4fbb-a668-574a2ba8e99a/content
2	Paula Yineth Cabezas López	Caracterización física de un ligante asfáltico 60/70 modificado con desechos de polietileno de alta densidad (D-PEAD)	Caracterización física de un ligante asfáltico 60/70 modificado con desechos de polietileno de alta densidad (D-PEAD)
3	Luisa Alejandra Arévalo Prieto	Caracterización física de un ligante asfáltico 60/70 modificado con GCR y nanoarcilla	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/02fe86b2-a473-417b-b06d-1af8825c0e34/content

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

No.	Nombres y Apellidos Estudiante	Título del Proyecto	Enlace
4	Federico Esteban Barón Ditterich Y Kewin Sebastián Duque Velasquez	Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada por vía seca con cenizas de Biosólidos generados por la PTAR de acacias, meta.	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/086f9dad-390f-440c-888b-5b418e40c20a/content
5	Juan Camilo Castillo Rojas	Estudio del comportamiento físico-mecánico de una mezcla asfáltica modificada con desechos de nylon y ceniza volantes	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/f11ebcc0-cb03-451c-b10f-468ffec08d63/content
6	Juan David Guillot Forero	Análisis técnico y ambiental del uso de materiales reciclados (RAP, GCR y RCD) en mezclas asfálticas sostenibles en Colombia	https://repository.usta.edu.co/items/0f6658c9-f558-4046-a15d-f42d7cfa1050
7	Edwin Fernando Vanegas Manrique Y Laura Inés Segura Calleja	Evaluación de una mezcla asfáltica modificada con vidrio templado molido por medio de la metodología Marshall	https://repository.usta.edu.co/items/db343ad0-07e1-46ea-b108-6b2689d3032b
8	Brandon Stiven Contento Martínez Y Diana Carolina Herrera Villamizar	Evaluación de una mezcla asfáltica modificada con vidrio templado molido por vía húmeda teniendo en cuenta la metodología Marshall	Evaluación De Una Mezcla Asfáltica Modificada Con Vidrio Templado Molido Por Vía Humedad Teniendo En Cuenta La Metodología Marshall
9	Mariángélica Mateus Romero	Materiales utilizados en la construcción de terraplenes aligerados destinados a obras viales	Materiales Utilizados en la Construcción de Terraplenes Aligerados

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

No.	Nombres y Apellidos Estudiante	Título del Proyecto	Enlace
			<u>Destinados a Obras Viales.</u>
10	Marco Esteban Neira Acosta	Revisión estado del arte del uso de residuos de concreto para el mejoramiento de subrasantes en las estructuras de pavimentos	<u>https://repository.usta.edu.co/items/5bd15979-a929-455a-b3b7-effb791bd5c6</u>
11	Carlos Alberto Martínez Henao	Revisión teórica de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros en Colombia	<u>https://repository.usta.edu.co/items/d9642c9f-1672-4a75-b3fb-1e83d1daa4a7</u>

Nota. Elaborado por el autor.

A continuación, se desarrolla cada una de las tesis presentadas, incluyendo su procedimiento técnico, los resultados obtenidos y un breve análisis de estos.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

20. Materiales MERI provenientes de excavación de túneles: caracterización y aplicaciones en obras viales

Wilson Camilo Fuentes Baquero
2023

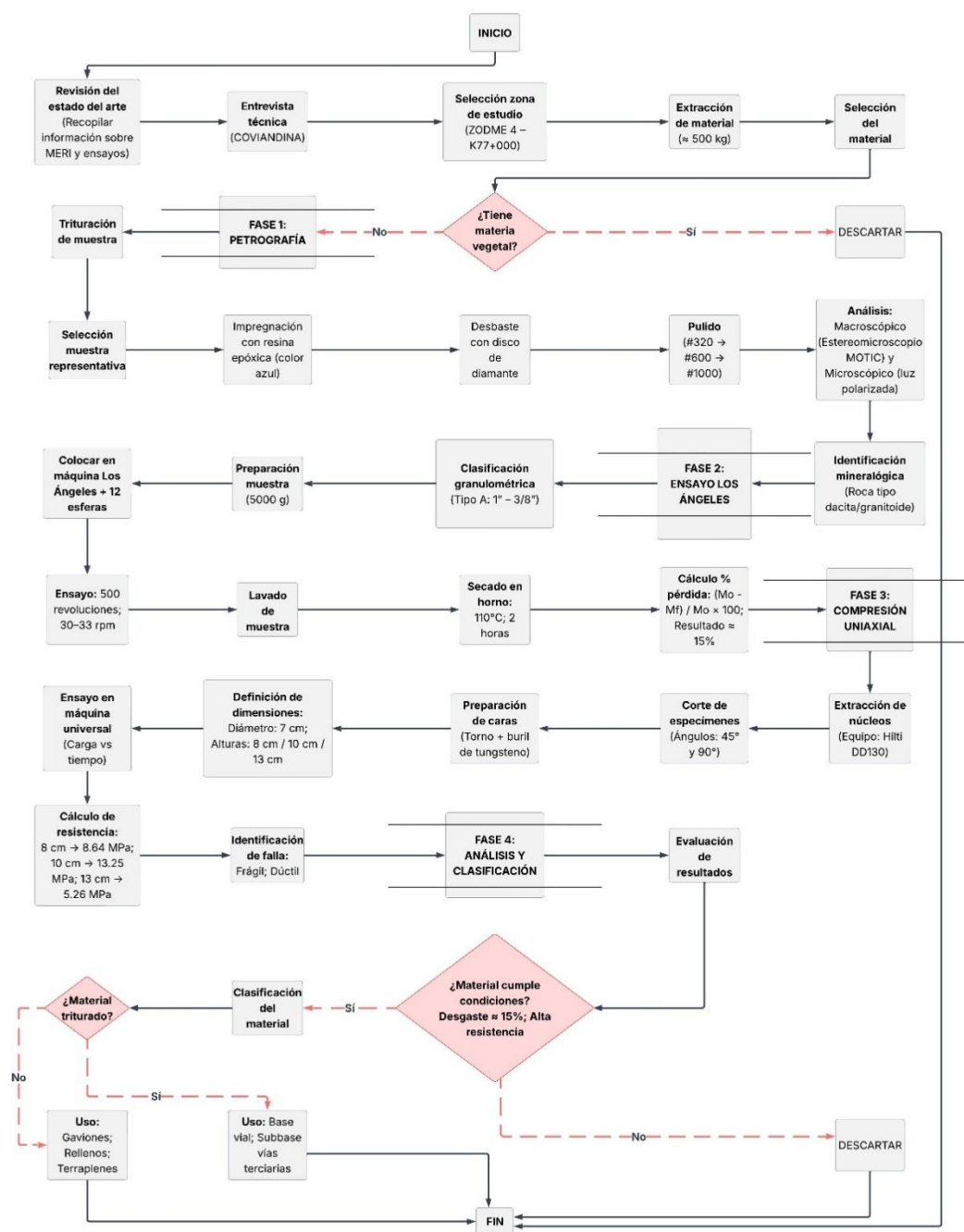
La metodología empleada se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo experimental, mediante el cual son establecidas una serie de etapas para la caracterización de los materiales MERI provenientes de la excavación de túneles. Para ello, son realizadas actividades de recolección y preparación de muestras, así como la ejecución de ensayos de laboratorio como la petrografía, el desgaste en máquina de Los Ángeles y la compresión uniaxial.

A través de este proceso, son evaluadas las propiedades físicas y mecánicas del material, con el fin de determinar su comportamiento y su viabilidad para su reutilización en aplicaciones de ingeniería vial.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Figura 21

Diagrama de flujo del procedimiento técnico para la caracterización y aprovechamiento de materiales MERI



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

20.1. Resultados

Tabla 62

Caracterización física.

Ensayo	Parámetro evaluado	Resultado obtenido	Interpretación
Petrografía	Tipo de roca	Dacita (ígneas)	Alta resistencia, rica en cuarzo
Granulometría	Clasificación	Tipo A (1" – 3/8")	Apta para ensayo Los Ángeles
Desgaste Los Ángeles	% de pérdida	15%	Material resistente, apto para uso vial

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 63

Densidad

Espécimen	Altura (cm)	Masa (kg)	Volumen (m³)	Densidad (kg/m³)
1	8	1.2	0.0012315	974.42
2	10	1.3	0.0015394	844.5
3	13	1.5	0.0020012	749.55

Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Tabla 64*Resistencia a compresión*

Espécimen	Altura (cm)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Tipo de falla
1	8	133	8.64	Dúctil
2	10	204	13.25	Frágil
3	13	81	5.26	Dúctil

Nota. Elaborado por el autor.**Tabla 65***Clasificación y uso*

Tipo de material	Condición	Uso propuesto
Material triturado	Desgaste = 15%	Base y subbase en vías terciarias
Material grueso	Alta resistencia	Gaviones
Material no clasificado	Buen comportamiento mecánico	Rellenos y terraplenes

Nota. Elaborado por el autor.**20.2. Análisis e interpretación de resultados**

El análisis de resultados se evidenció que los materiales MERI presentan un buen comportamiento mecánico y físico, destacándose un porcentaje de desgaste del 15%, lo cual los hace aptos para su reutilización en obras como vías, gaviones y terraplenes. Asimismo, los ensayos

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

de compresión mostraron una alta resistencia del material, con fallas de tipo frágil y dúctil, siendo el espécimen de 10 cm el que soportó mayor carga.

En términos de impacto, el aprovechamiento de estos materiales permite reducir la disposición en ZODME y disminuir la explotación de recursos naturales, promoviendo así un uso más eficiente y sostenible de los materiales generados en excavaciones.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

21. Asfalto sostenible 60/70 modificado con residuos de polietileno de alta densidad (D-PEAD)

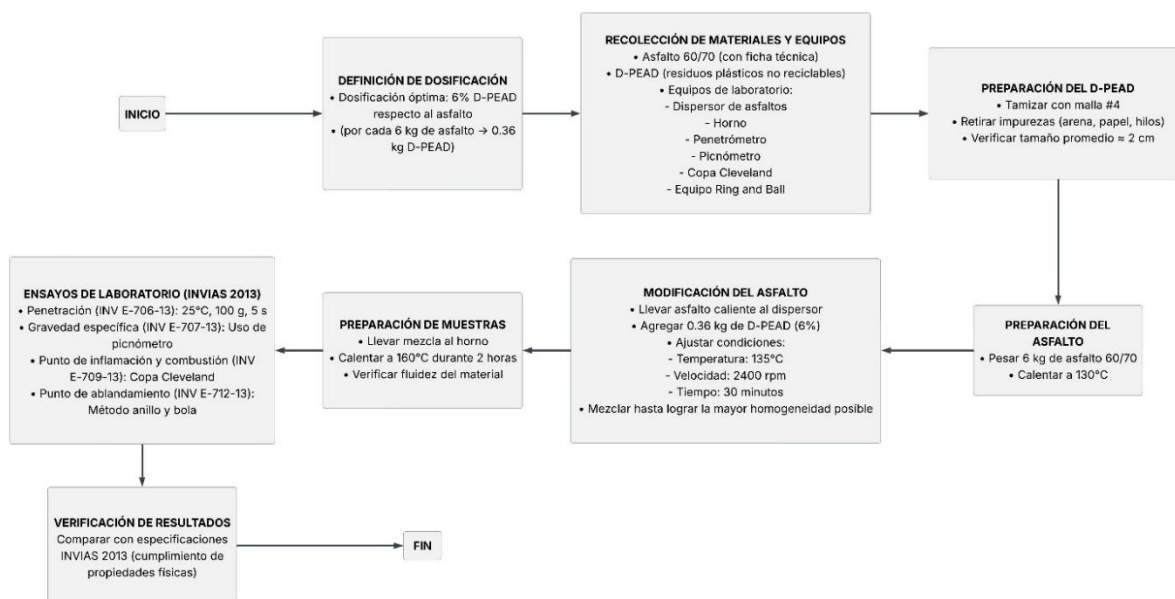
*Por: Paula Yineth Cabezas López
2020*

La metodología empleada se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo experimental, mediante el cual son establecidas una serie de etapas orientadas a la modificación y caracterización de un ligante asfáltico 60/70 con desechos de polietileno de alta densidad. Para ello, son realizadas actividades de recolección y preparación de materiales, así como el proceso de dosificación y mezclado del ligante, junto con la ejecución de ensayos de laboratorio conforme a las normas INVIAS.

A través de este procedimiento, son evaluadas las propiedades físicas del material modificado, con el fin de determinar su comportamiento y su viabilidad como alternativa sostenible en pavimentos flexibles.

Figura 22

Diagrama de flujo del procedimiento experimental para la modificación de asfalto 60/70 con D-PEAD (6%)



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

21.1. Resultados

Tabla 66

Resultados del comportamiento del ligante asfáltico modificado con D-PEAD

Parámetro	Evaluación 6% D-PEAD	Evaluación >8% D-PEAD	Evaluación 10% D-PEAD	Observación General
Homogeneización (135°C)	Parcialmente homogéneo	No homogéneo	No homogéneo	Presencia de partículas sin disolver
Fluidez	Adecuada	Media	Baja o nula	Disminuye con mayor contenido de D-PEAD
Penetración	Disminución moderada	Disminución >35%	Muy baja	Mayor rigidez del ligante
Rigidez	Moderada	Alta	Muy alta	Aumenta con el contenido de D-PEAD
Temperatura de trabajo	≤160°C funcional	Requiere mayor temperatura	>160°C no viable	Riesgo de oxidación a altas temperaturas
Punto de inflamación	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Mejora resistencia térmica
Punto de ablandamiento	Aumenta	Aumenta significativamente	Muy alto	Mayor consistencia del material
Viscosidad a alta temperatura	Menor	Mayor	Muy alta	Mejor comportamiento térmico al 6%

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Parámetro	Evaluación 6% D- PEAD	Evaluación >8% D-PEAD	Evaluación 10% D- PEAD	Observación General
Trabajabilidad	Adecuada	Limitada	Deficiente	Se reduce con mayor porcentaje
Comportamiento ante cargas cíclicas	Favorable	Menos favorable	Desfavorable	Mejor desempeño al 6%
Cumplimiento INVIAS 2013	Cumple	Cumple	Cumple	Todos cumplen requisitos mínimos
Conclusión	Óptimo	No óptimo	No viable	Mejor desempeño con 6% D-PEAD

Nota. Elaborado por el autor.

21.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidencia que el comportamiento del ligante asfáltico modificado depende directamente del contenido de D-PEAD. Se observa que, al aumentar el porcentaje, se presentan dificultades en la homogenización, menor fluidez y reducción en la trabajabilidad, lo cual limita su aplicación práctica.

En términos de propiedades físicas, se identifica que contenidos superiores al 8% generan un aumento significativo en la rigidez, afectando negativamente el comportamiento frente a cargas cíclicas. En el caso del 10%, no se logra una fluidez adecuada a temperaturas de trabajo, por lo que se considera no viable.

Por el contrario, con una dosificación del 6% de D-PEAD, se obtiene un comportamiento más equilibrado, con adecuada trabajabilidad, rigidez moderada y buen desempeño funcional. En este sentido, se concluye que la modificación es viable únicamente para este porcentaje, al cumplir

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

con los requisitos del INVIAS 2013 y presentar mejores condiciones para su aplicación en pavimentos flexibles.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

22. Análisis del comportamiento físico de un ligante asfáltico 60/70 modificado con grano de caucho reciclado (GCR) y nanoarcilla para pavimentos de ingeniería civil sostenible

Por: Luisa Alejandra Arévalo Prieto
2020

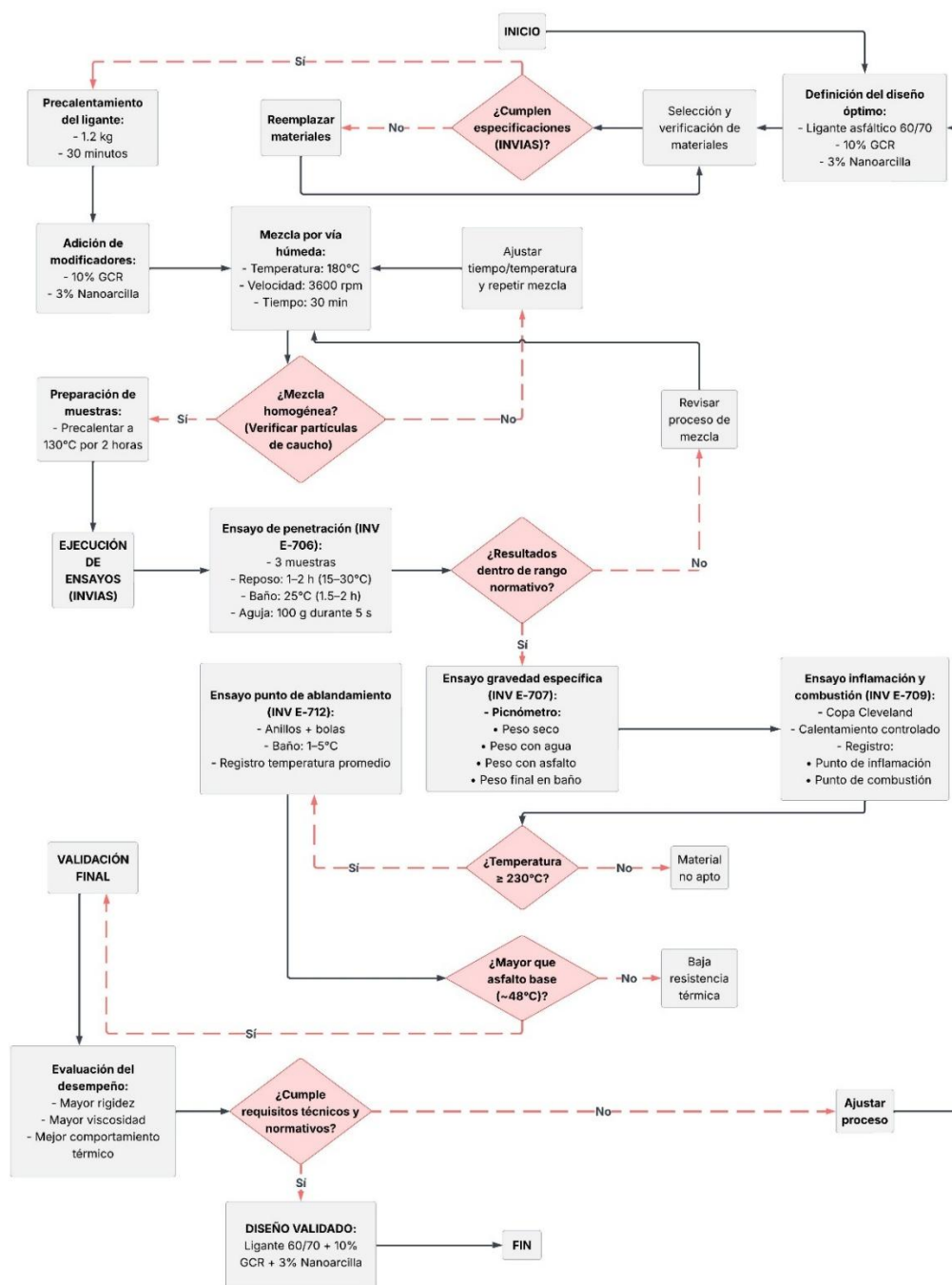
La metodología se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo experimental, mediante el cual son definidas etapas orientadas a la modificación y caracterización de un ligante asfáltico 60 70 con grano de caucho reciclado y nanoarcilla. Para ello, son realizadas actividades de selección y preparación de materiales, junto con la dosificación y el mezclado del ligante en condiciones controladas.

Posteriormente, son ejecutados ensayos de laboratorio conforme a las normas INVIAS, con el fin de evaluar las propiedades físicas del material modificado. A partir de este procedimiento, es analizado el comportamiento del ligante en comparación con el asfalto convencional, permitiendo determinar su desempeño y su viabilidad como alternativa sostenible en pavimentos flexibles.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Figura 23

Diagrama de flujo: Procedimiento técnico para la modificación de ligante asfáltico 60/70 con GCR y nanoarcilla (diseño óptimo)



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

22.1. Resultados

Tabla 67

Resultados de la caracterización física del ligante asfáltico modificado con GCR y nanoarcilla

Aspecto evaluado	Resultado observado	Interpretación técnica
Homogeneidad de la mezcla	Distribución casi homogénea de los modificadores; presencia de pequeñas partículas de caucho sin desintegrar.	La mezcla presenta buena integración, aunque el GCR no se disuelve completamente debido a su naturaleza elastomérica.
Composición volumétrica	No se evidencian cambios significativos entre 10% GCR + 2% NA y 10% GCR + 3% NA	La nanoarcilla no afecta la relación masa/volumen; su influencia es principalmente física y reológica
Ensayo de penetración	Disminución de valores de penetración respecto al asfalto base (mayor rigidez)	Aumento de rigidez y viscosidad, mejorando la resistencia a deformaciones permanentes
Resistencia a altas temperaturas	Punto de combustión entre 301°C y 381°C para el asfalto modificado	Mejora significativa en estabilidad térmica, reduciendo el riesgo de ignición durante procesos constructivos
Punto de ablandamiento	Incremento respecto al asfalto base (~48°C) hasta valores cercanos a 55–59°C	Mayor resistencia al flujo a altas temperaturas, reduciendo deformaciones en servicio
Desempeño general	Mejora en propiedades físicas y comportamiento viscoelástico del ligante	Material más estable, duradero y adecuado para pavimentos flexibles
Diseño óptimo	10% GCR + 3% Nanoarcilla	Presenta mayor rigidez, mejor comportamiento viscoelástico y mayor resistencia térmica

Nota. Elaborado por el autor.

22.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidencia que la modificación del ligante asfáltico 60 70 con GCR y nanoarcilla genera mejoras significativas en sus propiedades físicas, especialmente en términos de rigidez, viscosidad y resistencia a altas temperaturas. Aunque se observa la presencia de partículas de caucho no totalmente integradas, se considera que no afectan de manera crítica el desempeño del material.

Se determina que la nanoarcilla no modifica la composición volumétrica, pero sí contribuye al mejoramiento del comportamiento reológico del ligante. Asimismo, el incremento en el punto de ablandamiento y la mayor resistencia térmica indican una mejor respuesta frente a condiciones de servicio exigentes, reduciendo la susceptibilidad a deformaciones.

Se concluye que el uso de GCR y nanoarcilla en el ligante asfáltico resulta viable, destacándose como opción óptima la dosificación de 10 por ciento de GCR y 3 por ciento de nanoarcilla, debido a su mejor desempeño físico y estabilidad térmica para su aplicación en pavimentos flexibles.

23. Cenizas de biosólidos de PTAR como solución sostenible en mezclas asfálticas

Por: Federico Esteban Barón Ditterich y Kewin Sebastián Duque Velasquez

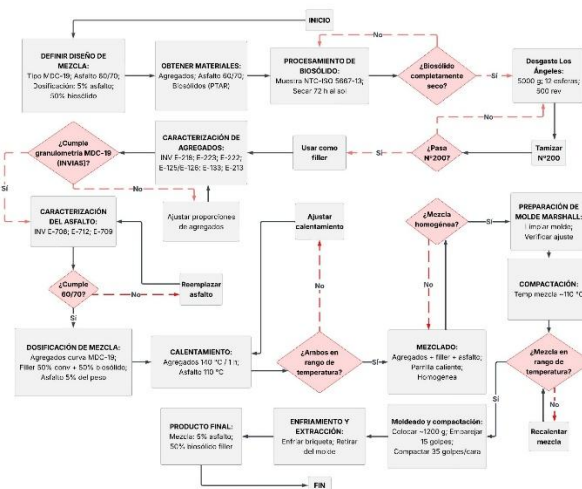
2020

La metodología es desarrollada bajo un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo experimental, mediante el cual son definidas etapas orientadas a la elaboración y caracterización de una mezcla asfáltica densa en caliente MDC 19 modificada con cenizas de biosólidos provenientes de la PTAR. Para ello, son realizadas actividades de selección, obtención y acondicionamiento de materiales, así como la dosificación óptima de la mezcla, el procesamiento del biosólido y el mezclado del material asfáltico en condiciones controladas de temperatura.

Posteriormente, son ejecutados ensayos de laboratorio conforme a las normas INVIAS, con el fin de evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla modificada. A partir de este procedimiento, es analizado el comportamiento del material en comparación con una mezcla convencional, permitiendo determinar su desempeño y su viabilidad como alternativa sostenible en la construcción de pavimentos.

Figura 24

Diagrama de flujo del procedimiento técnico para la elaboración de mezcla asfáltica modificada con biosólidos (dosificación óptima).



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

23.1. Resultados

Tabla 68*Dosificación óptima de la mezcla asfáltica modificada con biosólidos*

Parámetro	Valor
Tipo de mezcla	MDC-19
Tipo de asfalto	60/70
Contenido de asfalto	5%
Contenido de biosólido	50%

Nota. Elaborado por el autor.**Tabla 69***Propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica con dosificación óptima*

Propiedad	Valor
Estabilidad media	10.8KN
Vacíos	2.80%

Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Tabla 70*Comparación del módulo dinámico de la mezcla asfáltica con y sin biosólidos*

Condición	Módulo dinámico (N/m ²)
Sin biosólido	5.90E+09
Con 50% biosólido	6.20E+09

Nota. Elaborado por el autor.**Tabla 71***Mejoras en el desempeño de la mezcla asfáltica modificada con biosólidos*

Parámetro	Descripción
Estabilidad	Aumento significativo
Vacíos	Reducción del contenido de vacíos
Durabilidad	Incremento de la vida útil del pavimento
Deformación	Mayor capacidad de deformación sin falla
Envejecimiento	Disminución del envejecimiento prematuro
Daños superficiales	Reducción de patologías

Nota. Elaborado por el autor.

23.2. Análisis e interpretación de resultados

El análisis de resultados es realizado a partir de las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con cenizas de biosólidos. Es evidenciado un incremento en la estabilidad, así como un adecuado control del porcentaje de vacíos, lo que favorece la durabilidad del material. De igual forma, es identificado un aumento en el módulo dinámico, indicando una mejor respuesta mecánica de la mezcla.

En conclusión, es determinado que la dosificación con 5% de asfalto y 50% de biosólido como reemplazo de la llenante mineral resulta técnicamente viable, al cumplir con los criterios establecidos por el INVIAS y mejorar el desempeño frente a una mezcla convencional, además de representar una alternativa sostenible.

24. Uso de nylon y ceniza volante en mezclas asfálticas

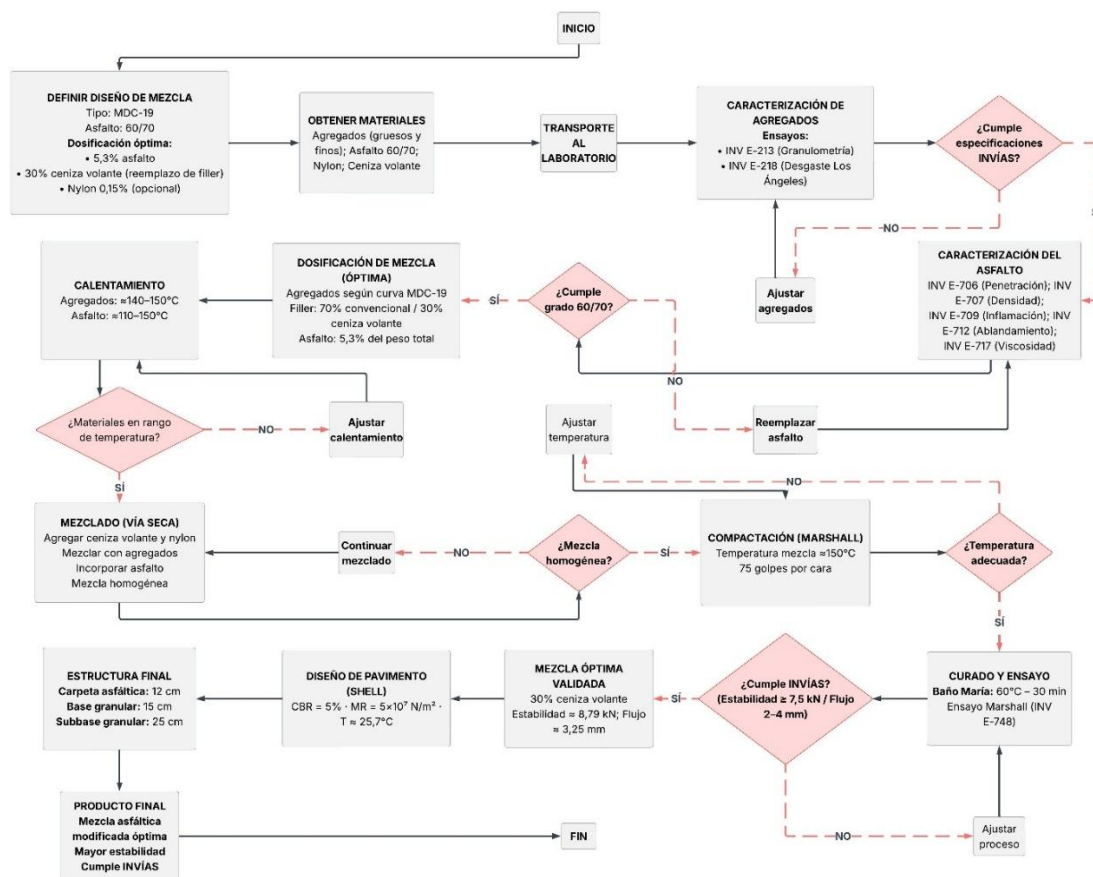
Por: Juan Camilo Castillo Rojas

2021

La modificación del asfalto fue realizada por vía seca, donde los materiales modificantes fueron incorporados directamente a los agregados antes de la adición del ligante. Previamente, los materiales fueron caracterizados y se definió la dosificación óptima. Posteriormente, la mezcla fue calentada, homogenizada y compactada mediante el método Marshall, permitiendo verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos por la normativa INVÍAS.

Figura 25

Diagrama de flujo del procedimiento técnico de la mezcla asfáltica modificada por vía seca



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

24.1. Resultados

Tabla 72

Contenido óptimo de asfalto determinado mediante el método Marshall

Parámetro	Valor	Método/Referencia
Contenido óptimo de asfalto	5,3%	Ensayo Marshall

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 73

Caracterización físico-mecánica de los materiales

Parámetro	Resultado	Observación/Referencia
Agregados gruesos (distribución)	97%	Entre tamiz 3/8" y No. 4 (Fig. 10.14)
Agregados finos (distribución)	75%	Retenido en tamices No. 10 y No. 40 (Fig. 10.15)
Desgaste Los Ángeles	15,81%	Cumple (<25% para NT2)
Ceniza volante (retención)	70%	Tamiz No. 200 (Fig. 10.16)
Reemplazo de filler con ceniza	30%	Dosificación óptima

Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Tabla 74*Resultados del ensayo Marshall para la mezcla asfáltica modificada*

Parámetro	Valor	Observación
Estabilidad	8,79 kN	Mezcla con 30% ceniza volante
Flujo	3,25 mm	Cumple INVÍAS (2–4 mm)
Vacíos	1,53%	Mejor comportamiento
Tipo de mezcla	Modificada	Superior a mezcla convencional y con nylon

Nota. Elaborado por el autor.**Tabla 75***Estructura del pavimento diseñada mediante la metodología Shell*

Capa	Espesor	Módulo	Observación
Carpeta asfáltica	12 cm	1,0E+09 N/m ²	Mezcla MDC-19 (T ≈ 25,7°C)
Base granular	15 cm	8,0E+08 N/m ²	-
Subbase granular	25 cm	4,0E+08 N/m ²	-
Subrasante	-	5,0E+07 N/m ²	CBR = 5%

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Espesor total granular	40 cm	-	Base + Subbase
------------------------	-------	---	----------------

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 76*Parámetros y condiciones de diseño del pavimento*

Parámetro	Valor
Tipo de mezcla	MDC-19
Tránsito	NT2
Temperatura media ponderada	25,7°C
CBR	5%

Nota. Elaborado por el autor.

24.2. Análisis e interpretación de resultados

Se evidenció que la mezcla modificada con 30% de ceniza volante presentó un mejor desempeño, alcanzando valores de estabilidad y flujo dentro de los rangos exigidos por la normativa INVÍAS, lo que indica una adecuada resistencia y comportamiento mecánico. Por el contrario, las mezclas con nylon mostraron una disminución en la estabilidad, afectando su capacidad estructural. En consecuencia, se determinó que el uso de ceniza volante es viable, mientras que la incorporación de nylon no resulta adecuada bajo las condiciones evaluadas.

25. Pavimentos sostenibles con materiales reciclados (RAP y GCR)

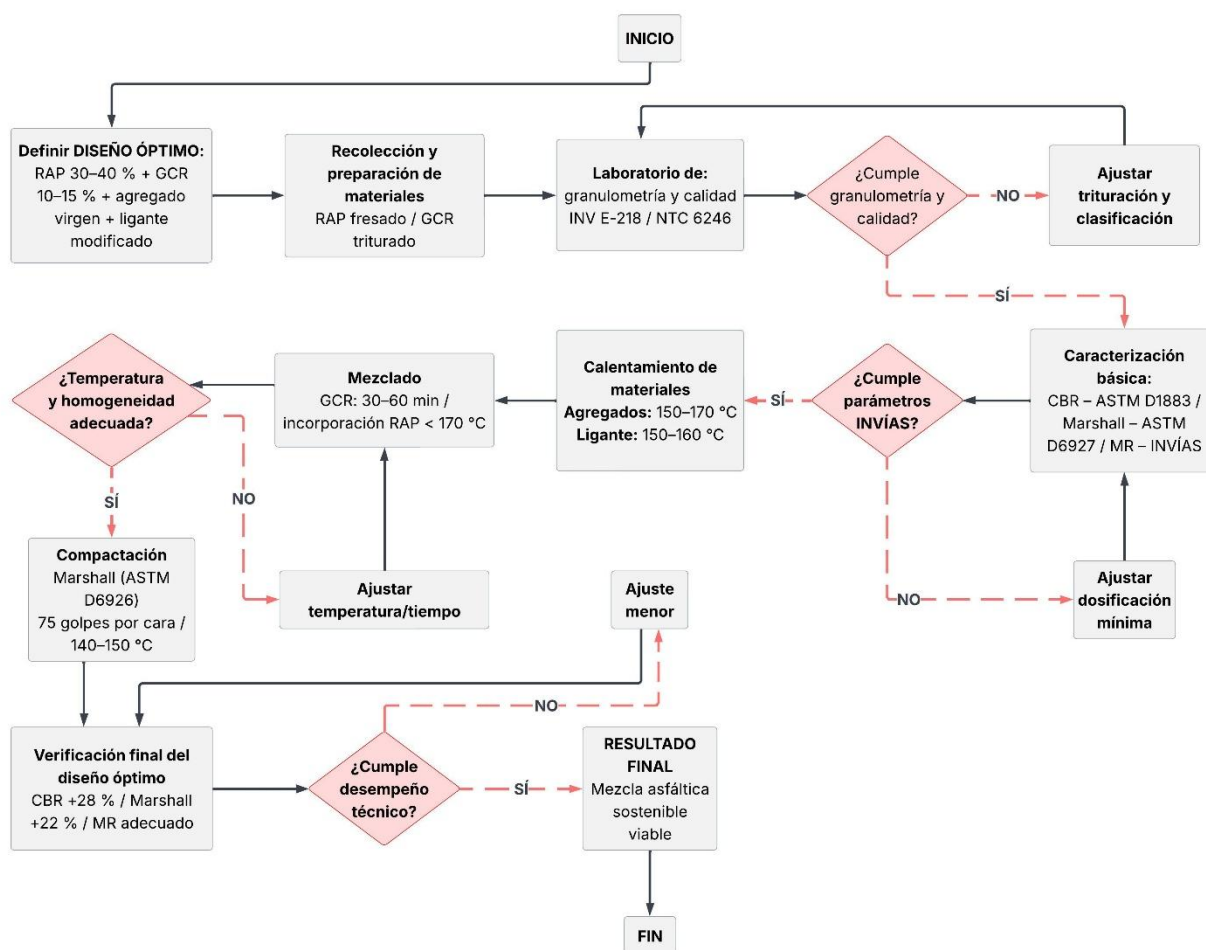
Por: Juan David Guillot Forero

2025

El pavimento asfáltico recuperado (RAP) es obtenido a partir del fresado de capas asfálticas existentes y es reutilizado en nuevas mezclas. El grano de caucho reciclado (GCR) es producido mediante la trituración de neumáticos en desuso y es incorporado como modificador del ligante, mejorando la durabilidad y el desempeño del pavimento.

Figura 26

Diagrama de flujo del procedimiento técnico para mezclas asfálticas sostenibles con RAP y GCR.



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

25.1. Resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidencia que el uso de materiales reciclados en mezclas asfálticas es técnicamente viable y ambientalmente favorable. Se confirma que el desempeño estructural requerido puede ser alcanzado mediante la incorporación de RAP, GCR y RCD, sin comprometer la calidad del pavimento. Asimismo, se demuestra que su implementación permite reducir impactos ambientales y costos asociados, consolidándose como una alternativa eficiente dentro de los enfoques de sostenibilidad y economía circular en la infraestructura vial.

Tabla 77*Resultados*

Categoría	Resultado clave
Técnico y normativo	RAP: +28 % CBR; GCR: +22 % estabilidad Marshall; RCD: MR adecuado. Desempeño igual o superior al convencional.
Ambiental	RAP: -30 % CO ₂ ; RCD: -40 % extracción de agregados; GCR: aprovechamiento de llantas.
Económico	Reducción de costos: hasta -25 % en producción y 15–20 % en mantenimiento.

Nota. Elaborado por el autor.

25.2. Análisis e interpretación de resultados

El análisis de resultados es realizado a partir del comportamiento técnico, ambiental y económico de la mezcla asfáltica modificada con RAP, GCR y RCD. Es evidenciado un incremento en el desempeño mecánico, reflejado en el aumento del CBR y la estabilidad Marshall, así como en valores adecuados de módulo resiliente, lo que favorece la respuesta estructural del pavimento. De igual forma, es identificada una reducción en emisiones de CO₂ y en el uso de materiales vírgenes, junto con una disminución en los costos de producción y mantenimiento.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

En conclusión, es determinado que la incorporación de RAP, GCR y RCD resulta técnicamente viable, al cumplir con los criterios establecidos por la normativa vigente y mejorar el desempeño frente a mezclas convencionales, además de representar una alternativa sostenible y económicamente eficiente.

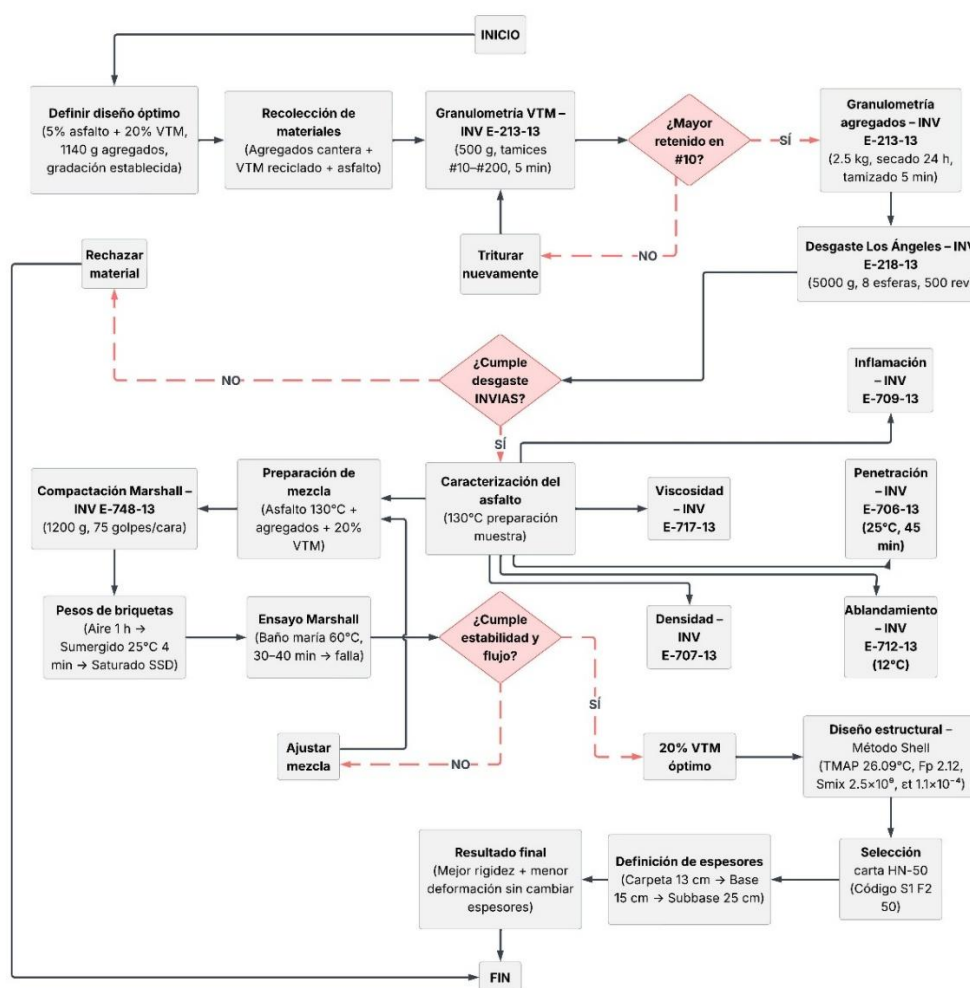
26. Mezcla asfáltica con vidrio templado molido (VTM)

*Por: Edwin Fernando Vanegas Manrique y Laura Inés Segura Calleja
2021*

La metodología se basó en el diseño de mezclas asfálticas mediante el método Marshall, incorporando vidrio templado molido (VTM) por vía seca, es decir, como reemplazo parcial del agregado pétreo sin modificar el ligante asfáltico. Este enfoque permitió evaluar su comportamiento frente a una mezcla convencional bajo condiciones de laboratorio estandarizadas.

Figura 27

Diagrama de flujo del diseño Marshall de mezcla asfáltica con VTM



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

26.1. Resultados

Tabla 78

Granulometría de la mezcla asfáltica óptima (5% asfalto)

Tamiz	Porcentaje (%)	Peso (g)
1/2"	12.5	142.5
3/8"	9.5	108.3
Nº4	23	262.2
Nº10	21	239.4
Nº40	18.5	210.9
Nº80	8	91.2
Nº200	7.5	85.5
TOTAL	100	1140
Contenido de asfalto (%)	5	

Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Tabla 79*Parámetros de diseño estructural – Método Shell (mezcla convencional)*

Parámetro	Valor
TMAP (°C)	26.09
Precipitación (mm)	4146.933
Factor de precipitación (Fp)	2.12
W-MAAT (°C)	26
T800 (°C)	50
ΔT (°C)	14
Rigidez asfalto (N/m ²)	2.00E+06
Rigidez mezcla Smix (N/m ²)	2.00E+09
Deformación ϵ_t	1.30E-04
Código mezcla	S1 F2 50
Carta diseño	HN-50
N8,2	5.00E+06
Mr subrasante (N/m ²)	5.00E+07
Carpeta asfáltica (cm)	13

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Parámetro	Valor
Base granular (cm)	15
Subbase granular (cm)	25
Espesor granular total (cm)	40

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 80

Parámetros de diseño estructural – Método Shell (mezcla modificada con 20% VTM)

Parámetro	Valor
TMAP (°C)	26.09
Precipitación (mm)	4146.933
Factor de precipitación (Fp)	2.12
W-MAAT (°C)	26
T800 (°C)	50
ΔT (°C)	14
Rigidez asfalto (N/m ²)	2.00E+06
Rigidez mezcla Smix (N/m ²)	2.50E+09
Deformación ϵ_t	1.10E-04

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Parámetro	Valor
Código mezcla	S1 F2 50
Carta diseño	HN-50
N8,2	5.00E+06
Mr subrasante (N/m ²)	5.00E+07
Carpeta asfáltica (cm)	13
Base granular (cm)	15
Subbase granular (cm)	25
Espesor granular total (cm)	40

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 81

Comparación de parámetros estructurales entre mezcla convencional y modificada con VTM

Parámetro	Convencional	Modificada (20% VTM)	Variación
Smix (N/m ²)	2.00E+09	2.50E+09	25%
ti	1.30E-04	1.10E-04	-15%
Carpeta (cm)	13	13	0%

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Parámetro	Convencional	Modificada (20% VTM)	Variación
Base (cm)	15	15	0%
Subbase (cm)	25	25	0%

Nota. Elaborado por el autor.

26.2. Análisis e interpretación de resultados

El análisis de resultados es realizado a partir del comportamiento técnico de la mezcla asfáltica modificada con vidrio templado molido (VTM). Es evidenciado un incremento en el desempeño mecánico, reflejado en mayores valores de estabilidad Marshall y en el aumento de la rigidez de la mezcla (S_{mix}), así como en una disminución de la deformación unitaria (ϵ_t), lo que favorece la respuesta estructural del pavimento. De igual forma, es identificada una mejora en términos ambientales, al reducirse el uso de materiales pétreos y aprovechar un residuo no reciclable.

En conclusión, es determinado que la incorporación de VTM es viable, al cumplir con los criterios técnicos establecidos y mejorar el comportamiento frente a una mezcla convencional, además de representar una alternativa sostenible sin requerir modificaciones en el diseño estructural del pavimento.

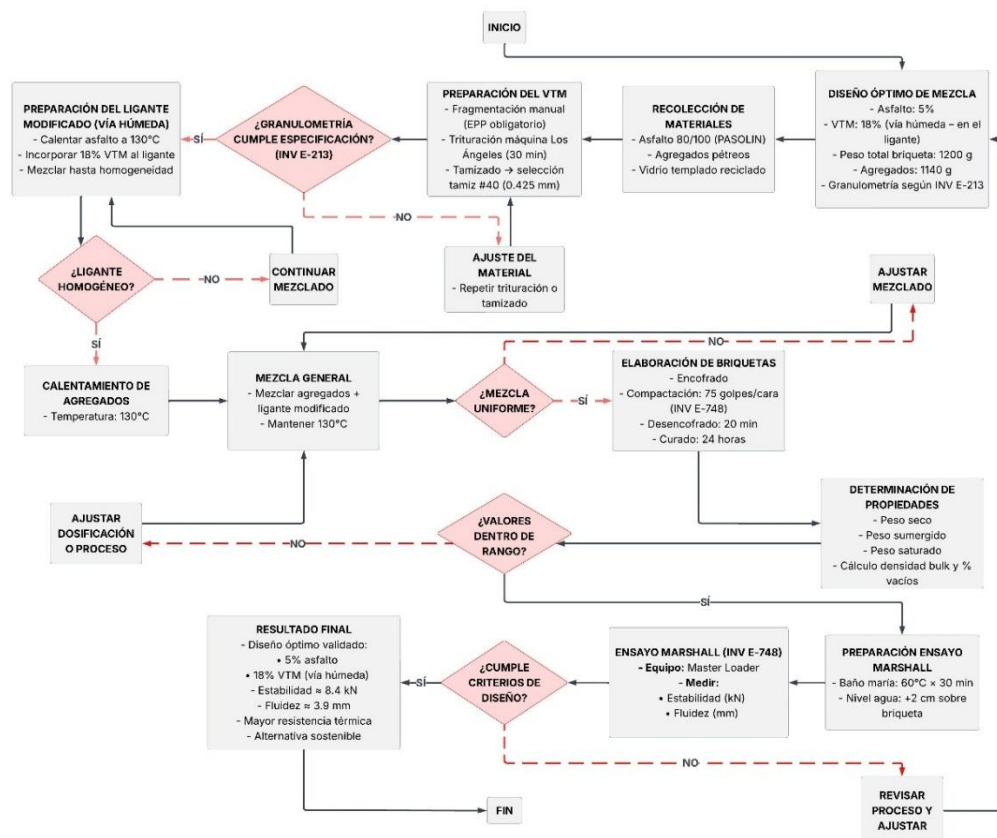
27. Mezcla asfáltica con vidrio templado molido (VTM) 2.0

Por: Brandon Stiven Contento Martinez y Diana Carolina Herrera Villamizar
2023

El procedimiento técnico se desarrolla mediante la modificación por vía húmeda, en la cual el vidrio templado molido (VTM) se incorpora directamente al ligante asfáltico antes de su mezcla con los agregados. Este enfoque permite una mejor interacción entre el modificante y el asfalto, favoreciendo la homogeneidad de la mezcla y el mejoramiento de sus propiedades mecánicas. A partir de esta metodología, se evalúa el desempeño de la mezcla mediante el método Marshall, orientado a obtener un diseño óptimo y sostenible.

Figura 28

Diagrama de flujo: Procedimiento técnico para el diseño de mezcla asfáltica con VTM por vía húmeda – Método Marshall



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

27.1. Resultados

Tabla 82

Granulometría y dosificación

Tamiz	Abertura (mm)	% Retenido	Peso (g)
1/2"	12.5	12.5	142.5
3/8"	9.5	9.5	108.3
#4	4.75	23	262.2
#10	2	21	239.4
#40 (VTM)	0.425	18.5	210.9
#80	0.18	8	91.2
#200	0.075	7.5	85.5
TOTAL	-	100	1140

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 83

Parámetros de diseño

Parámetro	Valor
Tipo de asfalto	80/100

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Parámetro	Valor
Contenido de asfalto (%)	5
Contenido de VTM (%)	18
Peso total briqueta (g)	1200
Pesos agregados (g)	1140
Método de diseño	Marshall
Tipo de modificación	Vía húmeda

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 84*Resultados Marshall*

Propiedad	Valor
Fuerza promedio	8.303KN
Estabilidad media	8.409KN
Fluidez promedio	3.978mm
% Vacíos	0.002%
Peso específico Bulk	2051.909Kg/m3

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 85*Síntesis de resultados*

Aspecto	Resultado
Desempeño mecánico	Mayor estabilidad bajo cargas
Comportamiento térmico	Mayor resistencia a altas temperaturas
Dosificación óptima	18% VTM
Sostenibilidad	Reutilización de vidrio
Impacto en ligante	Posible reducción de asfalto

Nota. Elaborado por el autor.

27.2. Análisis e interpretación de resultados

El análisis de resultados es realizado a partir del comportamiento técnico de la mezcla asfáltica modificada con vidrio templado molido (VTM) por vía húmeda. Es evidenciado un incremento en el desempeño mecánico, reflejado en mayores valores de estabilidad Marshall y en una adecuada relación entre estabilidad y fluidez, lo que indica una mejor resistencia frente a cargas de tránsito. De igual forma, es observada una mayor resistencia a altas temperaturas y una mejora en la cohesión de la mezcla, favoreciendo su comportamiento estructural.

En conclusión, es determinado que la incorporación de VTM es viable, al cumplirse los criterios técnicos establecidos y evidenciarse un mejor desempeño frente a la mezcla convencional. Adicionalmente, es considerada una alternativa sostenible, al permitir la reutilización de un residuo no reciclable sin afectar negativamente el diseño del pavimento.

28. Materiales alternativos y sostenibles para la construcción de terraplenes aligerados

Por: Mariangélica Mateus Romero
2023

En el presente trabajo de grado fue realizada una revisión bibliográfica exhaustiva de carácter descriptivo, orientada a la recopilación, análisis y síntesis de información sobre los materiales utilizados en la construcción de terraplenes aligerados. Dado que el estudio corresponde a una monografía basada en fuentes secundarias, no fue desarrollado un procedimiento técnico experimental ni de campo; en su lugar, la metodología se centró en la consulta de artículos científicos, tesis, informes técnicos y normativas vigentes. Dentro de la revisión, fueron considerados tanto materiales convencionales como alternativos y sostenibles, entre los cuales se destacan la arcilla, el poliestireno expandido (EPS), los residuos de construcción y demolición (RCD), los gránulos de plástico reciclado, los neumáticos fuera de uso, las escorias de horno cuchara, la geoespuma, el biocarbón, las cenizas volantes de carbón, el vidrio triturado, la fibra de coco, los estériles negros y rojos, las arenas eólicas, los lodos residuales, la arena de relaves, las cenizas volátiles, el lodo rojo y las escorias de plomo y zinc. A partir de esta recopilación, fue establecido un estado del arte que permitió identificar las propiedades, aplicaciones, ventajas y limitaciones de cada material, así como su contribución al desarrollo de soluciones sostenibles en obras viales.

28.1. Resultados

Tabla 86

Materiales convencionales

Material	Resultados principales
Arcilla	Alta capacidad de soporte; resistencia a la erosión; capacidad de carga hasta 250 kPa; resistencia aumenta con compactación; disminuye con humedad; incremento 30-40% resistencia al corte

Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Tabla 87*Materiales reciclados*

Material	Resultados principales
RCD	Resistencia similar a materiales convencionales; buena capacidad portante; mayor deformabilidad; alternativa sostenible
Plástico reciclado	Mayor resistencia a la compresión; estabilidad similar a materiales tradicionales; reduce residuos
Neumáticos fuera de uso	Mayor estabilidad; buena respuesta a cargas; alta deformabilidad; disipa energía; baja carga al suelo
Vidrio triturado	Alta resistencia a la compresión; mejora estabilidad; aumenta capacidad de carga; mejora resistencia al corte

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 88*Subproductos industriales*

Material	Resultados principales
Escoria de horno cuchara	Alta capacidad de carga; baja compresibilidad; alta resistencia al corte; mayor estabilidad y rigidez; mejora drenaje; reduce costos; material sostenible
Cenizas volantes de carbón	Aumenta resistencia (20-30%); mejora drenaje; mejora estabilidad; puede afectar permeabilidad
Cenizas volátiles	Mejora estabilidad; aumenta resistencia; reduce erosión; fácil compactación; puede disminuir permeabilidad

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Material	Resultados principales
Lodo rojo	Mejora capacidad de carga; soporta tráfico; susceptible a erosión; baja resistencia; riesgo ambiental
Escorias de plomo y zinc	Estabilidad comparable; reduce resistencia si aumenta contenido; requiere tratamiento ambiental
Arena de relaves	Buena capacidad de carga; material sostenible; reduce costos; reemplazo de materiales naturales; mejora resistencia con mezclas

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 89*Materiales naturales y biodegradables*

Material	Resultados principales
Fibra de coco	Mejora resistencia al corte y compresión; reduce erosión; mejora estabilidad; aumenta capacidad de carga (20-30%)
Biocarbón	Resistencia similar a materiales convencionales; mejora retención de agua; reduce emisiones de carbono; material sostenible
Arenas eólicas	Buena resistencia al corte; buena capacidad de carga; baja permeabilidad; requiere compactación y control de humedad

Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Tabla 90*Materiales livianos y tecnológicos*

Material	Resultados principales
Poliestireno expandido (EPS)	Mejora estabilidad; reduce material de relleno; no afecta capacidad de carga; mayor resistencia al corte; alternativa económica; bajo impacto ambiental
Geospuma	Alta capacidad de carga; soporta cargas verticales y laterales; mejora estabilidad; reduce deformaciones; aumenta resistencia al corte ($\approx 40\%$)

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 91*Materiales con restricciones o control especial*

Material	Resultados principales
Estériles negros	Adecuados con control; buena resistencia mecánica; requieren compactación; comportamiento estable
Estériles rojos	Alta porosidad; requieren mezcla y control; menor vida útil; necesitan ensayos previos
Lodos residuales	Mejora capacidad portante; mejora resistencia; depende de composición; requiere compactación; riesgo ambiental

Nota. Elaborado por el autor.

28.2. Análisis e interpretación de resultados

El análisis de resultados fue realizado a partir de la revisión del comportamiento técnico y ambiental de los materiales empleados en terraplenes aligerados. Fue evidenciado que materiales

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

como la escoria de horno cuchara, la geo espuma, el poliestireno expandido y los residuos reciclados presentan mejoras en la capacidad de carga, la estabilidad y la resistencia del suelo, aunque algunos requieren control adicional para su adecuada implementación.

En conclusión, fue claramente determinada la viabilidad del uso de estos materiales, al cumplirse los criterios técnicos establecidos y evidenciarse un desempeño igual o superior frente a los materiales convencionales. Adicionalmente, fue considerada una alternativa sostenible, debido a su contribución a la reutilización de residuos y a la reducción del impacto ambiental.

29. Residuos de Concreto (RCD) en Subrasantes de Pavimentos

Por: Marco Esteban Neira Acosta
2023

En el presente trabajo fue realizada una revisión bibliográfica de carácter descriptivo, orientada a la recopilación, análisis y síntesis de información sobre el uso de residuos de concreto (RCD) en el mejoramiento de subrasantes en estructuras de pavimentos; al tratarse de una monografía basada en fuentes secundarias, no fue desarrollado un procedimiento experimental ni de campo, por lo que la metodología se centró en la consulta de artículos científicos, trabajos de grado, informes técnicos y normativa vigente, a partir de los cuales fueron analizadas las propiedades físicas, mecánicas y geotécnicas del concreto reciclado, así como su comportamiento al ser incorporado en suelos, permitiendo establecer un estado del arte donde fueron identificadas sus aplicaciones, ventajas, limitaciones y su potencial como alternativa sostenible en obras viales.

29.1. Resultados

Tabla 92

Propiedades RCD

Propiedad	Descripción
Granulometría	70%-90% triturado; hasta 2% arena
Forma y textura	Coefficiente 0.24 (RCD) vs 0.31 (natural); partículas planas por mortero adherido
Densidad	2100-2500 kg/m ³ ; o 2290-2490 kg/m ³
Absorción	7.8%-12%; o 0.8%-9.8%
Desgaste Los Angeles	25%-42%; o 24.6%-41.4%

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Solidez (sulfatos)	Depende de composición y trituración
Cloruros	0.001%-0.005%

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 93*Compactación*

Autor	Condición	Variación (%)
Torres (2021)	Calicata 1	8.54
Cisneros y Tito (2021)	Calicata 1	5.59
Ochoa (2019)	Calicata 2	4.58
Gonzales e Infante (2021)	Calicata 1	7.81
Borda (2022)	Prueba A	-12.36
Borda (2022)	Prueba B	-12.36
Cuesta (2014)	Calicata 1	-7.38
Cuesta (2014)	Calicata 2	-3.73
Cuesta (2014)	Calicata 3	4.02

Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Tabla 94*Humedad óptima*

Autor	Condición	Variación (%)
Torres (2021)	Calicata 1	-15.9
Cisneros y Tito (2021)	Calicata 1	-22.99
Ochoa (2019)	Calicata 2	-15.65
Gonzales e Infante (2021)	Calicata 1	-34.41
Borda (2022)	Prueba A	-47.83
Borda (2022)	Prueba B	-49.03
Cuesta (2014)	Calicata 1	27.83
Cuesta (2014)	Calicata 2	23.74
Cuesta (2014)	Calicata 3	26.19

Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Tabla 95*CBR 100%*

Autor	Condición	Variación (%)
Torres (2021)	Calicata 1	57.84
Cisneros y Tito (2021)	Calicata 1	16.79
Ochoa (2019)	Calicata 2	15.69
Gonzales e Infante (2021)	Calicata 1	1094.44
Borda (2022)	Prueba A	233.14
Borda (2022)	Prueba B	232.56
Cuesta (2014)	-	NP

Nota. Elaborado por el autor.**Tabla 96***CBR 95%*

Autor	Condición	Variación (%)
Torres (2021)	Calicata 1	24.22
Cisneros y Tito (2021)	Calicata 1	13.64

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Autor	Condición	Variación (%)
Ochoa (2019)	Calicata 2	51.1
Gonzales e Infante (2021)	-	NP
Borda (2022)	Prueba A	319.32
Borda (2022)	Prueba B	286.84
Cuesta (2014)	Calicata 1	69.44
Cuesta (2014)	Calicata 2	123.81
Cuesta (2014)	Calicata 3	57.25

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 97

Compresión inconfiada

Autor	Condición	σ_c (%)	ϵ_1 (%)	E (%)
Cuesta (2014)	Calicata 1	-38.52	-34.44	-0.61

Nota. Elaborado por el autor.

29.2. Análisis e interpretación de resultados

El análisis de resultados fue realizado a partir de la revisión del comportamiento técnico y geomecánico de los residuos de concreto (RCD) empleados en el mejoramiento de subrasantes. Fue evidenciado que la incorporación de este material genera mejoras significativas en la

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

capacidad de soporte del suelo, reflejadas principalmente en el incremento del CBR y en el comportamiento favorable frente a cargas, aunque se presentaron variaciones en parámetros como la densidad máxima seca y la humedad óptima, las cuales dependen de las características del material y de las dosificaciones empleadas.

En conclusión, fue determinada la viabilidad del uso de los residuos de concreto como material de mejoramiento de subrasantes, al evidenciarse un desempeño adecuado e incluso superior frente al suelo en estado natural en la mayoría de los casos analizados. Adicionalmente, fue considerada una alternativa sostenible, debido a su contribución a la reutilización de residuos y a la disminución de la explotación de materiales naturales, siempre que se realice un adecuado control de sus propiedades y condiciones de aplicación.

30. Mezclas Asfálticas con Polímeros en Colombia

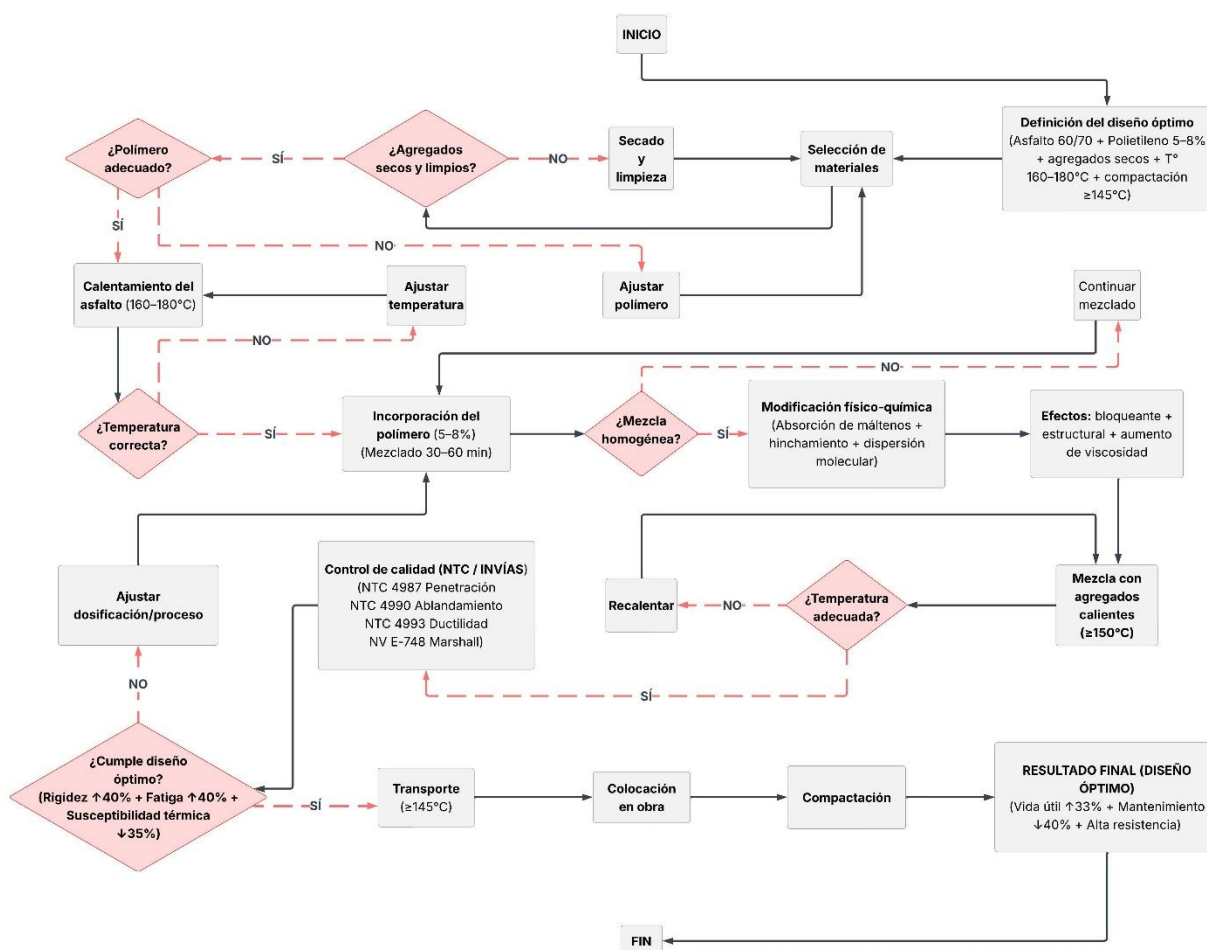
Por: Carlos Alberto Martínez Henao

2021

El siguiente procedimiento técnico describe de forma secuencial la elaboración del asfalto modificado con polímeros, partiendo de un diseño óptimo y estableciendo las condiciones necesarias para su correcta producción y desempeño final.

Figura 29

Diagrama de flujo: Procedimiento técnico para la elaboración de asfalto modificado con polímeros (diseño óptimo)



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

30.1. Resultados

Tabla 98

Propiedades del diseño óptimo

Propiedad	Resultado obtenido	Impacto en el desempeño
Rigidez	Aumento 40%	Mejora la resistencia estructural
Resistencia a la fatiga	Aumento 40%	Mayor vida útil ante cargas repetidas
Susceptibilidad térmica	Reducción 35%	Menor deformación por temperatura
Resistencia al ahuellamiento	Alta	Menor deformación permanente
Impermeabilidad	Mejorada	Protección contra ingreso de agua

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 99

Beneficios del uso de polímeros

Parámetro	Resultado
Vida útil	Aumento hasta 33%
Trabajabilidad	Mejora 30%
Adhesión	Mejora 30%

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Parámetro	Resultado
Durabilidad	Mejora 30%
Costos de mantenimiento	Reducción hasta 40%

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 100

Comportamiento de la mezcla

Tipo de efecto	Descripción	Impacto
Bloqueante	Relleno de vacíos	Mayor compactación
Estructural	Unión entre agregados	Mayor estabilidad
Sobre ligante	Aumento de viscosidad	Mejor cohesión y resistencia

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 101

Condiciones críticas del proceso

Variable	Condición requerida	Importancia
Temperatura de compactación	$\geq 145^{\circ}\text{C}$	Evita endurecimiento prematuro

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

Variable	Condición requerida	Importancia
Temperatura de mezcla	160°C – 180°C	Permite correcta modificación
Agregados	Secos y limpios	Garantiza adherencia
Control de mezcla	Estricto	Asegura homogeneidad

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 102*Evaluación general del diseño óptimo*

Aspecto	Resultado final
Desempeño estructural	Alto
Durabilidad	Mejorada
Resistencia a deformaciones	Alta
Comportamiento térmico	Estable
Viabilidad económica	Favorable a largo plazo
Aplicación en Colombia	Limitada

Nota. Elaborado por el autor.

30.2. Análisis e interpretación de resultados

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

El análisis de resultados fue realizado a partir de la revisión del comportamiento técnico y mecánico de la mezcla asfáltica modificada, considerando propiedades como la rigidez, la resistencia a la fatiga, la susceptibilidad térmica y la resistencia al ahuellamiento. Fue evidenciado que la incorporación del modificador genera mejoras significativas en el desempeño estructural, reflejadas en incrementos cercanos al 40% en la rigidez y la resistencia a la fatiga, así como en la reducción de la susceptibilidad térmica y en una alta resistencia a la deformación permanente. De igual forma, fueron identificadas mejoras en la impermeabilidad, la trabajabilidad, la adhesión y la durabilidad, junto con una reducción considerable en los costos de mantenimiento, aunque su correcta implementación depende del control estricto de variables como la temperatura de mezcla y compactación, y de las condiciones de los agregados.

En conclusión, fue determinada la viabilidad del uso de esta modificación en mezclas asfálticas, al evidenciarse un desempeño estructural alto, una mayor vida útil y un comportamiento térmico estable. No obstante, fue identificada una aplicación limitada en el contexto colombiano, lo cual sugiere la necesidad de mayor implementación y control técnico para su adecuada adopción.

Referencias

- Arévalo Prieto, L. A. (2020). *Caracterización física de un ligante asfáltico 60/70 modificado con GCR y nanoarcilla* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/02fe86b2-a473-417b-b06d-1af8825c0e34/content>
- Barón Ditterich, F. E., & Duque Velásquez, K. S. (2020). *Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada por vía seca con cenizas de biosólidos generados por la PTAR de Acacias, Meta* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/086f9dad-390f-440c-888b-5b418e40c20a/content>
- Cabezas López, P. Y. (2020). *Caracterización física de un ligante asfáltico 60/70 modificado con desechos de polietileno de alta densidad (D-PEAD)* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/c9cb0353-77aa-4364-b84e-c7f9eb2caff9/content>
- Castillo Rojas, J. C. (2021). *Estudio del comportamiento físico-mecánico de una mezcla asfáltica modificada con desechos de nylon y ceniza volantes* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/f11ebcc0-cb03-451c-b10f-468ffee08d63/content>
- Contento Martínez, B. S., & Herrera Villamizar, D. C. (2023). *Evaluación de una mezcla asfáltica modificada con vidrio templado molido por vía húmeda teniendo en cuenta la metodología Marshall* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/7b62d984-2f5d-42b5-a2c8-d1546ecc3c04/content>

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

- Fuentes Baquero, W. C. (2023). *Caracterización de los materiales MERI producidos en la excavación de los túneles del corredor vial Chirajara–Fundadores* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/ce6f2c70-e7ea-4fbb-a668-574a2ba8e99a/content>
- Guillot Forero, J. D. (2025). *Análisis técnico y ambiental del uso de materiales reciclados (RAP, GCR y RCD) en mezclas asfálticas sostenibles en Colombia* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/e7ec2355-aeef-49bc-8e6d-e5b18f81a63d/content>
- Martínez Henao, C. A. (2021). *Revisión teórica de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros en Colombia* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/f50b14ad-ec8c-4a16-80b1-6dba296e5172/content>
- Mateus Romero, M. (2023). *Materiales utilizados en la construcción de terraplenes aligerados destinados a obras viales* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/571eb841-7b61-4309-a21e-57f685f4eba2/content>
- Neira Acosta, M. E. (2023). *Revisión estado del arte del uso de residuos de concreto para el mejoramiento de subrasantes en las estructuras de pavimentos* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/b29a0234-f1a2-48f6-8be2-bb7fcc7a2d48/content>
- Vanegas Manrique, E. F., & Segura Calleja, L. I. (2021). *Evaluación de una mezcla asfáltica modificada con vidrio templado molido por medio de la metodología Marshall* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.

CAPÍTULO 3: VÍAS Y TRANSPORTE

<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/e1a5515a-8e3d-488c-8f91-36028c4ae799/content>



CAPÍTULO 4:
AGUAS

Resumen

En el presente capítulo son presentados los trabajos de grado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, seleccionados a partir de la revisión de investigaciones disponibles en la biblioteca virtual CRAI. La selección fue realizada con base en su relación con el enfoque del recurso hídrico, abarcando temáticas como abastecimiento, tratamiento, saneamiento y aprovechamiento del agua.

A partir de estos estudios, es evidenciada una orientación hacia la búsqueda de soluciones sostenibles frente a problemáticas asociadas a la gestión del agua, especialmente en contextos urbanos y rurales. Se destaca la evaluación de alternativas para el tratamiento de aguas residuales y potables, así como el aprovechamiento de fuentes no convencionales como aguas lluvias, mediante el uso de tecnologías apropiadas y materiales alternativos.

En el capítulo son incluidas tanto investigaciones de carácter experimental como teórico. Por una parte, son presentados estudios enfocados en el diseño y evaluación de sistemas hidráulicos y sanitarios, apoyados en ensayos de laboratorio y criterios normativos para analizar parámetros de calidad del agua y eficiencia de tratamiento. Por otra, son integradas revisiones documentales que permiten consolidar fundamentos técnicos y conceptuales sobre el manejo del recurso hídrico.

En conjunto, son identificadas estrategias viables para la gestión integral del agua, orientadas a mejorar la calidad, optimizar su uso y promover prácticas sostenibles, contribuyendo así al desarrollo de soluciones técnicas acordes con las necesidades actuales en ingeniería civil.

Palabras clave. Ingeniería civil, recurso hídrico, abastecimiento de agua potable, tratamiento de aguas residuales domésticas, sistemas de potabilización, plantas de tratamiento, aguas lluvias, captación y almacenamiento.

Introducción

El manejo del agua en proyectos de ingeniería civil implica no solo su captación y conducción, sino también el control de escorrentías, la mitigación de impactos ambientales y la implementación de soluciones que respondan a condiciones específicas del entorno. En escenarios urbanos, donde las superficies impermeables aumentan y los sistemas de drenaje suelen ser insuficientes, se hace necesario plantear alternativas que permitan una gestión más eficiente y sostenible.

En este contexto, los trabajos desarrollados abordan diversos enfoques relacionados con el manejo del agua, incluyendo el diseño de sistemas de drenaje, aprovechamiento de aguas lluvias, tratamiento de aguas residuales y evaluación de la calidad del agua. Dentro de estas propuestas se destacan soluciones como cunetas de biorretención con incorporación de geotextiles y polímeros reciclados, así como otras alternativas orientadas a mejorar la infiltración, retención y control de escorrentías. Este tipo de enfoques refleja una transición hacia soluciones que no solo cumplen una función hidráulica, sino que también integran criterios ambientales.

Las investigaciones fueron desarrolladas en diferentes contextos geográficos, lo que permitió considerar condiciones reales asociadas al terreno, el clima y el uso del suelo. Esto aporta un valor importante, ya que las soluciones planteadas no se limitan a un enfoque teórico, sino que responden a necesidades concretas del entorno donde se aplican.

De esta manera, el capítulo se enmarca en la exploración de distintas estrategias aplicadas al manejo del agua, evidenciando cómo desde la academia se están formulando propuestas que buscan adaptarse a los retos actuales de la ingeniería civil.

CAPÍTULO 4: AGUAS

Metodología

En los siguientes trabajos de grado analizados se empleó principalmente una metodología aplicada, basada en el diseño y evaluación de sistemas de manejo del agua mediante datos de campo, ensayos de laboratorio y criterios normativos. Asimismo, se realizaron análisis de parámetros de calidad del agua y cálculos hidráulicos para verificar la viabilidad de las soluciones propuestas. En algunos casos, se complementó con revisiones documentales y análisis comparativos.

En la siguiente tabla se presentan los trabajos de grado seleccionados que hacen parte del capítulo de aguas, los cuales abordan diferentes enfoques relacionados con el tratamiento, manejo y aprovechamiento del recurso hídrico.

Tabla 103

Tesis del capítulo de aguas.

No.	Nombres y Apellidos Estudiante	Título del Proyecto	Enlace
1	Vanessa Buitrago Fernández Alejandro Figueredo Rincón Y	Estudio de depuración de aguas residuales domésticas a través de un prototipo de humedales artificiales con diferentes especies vegetales en la vereda leche miel en Villanueva, Casanare	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/4cef8a88-b578-4beb-a791-85169b59c624/content
2	Claudia Milena Gutiérrez La Torre	Análisis de métodos innovadores para el tratamiento de aguas superficiales por medio de filtros biológicos para implementación en el sector semiurbano en la ciudad de Villavicencio, meta.	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/e29d2fdc-92af-41bd-a10c-02cccc3b07a4/content

CAPÍTULO 4: AGUAS

No.	Nombres y Apellidos Estudiante	Título del Proyecto	Enlace
3	Brayan Camilo Díaz Rivera Y Juan Pablo Hernández Ceballos	Aplicación en temáticas de ingeniería civil diseño hidráulico y estructural para un sistema de cubierta verde aplicado a la universidad santo Tomás - sede Villavicencio	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/bc433393-90ed-43d9-aff6-d30ef4ec1d60/content
4	Carlos Eduardo Espinosa Martínez Y Reddy Hart Andrés Van Audenhove Mejía	Diseño para el aprovechamiento racional de aguas lluvias, en el campus aguas claras de la universidad santo Tomás, Villavicencio	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/3ce6993f-75bd-42e8-977e-23725d01fbba/content
5	Marlly Juliana Cardozo Romero Y Hernán Darío Espinosa Martínez	Diseño de alternativas para el aprovechamiento racional de aguas lluvias para el campus loma linda de la universidad santo tomas Villavicencio	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/638e6083-85e2-4eef-bc50-31b29c0bf7c2/content
6	Wilmer Benavides Pardo	Análisis técnico de la viabilidad e impactos de zonas de biorretención con geotextiles y polímeros reciclados para la gestión de aguas pluviales en el tramo vial chimita-la cemento.	https://repository.usta.edu.co/items/22ed5d8c-d532-4e4c-980a-bd7843318393

Nota. Elaborado por el autor.

A continuación, se desarrolla cada una de las tesis presentadas, incluyendo su procedimiento técnico, los resultados obtenidos y un breve análisis de estos.

CAPÍTULO 4: AGUAS

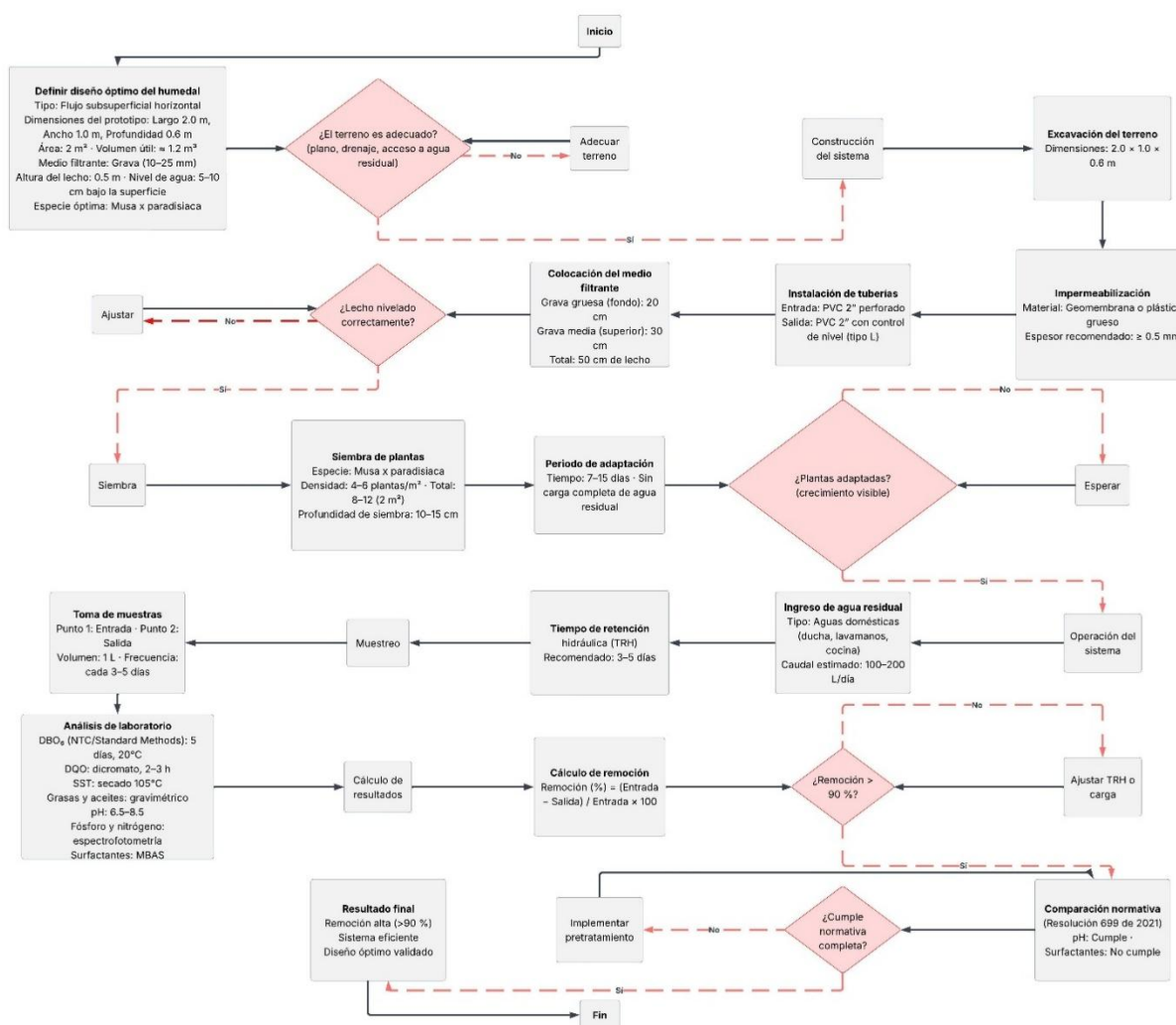
31. Evaluación de la eficiencia de humedales construidos con especies de la topochera llanera para el tratamiento de aguas residuales

Por: Vanessa Buitrago Fernández y Alejandro Figueredo Rincón

2024

Figura 30

Diagrama de flujo del diseño, operación y evaluación de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 4: AGUAS

31.1. Resultados

Tabla 104

Desempeño de las especies vegetales en la remoción de contaminantes

Especie vegetal	Eficiencia de remoción	Parámetros destacados	Observaciones
Musa x paradisiaca	> 90%	DBO ₅ , DQO, grasas y aceites	Mayor eficiencia; reducción de 25-60kg/día a <1 kg/día
Heliconia psittacorum	> 98%	DBO, DQO	Alta eficiencia; mejor adaptación y crecimiento; > 70% en remoción general
Colocasia esculenta	95% - 98%	Surfactantes	Mejor desempeño relativo en surfactantes, pero no cumple normativa

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 105

Reducción de cargas contaminantes en el sistema

Parámetro	Condición de entrada	Condición de salida	Eficiencia
DBO ₅	25 – 60 kg/día	< 1 kg/día	> 90 %
DQO	25 – 60 kg/día	< 1 kg/día	> 90 %
Grasas y aceites	—	≈ 0,01 kg/día	Alta

Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 4: AGUAS

Tabla 106*Comportamiento general del humedal artificial*

Aspecto evaluado	Resultado observado	Observaciones
Capacidad de remoción	Alta	Funciona eficientemente sin trampa de grasas
Procesos del sistema	Físicos y biológicos	Alta efectividad en la depuración
pH	Rango óptimo	Condiciones estables durante el tratamiento

*Nota: Elaboración propia.***Tabla 107**

Limitaciones y variables que afectan el sistema

Factor / Parámetro	Comportamiento observado	Observaciones
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	Disminuye remoción de fósforo	A mayor TRH, menor eficiencia en fósforo
Fósforo	Baja remoción	Sensible a cambios en TRH
Surfactantes	No cumple normativa	Ninguna especie logra valores exigidos

*Nota. Elaborado por el autor.***31.2. Análisis e interpretación de resultados**

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que el humedal artificial presentó una alta eficiencia en la remoción de contaminantes, destacándose *Musa x paradisiaca* y *Heliconia psittacorum* con porcentajes superiores al 90 % en parámetros como DBO₅ y DQO. Asimismo, se

CAPÍTULO 4: AGUAS

observó una reducción significativa en grasas y aceites, alcanzando valores cercanos a 0,01 kg/día, lo que demuestra la efectividad de los procesos físicos y biológicos del sistema. Sin embargo, se identificaron limitaciones en la remoción de fósforo y surfactantes, especialmente frente al cumplimiento normativo.

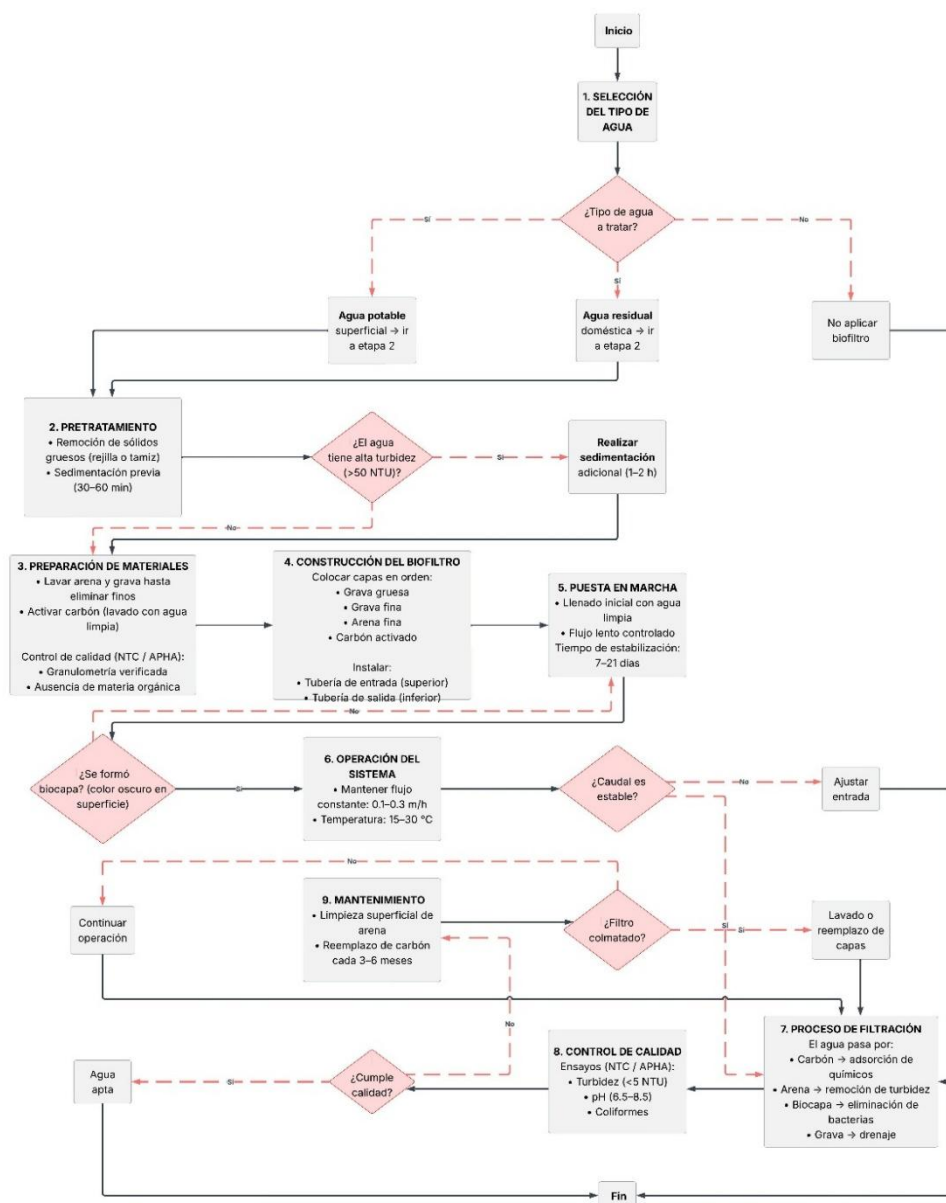
Se concluye que los humedales artificiales representan una alternativa eficiente para el tratamiento de aguas residuales, debido a su capacidad de remoción de materia orgánica y contaminantes. No obstante, algunas limitaciones en ciertos parámetros evidencian la necesidad de complementar y optimizar este tipo de sistemas en futuras investigaciones.

32. Tratamiento de aguas superficiales mediante biofiltros

Por: Claudia Milena Gutiérrez La Torre
2025

Figura 31

Diagrama de flujo del procedimiento técnico para la construcción y operación de biofiltros aplicados al tratamiento de agua



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 4: AGUAS

32.1. Resultados

Tabla 108

Características de los biofiltros evaluados

Tipo de biofiltro	Materiales principales
Biofiltro de arena de flujo lento (BAFL)	Recipiente grande (barril/tanque), arena fina, grava, tuberías PVC
Biofiltro de carbón activado	Recipiente grande, arena fina, grava, tuberías PVC, carbón activado (cáscara de coco)
Biofiltro con llantas recicladas	Llantas usadas, arena, grava, carbón activado, tuberías PVC
Biofiltro modular vertical	Botellas plásticas o tubos PVC, arena fina, grava, carbón activado
Biofiltro lombrifiltro	Lombrices rojas, grava, humus, aserrín, fibra de coco
Biofiltro con microalgas	Microalgas (cianobacterias y otras), medios líquidos de cultivo

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 109

Aplicación y tipo de agua tratada

Tipo de biofiltro	Funcionamiento
BAFL	Filtración lenta por capas de arena y grava; formación de biocapa microbiana que elimina patógenos y reduce turbidez

CAPÍTULO 4: AGUAS

Tipo de biofiltro	Funcionamiento
Carbón activado	Similar al BAFL, pero con carbón activado para adsorber contaminantes químicos
Llantas recicladas	Filtración a través de capas dentro de llantas apiladas
Modular vertical	Filtración por gravedad en módulos verticales con capas filtrantes
Lombrifiltro	Filtración biológica donde lombrices degradan materia orgánica
Microalgas	Cultivo de microalgas en fases para remover nutrientes y contaminantes

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 110*Funcionamiento y proceso de tratamiento*

Tipo de biofiltro	Funcionamiento
BAFL	Filtración lenta por capas de arena y grava; formación de biocapa microbiana que elimina patógenos y reduce turbidez
Carbón activado	Similar al BAFL, pero con carbón activado para adsorber contaminantes químicos
Llantas recicladas	Filtración a través de capas dentro de llantas apiladas
Modular vertical	Filtración por gravedad en módulos verticales con capas filtrantes
Lombrifiltro	Filtración biológica donde lombrices degradan materia orgánica
Microalgas	Cultivo de microalgas en fases para remover nutrientes y contaminantes

CAPÍTULO 4: AGUAS

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 111

Eficiencia y tipo de contaminantes removidos

Tipo de biofiltro	Contaminantes removidos	Beneficios adicionales
BAFL	Bacterias, virus, partículas suspendidas	Reduce turbidez
Carbón activado	Bacterias, químicos, metales pesados	Mejora sabor, olor y color
Llantas recicladas	Bacterias, sólidos	Mejora turbidez
Modular vertical	Contaminantes generales	Uso de materiales accesibles
Lombrifiltro	Materia orgánica	Alta eficiencia biológica
Microalgas	Nutrientes y contaminantes	Bajo costo, alta eficiencia con iluminación

Nota. Elaborado por el autor.

32.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que los biofiltros presentan diferentes niveles de eficiencia en el tratamiento del agua según los materiales y el sistema de filtración utilizado. El BAFL mostró buenos resultados en la remoción de bacterias, virus y partículas suspendidas, mientras que el biofiltro de carbón activado destacó en la eliminación de contaminantes químicos y metales pesados, además de mejorar características como olor, color y sabor del agua. Por su parte, los biofiltros con llantas recicladas y los sistemas modulares verticales se identificaron como alternativas económicas y de fácil implementación.

CAPÍTULO 4: AGUAS

Asimismo, el lombrifiltro presentó un buen desempeño en la degradación de materia orgánica y el sistema con microalgas demostró una adecuada capacidad para remover nutrientes y contaminantes. En general, los resultados evidencian que los biofiltros constituyen una alternativa sostenible y viable para el tratamiento y aprovechamiento del agua, especialmente en zonas con acceso limitado a sistemas convencionales.

CAPÍTULO 4: AGUAS

33. Diseño estructural e hidráulico de cubierta verde con aprovechamiento de aguas lluvias en la Universidad Santo Tomás, sede Aguas Claras.

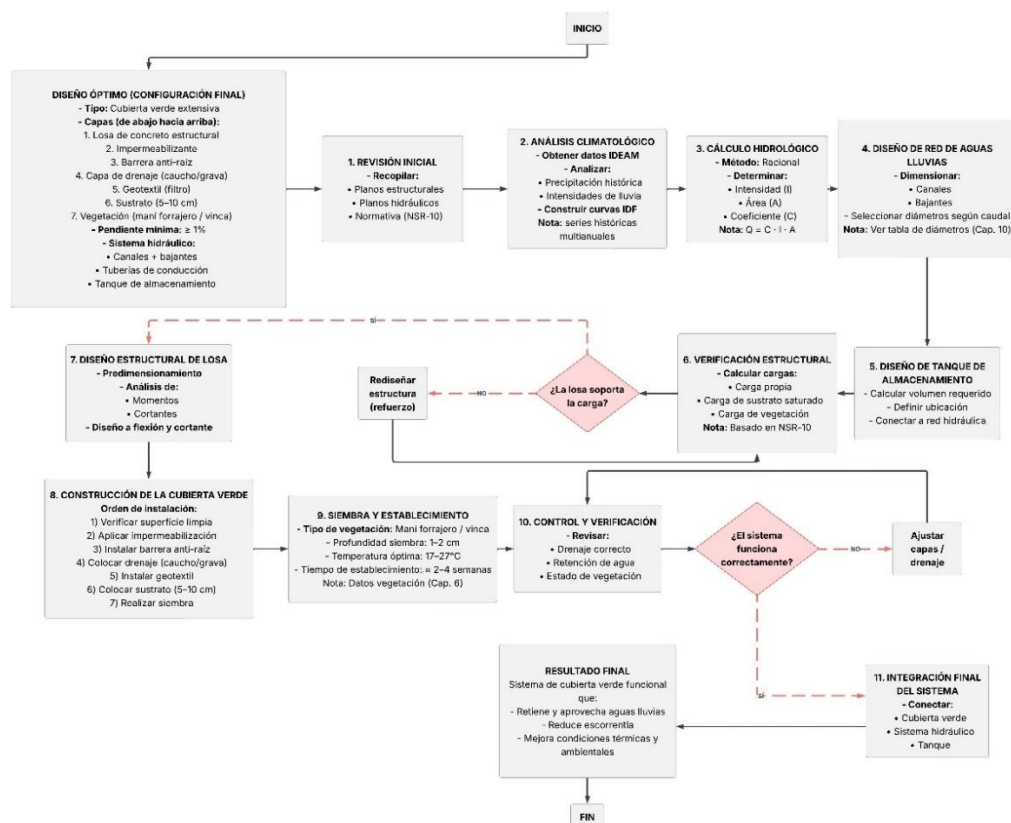
Por: Brayan Camilo Díaz Rivera y Juan Pablo Hernández Ceballos

2019

El siguiente procedimiento se fundamenta en los resultados del análisis climático, hidráulico y estructural del sistema, los cuales permiten establecer un diseño eficiente y acorde a las condiciones del entorno. Se describen las etapas desde la captación y conducción del agua lluvia hasta su almacenamiento, tratamiento y uso no potable, garantizando el adecuado funcionamiento del sistema y el cumplimiento de criterios técnicos.

Figura 32

Diagrama de flujo para el diseño, verificación e implementación de una cubierta verde con aprovechamiento de aguas lluvias



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 4: AGUAS

33.1. Resultados

Tabla 112

Resultados del análisis climatológico, hidráulico y estructural de la cubierta verde

Aspecto	Resultado clave
Climatológico	Periodos secos (dic-mar y jun-jul) reducen eficiencia; requiere riego frecuente.
Vegetación	Uso de maní forrajero (<i>Arachis pintoï</i>) y vinca por alta retención de agua y adaptación.
Sistema hidráulico	Área $\approx 1000 \text{ m}^2$ con 5 bajantes de 4"; cobertura $\approx 203 \text{ m}^2$ por bajante.
Comportamiento hidráulico	Adecuada recolección y conducción de agua lluvia.
Sistema estructural	Losa nervada cumple con la NSR-10.
Desempeño estructural	Soporta cargas de la cubierta dentro de rangos permitidos.

Nota. Elaborado por el autor.

33.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidencio que la cubierta verde presentó un comportamiento favorable en los aspectos climatológico, hidráulico y estructural. En el componente climatológico, se identificó que los periodos secos reducen la eficiencia del sistema, por lo que se requiere riego frecuente para garantizar el adecuado desarrollo de la vegetación. Asimismo, el maní forrajero (*Arachis pintoï*) y la vinca presentaron una buena adaptación y capacidad de retención de agua.

CAPÍTULO 4: AGUAS

Por otra parte, fue determinada una adecuada recolección y conducción del agua lluvia mediante un sistema hidráulico conformado por un área aproximada de 1000 m² y cinco bajantes de 4".

CAPÍTULO 4: AGUAS

34. Diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para el Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, Villavicencio

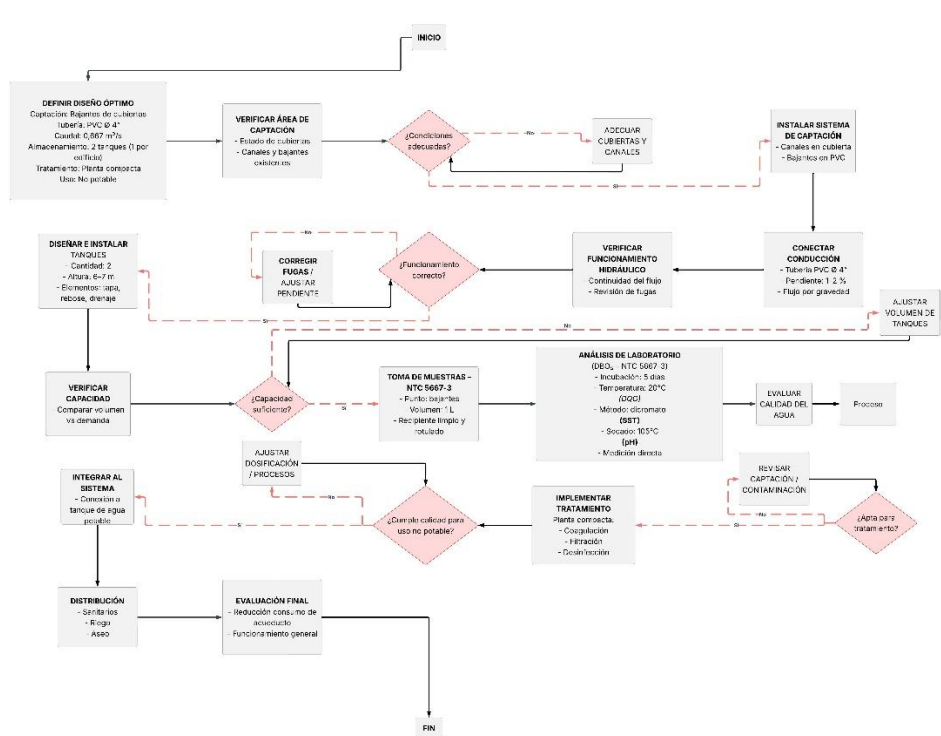
Por: Carlos Eduardo Espinosa Martínez y Reddy Hart Andres Van Audenhove Mejía

2023

Este procedimiento metodológico se basa en la evaluación de la oferta de aguas lluvias, la demanda del campus y la calidad del recurso en el Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, Villavicencio, con el fin de diseñar un sistema eficiente para su aprovechamiento. A partir de los análisis hidrológicos y de calidad, se estableció un diseño óptimo que integra captación en cubiertas, conducción, almacenamiento y tratamiento del agua para usos no potables. La secuencia permite verificar condiciones hidráulicas, asegurar la calidad del agua y garantizar el funcionamiento adecuado del sistema, contribuyendo a la reducción del consumo de agua potable.

Figura 33

Diagrama de flujo para el diseño, captación, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias para uso no potable



CAPÍTULO 4: AGUAS

Nota. Elaborado por el autor.

34.1. Resultados

Tabla 113

Resultados del aprovechamiento de aguas lluvias

Aspecto evaluado	Resultado principal	Implicación
Cantidad de agua lluvia	Caudal potencial $\approx 0,667$ m ³ /s obtenido con datos pluviométricos y curvas IDF	Alta disponibilidad hídrica y viabilidad del sistema
Oferta vs demanda	Demanda estimada: 18.752 m ³ /año	El sistema puede suplir parcialmente la demanda, especialmente en usos no potables
Calidad del agua	Variaciones según punto de captación; bajantes con calidad entre regular y aceptable	Bajantes seleccionadas como fuente principal del sistema
Sistema propuesto	Tanques de almacenamiento + tren de tratamiento	Garantiza almacenamiento y mejora de la calidad del agua
Zonas de captación	Áreas verdes con mayor potencial, pero cubiertas más viables	Se priorizan cubiertas por facilidad de recolección

Nota. Elaborado por el autor.

34.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidencio que el aprovechamiento de aguas lluvias presenta un alto potencial de implementación, debido a la disponibilidad hídrica estimada a partir de los datos pluviométricos y las curvas IDF, obteniendo un caudal potencial aproximado de 0,667 m³/s. Asimismo, se identificó que el sistema tiene la capacidad de suplir parcialmente la demanda estimada de 18.752 m³/año, principalmente para usos no potables. De acuerdo con la calidad del

CAPÍTULO 4: AGUAS

agua, fueron identificadas variaciones según el punto de captación, destacándose algunos bajantes con condiciones favorables para su aprovechamiento.

En el sistema propuesto, fue considerada la implementación de tanques de almacenamiento junto con un tren de tratamiento, con el propósito de mejorar la recolección y la calidad del agua captada. Igualmente, se determinó que las cubiertas representan las zonas más viables para la captación de aguas lluvias, debido a su facilidad de recolección y al potencial identificado en las áreas evaluadas.

CAPÍTULO 4: AGUAS

35. Diseño hidráulico de un sistema de captación, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias en el Campus Loma Linda de la Universidad Santo Tomás, Villavicencio

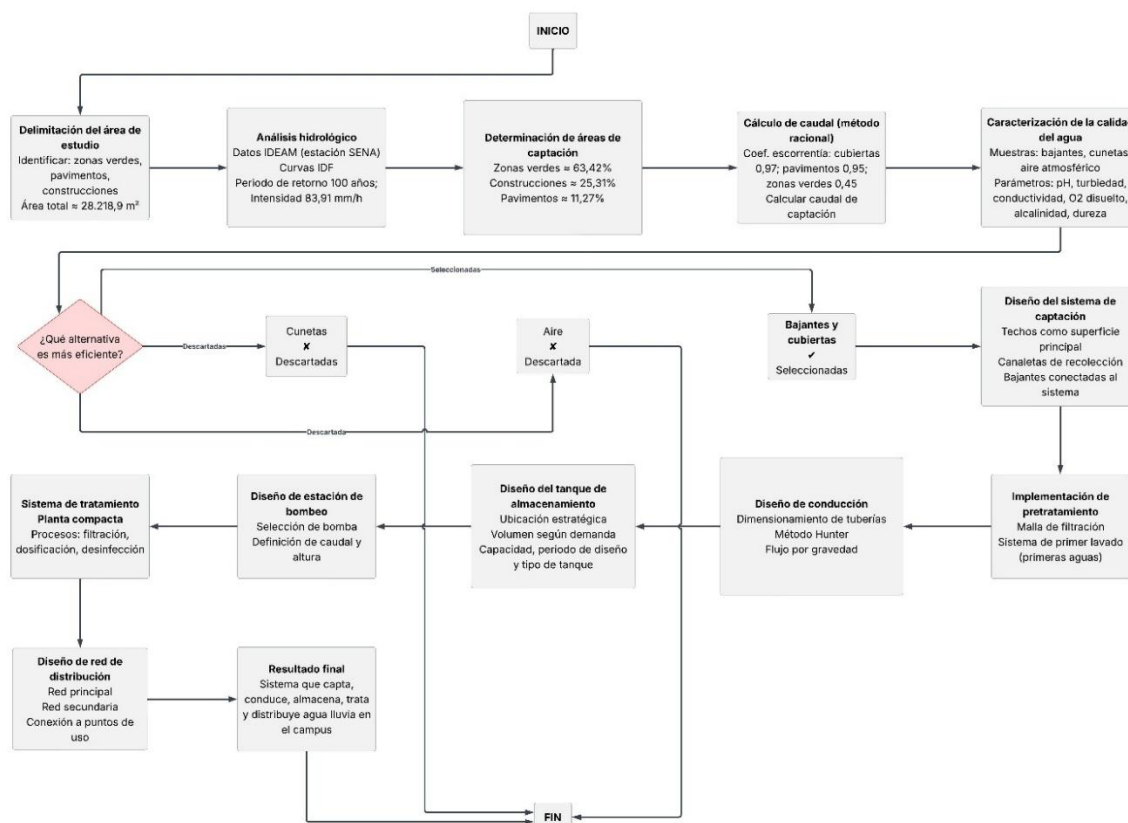
Por: Marlly Juliana Cardozo Romero y Hernán Darío Espinosa Martínez

2023

Este procedimiento metodológico parte del análisis de las áreas de captación y de las condiciones hidrológicas y de calidad del agua en el Campus Loma Linda. Con datos del IDEAM y curvas IDF se estimaron los caudales, confirmando la viabilidad del sistema. A partir de ello, se plantea un diseño que integra captación, conducción, almacenamiento, tratamiento y distribución, asegurando su adecuado funcionamiento dentro del campus.

Figura 34

Diagrama de flujo para un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en un campus universitario



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 4: AGUAS

35.1. Resultados

Tabla 114

Resultados del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias

Aspecto evaluado	Resultado principal	Implicación
Áreas de captación	Predominan zonas verdes, seguidas de construcciones y pavimentos	Influyen en la disponibilidad del recurso y en los coeficientes de escorrentía
Análisis hidrológico	Intensidad: 83,91 mm/h (T=100 años, 60 min) – Método racional	Se confirma la viabilidad hidráulica del sistema
Coefficientes de escorrentía	Cubiertas: 0,97 – Pavimentos: 0,95 – Zonas verdes: 0,45	Permiten estimar los caudales de captación
Calidad del agua	Parámetros dentro de rangos aceptables (pH, turbiedad, conductividad, OD)	Posibilita un tratamiento de baja complejidad
Diseño del sistema	Integración de captación, conducción, almacenamiento, bombeo y tratamiento	Garantiza la operatividad y funcionamiento del sistema

Nota. Elaborado por el autor.

35.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias presenta condiciones favorables para su implementación, debido a la disponibilidad de áreas de captación y a la viabilidad hidráulica obtenida en el análisis hidrológico. Asimismo, los coeficientes de escorrentía permitieron estimar los caudales de captación y determinar el aporte de cubiertas, pavimentos y zonas verdes al sistema.

CAPÍTULO 4: AGUAS

En cuanto a la calidad del agua, se identificaron parámetros dentro de rangos aceptables, lo que permite un tratamiento de baja complejidad. De igual manera, se planteó un sistema integrado de captación, almacenamiento y tratamiento, garantizando su adecuado funcionamiento

CAPÍTULO 4: AGUAS

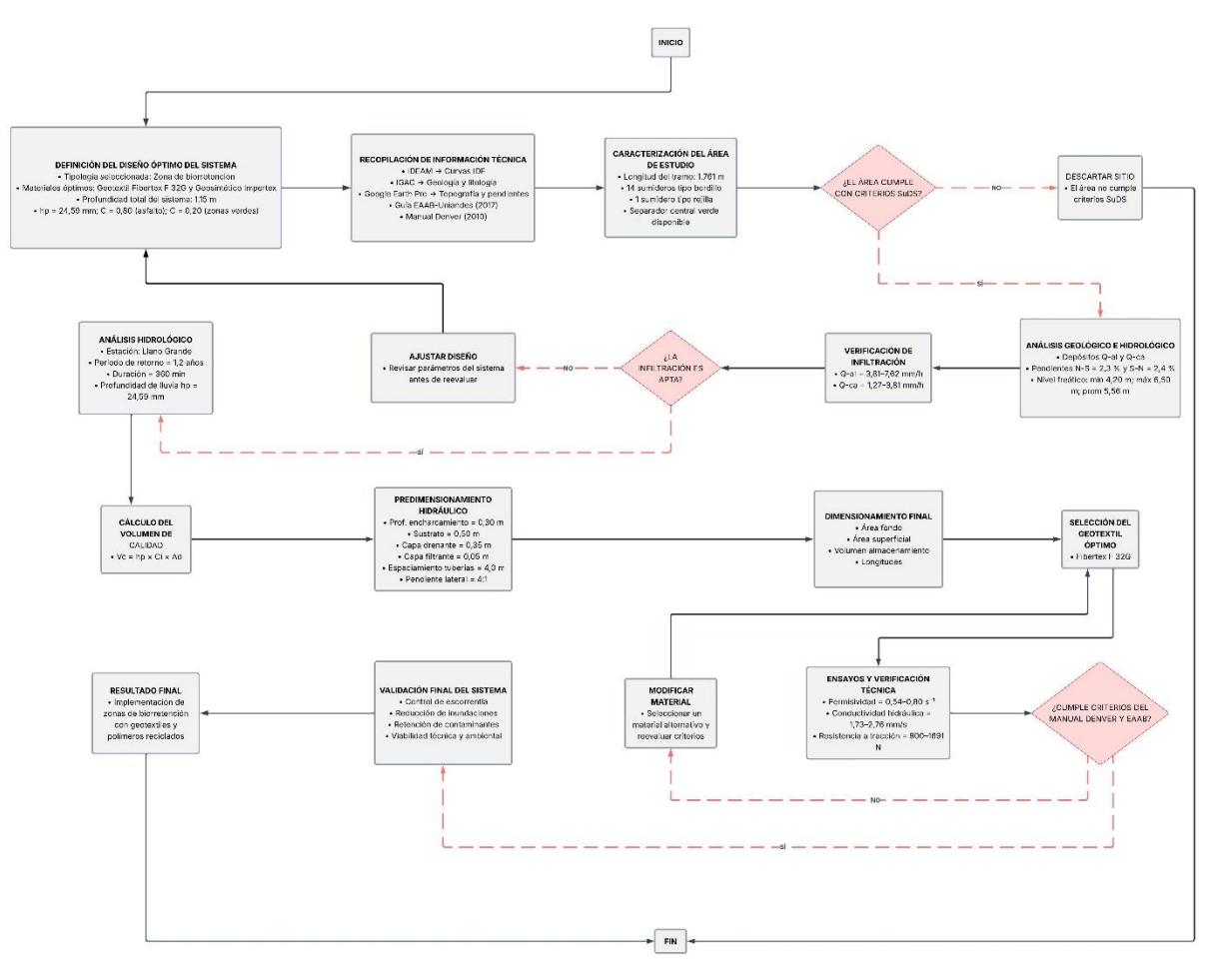
36. Viabilidad técnica de zonas de biorretención con geotextiles y polímeros reciclados en el tramo Chimita-la cemento

Por: Wilmer Benavides Pardo

2025

Figura 35

Diagrama de flujo del proceso de diseño y validación de una zona de biorretención con criterios SuDS



Nota. Elaborado por el autor.

CAPÍTULO 4: AGUAS

36.1. Resultados

Tabla 115

Evaluación de materiales en el sistema de biorretención

Material	Propiedad clave	Resultado	Interpretación
Geotextil Fibertex F 32G	Permisividad	0,54 – 0,80 s ⁻¹	Garantiza adecuada filtración y separación de finos
Geotextil Fibertex F 32G	Desempeño	—	Reduce el riesgo de colmatación
Impertex	Resistencia mecánica	Alta	Asegura la contención hidráulica del sistema

Nota. Elaborado por el autor.

Tabla 116

Desempeño del sustrato con polímeros reciclados

Parámetro	Resultado	Interpretación
Conductividad hidráulica	100 – 250 mm/h	Permite adecuada infiltración del agua
Remoción de nitrógeno	55 % – 70 %	Alta capacidad de tratamiento del sistema
Desempeño general	Superior a medios convencionales	Mejora la eficiencia del sistema de biorretención
Cumplimiento hidráulico	Cumple criterios de diseño	Garantiza retención adecuada de escorrentía

CAPÍTULO 4: AGUAS

Nota. Elaborado por el autor.

36.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, se evidenció que los materiales evaluados en el sistema de biorretención presentaron un comportamiento favorable en términos hidráulicos y mecánicos. El geotextil Fibertex F 32G mostró valores de permisividad entre 0,54 y 0,80 s⁻¹, garantizando una adecuada filtración y separación de finos, además de reducir el riesgo de colmatación. Asimismo, el material Impertex presentó una alta resistencia mecánica, asegurando la contención hidráulica del sistema.

En cuanto al sustrato con polímeros reciclados, se obtuvo una conductividad hidráulica entre 100 y 250 mm/h y una remoción de nitrógeno entre 55 % y 70 %, evidenciando una adecuada infiltración y capacidad de tratamiento. De igual manera, el sistema presentó un desempeño superior frente a medios convencionales y cumplió con los criterios hidráulicos de diseño, favoreciendo la retención de escorrentía.

Referencias

- Buitrago Fernández, V., & Figueredo Rincón, A. (2024). *Análisis de la efectividad de sistemas de humedales artificiales construidos como tecnología apropiada en la Orinoquía colombiana para la depuración de aguas residuales. Caso de estudio: “La Topochera Llanera”*. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/4cef8a88-b578-4beb-a791-85169b59c624/content>
- Gutiérrez La Torre, C. M. (2025). *Análisis de métodos innovadores para el tratamiento de aguas superficiales por medio de filtros biológicos para implementación en el sector semiurbano en la ciudad de Villavicencio, Meta*. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/e29d2fdc-92af-41bd-a10c-02cccc3b07a4/content>
- Díaz Rivera, B. C., & Hernández Ceballos, J. P. (2019). *Aplicación en temáticas de ingeniería civil: diseño hidráulico y estructural para un sistema de cubierta verde aplicado a la Universidad Santo Tomás - sede Villavicencio*. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/bc433393-90ed-43d9-aff6-d30ef4ec1d60/content>
- Espinosa Martínez, C. E., & Van Audenhove Mejía, R. H. A. (2023). *Diseño para el aprovechamiento racional de aguas lluvias en el Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, Villavicencio*. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/3ce6993f-75bd-42e8-977e-23725d01fbba/content>
- Cardozo Romero, M. J., & Espinosa Martínez, H. D. (2023). *Diseño de alternativas para el aprovechamiento racional de aguas lluvias para el Campus Loma Linda de la Universidad Santo Tomás, Villavicencio*. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/638e6083-85e2-4eef-bc50-31b29c0bf7c2/content>

CAPÍTULO 4: AGUAS

Benavides Pardo, W. (2025). *Análisis técnico de la viabilidad e impactos de zonas de bioretención con geotextiles y polímeros reciclados para la gestión de aguas pluviales en el tramo vial Chimita–La Cemento*. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/d82eead7-8327-4b00-bb12-34a52303de6f/content>



CAPÍTULO 5:
SOSTENIBILIDAD

Resumen

El capítulo presenta diez trabajos de grado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás en Villavicencio. Estos trabajos se centran en la sostenibilidad en el contexto de la ingeniería civil. Estos trabajos de investigación muestran una tendencia clara: buscan reducir el impacto ambiental en la construcción. Para lograrlo, se enfocan en reutilizar residuos, optimizar materiales y aplicar tecnologías sostenibles.

Algunos estudios destacan el uso de materiales reciclados como llantas viejas, poliestireno expandido y residuos de la agroindustria. Estos materiales se evalúan para ver si son viables en la construcción y el mejoramiento de suelos. Se incluyen investigaciones teóricas y documentales que analizan materiales sostenibles. También se desarrollan herramientas tecnológicas para planificar y gestionar proyectos de manera ambientalmente responsable.

Algunos trabajos se centran en problemas de saneamiento básico y desarrollo sostenible. Se enfocan en el acceso a servicios de agua y saneamiento adecuados. Identifican brechas y proponen mejoras. En general, estos trabajos responden a necesidades locales y se alinean con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se centran en la gestión del agua, el consumo responsable y la acción climática.

Los resultados muestran que usar materiales alternativos y prácticas sostenibles es viable y beneficioso. Puede generar beneficios económicos y ambientales.

En resumen, este capítulo ofrece una visión general de la investigación en sostenibilidad en ingeniería civil. Es un aporte académico que ayuda a identificar tendencias, oportunidades y desafíos para soluciones sostenibles en el sector.

Palabras clave. Sostenibilidad, ingeniería civil, materiales alternativos, reutilización de residuos, construcción sostenible, economía circular, gestión ambiental, desarrollo sostenible, innovación tecnológica, saneamiento básico, tratamiento de residuos, mejoramiento de suelos, Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), impacto ambiental, eficiencia de materiales.

Introducción

El presente capítulo se presenta el análisis de la sostenibilidad en el ámbito de la ingeniería civil, a partir de la revisión de trabajos de grado desarrollados en la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio. Este tema se enmarca en la necesidad de comprender cómo desde el contexto académico, han sido planteadas alternativas orientadas a mitigar los impactos ambientales generados por las actividades constructivas. En este sentido, la sostenibilidad es abordada como un enfoque que integra el aprovechamiento de residuos, el uso eficiente de los recursos y la implementación de soluciones que respondan a problemáticas ambientales y sociales.

Para analizar esta temática, ha sido necesario considerar diversas problemáticas que afectan actualmente al sector. Entre ellas, se ha identificado la generación excesiva de residuos sólidos, el uso indiscriminado de materiales convencionales, la limitada implementación de tecnologías sostenibles y las deficiencias en sistemas de saneamiento básico. Estas situaciones han sido asociadas con impactos negativos sobre el medio ambiente y con limitaciones en el desarrollo sostenible de las comunidades, especialmente en contextos locales y regionales.

La investigación de estas problemáticas ha sido motivada por el interés académico de analizar las diferentes estrategias planteadas en los trabajos de grado, así como por la necesidad de identificar tendencias en el uso de materiales alternativos y en la formulación de soluciones sostenibles. De igual manera, ha existido un interés en evidenciar cómo desde la formación profesional se han propuesto alternativas que pueden ser aplicadas en escenarios reales, contribuyendo a la mejora de las condiciones ambientales y al fortalecimiento de prácticas responsables en la ingeniería civil.

En cuanto a la metodología, el capítulo ha sido desarrollado mediante un enfoque de revisión y análisis documental, en el cual han sido recopilados, organizados y evaluados los aportes de diez trabajos de grado. A partir de esta revisión, se ha realizado una síntesis de los principales elementos de cada investigación, incluyendo sus objetivos, materiales empleados, procedimientos, resultados y enfoques de sostenibilidad, lo que ha permitido establecer una visión integral del tema.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

El objetivo general de este capítulo ha sido analizar las contribuciones de los trabajos de grado en relación con la sostenibilidad en la ingeniería civil. De manera específica, se ha buscado identificar las problemáticas abordadas, evaluar las soluciones propuestas basadas en el uso de materiales alternativos y tecnologías sostenibles, y reconocer los aportes de estas investigaciones al desarrollo de prácticas constructivas más responsables.

Finalmente, el capítulo se encuentra organizado de manera que, en una primera parte, se presenta la caracterización general de los trabajos analizados; posteriormente, se exponen los principales enfoques de sostenibilidad identificados; y, por último, se realiza un análisis integrador de los resultados, con el fin de evidenciar las tendencias, aportes y oportunidades en el campo de la ingeniería civil sostenible.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Metodología

En relación con los procedimientos de diseño, se evidenció que, en algunos de los trabajos analizados, particularmente aquellos desarrollados como monografías bajo enfoque de revisión documental, no se incluyeron metodologías experimentales detalladas, como diseños de mezcla o ensayos de laboratorio. Asimismo, en estos casos no se identificó con claridad el soporte metodológico ni su trazabilidad en las fuentes bibliográficas, lo que limita la posibilidad de replicar las propuestas planteadas. No obstante, dichos estudios aportan elementos teóricos relevantes que pueden servir como base para futuras investigaciones de carácter aplicado. A continuación, se presentan los procedimientos identificados en los estudios analizados.

En la siguiente tabla se presentan los trabajos de grado seleccionados que hacen parte del capítulo de sostenibilidad, los cuales abordan diferentes enfoques relacionados con el uso eficiente de recursos, la implementación de materiales sostenibles y estrategias orientadas al desarrollo sostenible.

Tabla 117

Tesis del capítulo de sostenibilidad.

No.	Nombres y Apellidos Estudiante	Título del Proyecto	Enlace
1	Anderson Alberto Rodríguez Mondragón	Plan de negocio de ecoriental de llantas, dedicada a la fabricación de productos a partir del reciclaje de llantas en la región de la Orinoquia	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/eda4a79c-7500-4570-b790-14fd37d417fd/content
2	Juan Sebastián Rodríguez Martínez	Poliestireno expandido (EPS) en obras de ingeniería civil: experiencias frente a una problemática ambiental.	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/7979b202-a25b-4d16-8cb4-

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

No.	Nombres y Apellidos Estudiante	Título del Proyecto	Enlace
			60738a78bae8/content
3	Javier Fernando Díaz Villalobos Y Karen Dayana Mendivelso Hernández	Programa aplicativo para la formulación de planes y guías de manejo ambiental enfocados en proyectos de obra de construcción	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/b74b7f7f-9fb7-4846-8fd0-902e5a2362fc/content
4	Andrés Felipe Hernández Ramírez Edwin Y Andrés Varela Vargas	Propuesta para la reutilización de residuos y escombros provenientes de los laboratorios de concreto en Villavicencio	repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/b481d419-72a3-4ba7-8bdb-6c6cdc418d38/content
5	Juan Sebastián Escobar Rojas	Usos del desecho agroindustrial (cuesco) de la palma de aceite africana en la ingeniería civil	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/42472ef7-0f98-46c7-a15f-0df712172dfe/content
6	Felipe Santiago Clavijo Rodríguez	Análisis documental del uso de llantas recicladas en obras civiles a nivel nacional	https://repository.usta.edu.co/items/d6712ac8-7c0d-48ff-8b26-09fc847978cd
7	Adriana Galindo Pardo	Diagnóstico del indicador 6.2.1 de los ODS (objetivos de desarrollo sostenible) para el manejo del saneamiento e higiene en la vereda San Juan Bosco, sector 2, municipio de Villavicencio, meta.	https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/f23e8dcb-25e3-4b05-ae2b-acdb23dbba82/content

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

No.	Nombres y Apellidos Estudiante	Título del Proyecto	Enlace
8	Valentina Mancera León	Revisión teórica del estudio comparativo en bloques de arcilla y cáñamo industrial como alternativa de construcción sostenible.	https://repository.usta.edu.co/items/84a2aa63-69b3-41b2-acb0-4e98effe8976
9	Luisa Fernanda Olaya Castro	Revisión teórica del mejoramiento de suelos arcillosos complejos en Colombia mediante el uso de materiales reciclados	https://repository.usta.edu.co/items/39fe22d4-3acd-4718-b456-08c29504a985
10	Laura Camila Ávila Benito	Síntesis biosólidos en Colombia: definición, ventajas, usos y aplicaciones en la ingeniería a través de una revisión bibliográfica	https://repository.usta.edu.co/items/45b4647c-dc73-4446-9e0d-734356fe2792

Nota: Elaborado por autor.

A continuación, se desarrolla cada una de las tesis presentadas, incluyendo su procedimiento técnico, los resultados obtenidos y un breve análisis de estos.

37. Llantas recicladas en ingeniería civil

Por: Anderson Alberto Rodríguez Mondragón

2019

La metodología del trabajo se orientó a la formulación de una empresa para el aprovechamiento de llantas recicladas, mediante el desarrollo de etapas que incluyen el análisis de mercado, la definición del proceso productivo, la estructuración administrativa y la evaluación financiera.

Figura 36

Diagrama de flujo: formulación de una empresa para el aprovechamiento de llantas recicladas



Nota: Elaborado por autor.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

37.1. Análisis e interpretación de resultados

Impacto ambiental:

Se evidenció un impacto positivo asociado al reciclaje de llantas mediante un método no contaminante, evitando prácticas como la quema y el almacenamiento inadecuado. Esto contribuye a la reducción de riesgos para la salud, especialmente aquellos relacionados con la proliferación de vectores y la exposición a sustancias tóxicas.

Impacto económico:

Se identificaron beneficios económicos derivados del uso de GCR (granulo de caucho reciclado), entre ellos el aumento en la durabilidad de mezclas asfálticas, lo que implica una mayor vida útil y reducción en costos de operación. Asimismo, se destaca la viabilidad de un modelo de negocio basado en productos reciclados y la optimización en tiempos y costos de abastecimiento para industrias locales.

Impacto social:

Se reconoció un aporte positivo en la mitigación de la problemática de residuos en la región de la Orinoquia, así como en la generación de empleo y el fortalecimiento del desarrollo industrial en Villavicencio, con potencial de crecimiento a futuro.

En conjunto, estos resultados evidencian la viabilidad integral de la propuesta, al demostrar que el aprovechamiento de llantas recicladas no solo representa una alternativa ambientalmente responsable, sino también una oportunidad económica y social para el desarrollo regional.

38. Poliestireno expandido (EPS) y cenizas de lodo en ingeniería civil

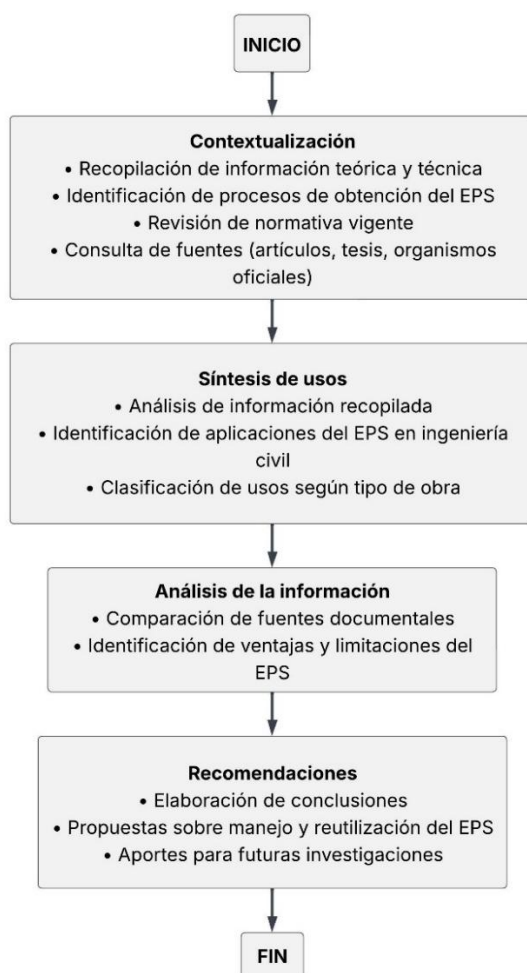
Por: Juan Sebastián Rodríguez Martínez

2023

La metodología del trabajo se basó en un enfoque cualitativo de revisión documental, orientado a la recopilación y análisis de información sobre los conceptos, aplicaciones y usos del poliestireno expandido (EPS) en la ingeniería civil.

Figura 37

Diagrama de flujo: proceso metodológico para el análisis del poliestireno expandido (EPS) en ingeniería civil.



Nota: Elaborado por autor.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

38.1. Resultados

Tabla 118

Aplicaciones del poliestireno expandido (EPS) en ingeniería civil y sus dosificaciones

Material	Dosificación / Características	Uso / Aplicación
Bases de hormigón con poliestireno expandido (EPS)	Incorporación de EPS como material ligero en capas de soporte	Reducción de la penetración de escarcha en pavimentos rígidos y flexibles, disminución de deformaciones del firme.
Composición de cementación de pozos con EPS reciclado	Inclusión de EPS reciclado en mezclas de cementación	Mejora la productividad, reduce costos y aumenta la resistencia frente a altas temperaturas y presiones en pozos.
Morteros ligeros con EPS y cenizas de lodos	Hasta 60% EPS y 20% cenizas de lodos	Morteros de bajo peso con buenas propiedades térmicas, usados en enlucidos y paños.
Hormigón con agregado ligero de EPS	Sustitución parcial de áridos por EPS granulado; densidades entre 800–1200 kg/m ³	Uso en contrapisos, rellenos y elementos no estructurales.
Geoespuma o bloques de EPS	Bloques o planchas moldeadas de EPS de baja densidad	Aplicación en terraplenes, carreteras, puentes y reducción de cargas muertas.
Hormigón aligerado con EPS modificado	Sustitución del 60% al 80% del agregado grueso por EPS modificado	Uso en prefabricados y elementos no estructurales, con menor resistencia mecánica.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Paneles aislantes con EPS	Espesores aproximados de 75 mm	Aislamiento térmico en cubiertas y mejora de eficiencia energética.
---------------------------	--------------------------------	---

Nota: Elaborado por autor.

38.2. Análisis e interpretación de resultados

Los resultados demuestran que el poliestireno expandido (EPS) presenta una amplia versatilidad como material alternativo, destacándose por su baja densidad, capacidad de aislamiento térmico y potencial para ser incorporado en diversas soluciones constructivas, especialmente en aplicaciones no estructurales y de ingeniería sostenible.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

39. Plan de Manejo Ambiental (PMA) en proyectos de infraestructura

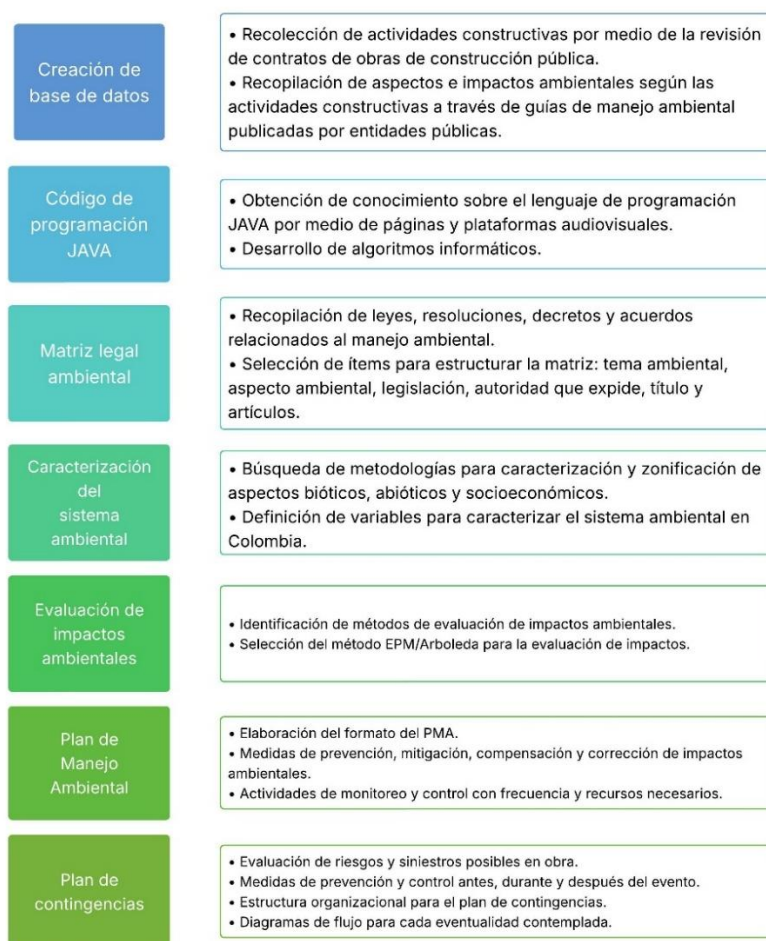
Por: Javier Fernando Díaz Villalobos & Karen Dayana Mendivelso Hernández

2022

“La metodología del proyecto se basa en la sistematización de información obtenida por medio de una investigación mixta, permitiendo abarcar en gran magnitud el campo de la gestión ambiental en los proyectos de construcción” (Díaz Villalobos & Mendivelso Hernández, 2020, p. 27).

Figura 38

Proceso de la metodología aplicada en el proyecto



Nota. Adaptado de Hernández Ramírez y Varela Vargas (2020, p. 27).

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

39.1. Análisis e interpretación de resultados

Se desarrolló el aplicativo **PMA CIVIL**, una herramienta en lenguaje Java diseñada para la formulación de Planes de Manejo Ambiental (PMA) en proyectos de construcción, la cual permite adaptar las estrategias ambientales a las condiciones específicas del usuario, en cumplimiento de la normativa vigente. El aplicativo facilita la identificación y gestión de impactos ambientales mediante la definición de medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación.

La funcionalidad y eficacia de la herramienta fue validada a través de la elaboración de un PMA aplicado al proyecto de mejoramiento vial La Esmeralda–Palomar (K0+000 al K3+000), ubicado en el municipio de El Dorado, Meta, evidenciando su aplicabilidad en contextos reales y su potencial como apoyo en la gestión ambiental de obras de infraestructura.

Cabe resaltar que esta tesis fue catalogada como meritoria, y sus autores lograron el registro de propiedad intelectual del aplicativo desarrollado, lo que respalda su nivel de innovación, aporte técnico y pertinencia dentro del ámbito de la ingeniería civil y la gestión ambiental.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

40. Concreto reciclado con fibras de acero para aplicaciones constructivas

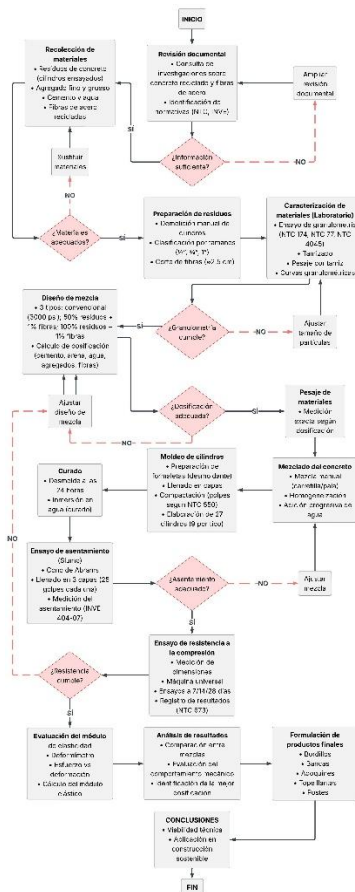
Por: Andrés Felipe Hernández Ramírez & Edwin Andrés Varela Vargas

2020

La metodología del trabajo se orientó al aprovechamiento de residuos de concreto provenientes de laboratorio, mediante su recolección, transformación y reutilización en la elaboración de mezclas y elementos constructivos, evaluando su comportamiento mecánico y su viabilidad como alternativa sostenible.

Figura 39

Diagrama de flujo del proceso de elaboración de concreto reciclado con residuos y fibras de acero.



Nota: Elaborado por autor.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

40.1. Resultados

Tabla 119

Resultados del diseño óptimo de concreto reciclado con residuos y fibras de acero

Categoría	Descripción	Datos técnicos	Aplicación
Diseño óptimo	Concreto con 50% residuos de concreto (RCL) + 1% fibras de acero (FA)	Resistencia: 3511 psi (28 días) Módulo: 24707 MPa	Viable estructuralmente
Diseño no óptimo	Concreto con 100% residuos de concreto (RCL) + 1% fibras de acero (FA)	Resistencia: 2585 psi (28 días)	Uso en elementos no estructurales
Dosificación óptima	Mezcla para 9 cilindros (0.05247 m ³)	Cemento: 20.537 kg, Arena: 41.063 kg, Triturado: 30.8 kg, Residuos: 30.8 kg, Agua: 11.297 kg, Fibras: 0.308 kg	Producción de concreto reciclado
Tope llantas	Elemento prefabricado	250x600x150 mm, 33 kg	Parqueaderos
Bordillo liso	Elemento prefabricado	80x800x300 mm, 44 kg	Jardines y aceras
Banca angular	Elemento prefabricado	60x300-400x600 mm, 74 kg	Parques
Vivero	Elemento prefabricado	300x400x200 mm, Peso nominal	Jardinería
Adoquín	Elemento prefabricado	60x100x100 mm, 1.35 kg	Vías peatonales

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Categoría	Descripción	Datos técnicos	Aplicación
Poste de cerramiento	Elemento prefabricado	11x1x2000 cm, 40 kg (5 hilos)	Cercas

Nota: Elaborado por autor.

40.2. Análisis e interpretación de resultados

El análisis de resultados fue realizado evidenciándose que el concreto elaborado con residuos de concreto reciclado (RCL) y fibras de acero (FA) presenta un comportamiento mecánico favorable cuando son empleados porcentajes moderados de sustitución. Fue destacada la mezcla con 50% de RCL y 1% de fibras de acero, debido a que fue alcanzada una resistencia de 3511 psi a los 28 días y un módulo de elasticidad de 24707MPa, resultados por los cuales es considerada viable para aplicaciones estructurales. Asimismo, fue demostrada la funcionalidad de los elementos prefabricados elaborados con este material, como adoquines, bordillos y bancas, para usos urbanos y paisajísticos.

Por otro lado, en la mezcla con 100% de residuos reciclados fue obtenida una resistencia de 2585 psi, evidenciándose una disminución en el desempeño mecánico, razón por la cual no es considerada viable para elementos estructurales. Sin embargo, su utilización puede ser realizada en aplicaciones no estructurales donde las exigencias de carga sean menores.

En conclusión, fue determinada la viabilidad del uso parcial de residuos de concreto reciclado en la producción de concretos y elementos prefabricados, siempre que sea controlado el porcentaje de sustitución empleado.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

41. Cuesco de la palma de aceite africana en la ingeniería civil*Por: Juan Sebastián Escobar Rojas*

2023

El procedimiento metodológico de esta monografía se basa en un enfoque cualitativo, sustentado en la revisión bibliográfica de diversas fuentes académicas y técnicas. A partir de la consulta en bases de datos especializadas, se recopila y selecciona información relevante sobre las propiedades del cuesco y sus posibles aplicaciones en la ingeniería civil. Posteriormente, los estudios son analizados y organizados según su área de aplicación, permitiendo identificar ventajas, limitaciones y condiciones de uso. Finalmente, se evalúa la viabilidad del material mediante la comparación con normativas vigentes, con el fin de establecer su potencial como alternativa sostenible en diferentes contextos constructivos.

41.1. Resultados**Tabla 120***Marco estructural*

Autor / Estudio	Material / Aplicación	Dosificación	Resultados principales	Normativa	Conclusión
Ensayo de morteros	Mortero con ceniza de cuesco	5% reemplazo de cemento	Peso unitario: 2.245 vs 2.278g/cm ³ ; 3 días: similar; 7 días: +22%; 28 días: +18%	Comparado con diseño convencional	Mejora resistencia y reduce peso; comportamiento puzolánico viable
Martelo y Sepúlveda	Concreto con ceniza de cuesco (CCPA)	Sustitución parcial de cemento	Mejora propiedades mecánicas y reduce absorción de agua	NTC 3493:2019	Viable como material cementante suplementario

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Barrios, Castro y Daza	Bloques de mampostería	3% ceniza + fibra	Resistencia 3.42 MPa (inferior a norma); mejora propiedades físicas	NTC 4026 / 4076, NSR-10	No cumple estructuralmente (artesanal), pero viable ambientalmente
Buzón Ojeda (2009)	Adoquines y bloques	25–50% cuesco	Adoquines: 9.1 MPa; bloques: 2 MPa; desgaste 11–12% (mejor que 25%)	Cumple normativas	Alta viabilidad técnica con ajustes de mezcla
García y Díaz (Velásquez & Morales, 2019)	Concreto con cuesco como agregado	10%, 20%, 30%	Solo 10% supera 21 MPa; mayores porcentajes reducen resistencia	Referencia estructural estándar	Uso limitado; requiere análisis químico previo

Nota: Elaborado por autor.

Tabla 121

Marco de vías y transporte

Autor / Estudio	Material / Aplicación	Dosificación	Resultados principales	Normativa	Conclusión
Leonel Eduardo Cotes (2017)	Mezclas asfálticas con CCPA	15%–100% CCPA	50% óptimo estabilidad Marshall; 100% mejora ahuellamiento; cumple resistencia tracción indirecta	Ensayo Marshall	Mejora comportamiento mecánico; viable en pavimentos
Erika Lorena Becerra (2017)	Cuesco en capas granulares	Sustitución directa	No cumple granulometría; desgaste <4%; alta irregularidad; finos 15.70%	INVIAS	No viable como reemplazo total; requiere modificación

Nota: Elaborado por autor.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Tabla 122*Marco mejoramiento de suelos*

Autor / Estudio	Material / Aplicación	Dosificación	Resultados principales	Normativa / Clasificación	Conclusión
Cotes y Murillo (2015)	Ceniza de cuesco (CCPA) en suelos arcillosos	7.5% óptimo	Reduce plasticidad; mejora compactación; aumenta resistencia inconfiada y módulo elástico	Clasificación CL (USCS)	Mejora significativa del suelo; alternativa económica y sostenible

Nota: Elaborado por autor.

41.2. Análisis e interpretación de resultados

El análisis de resultados fue realizado, evidenciándose que la ceniza de cuesco de palma africana (CCPA) presenta un comportamiento favorable en aplicaciones de ingeniería civil, especialmente en morteros, concretos, mezclas asfálticas y estabilización de suelos. Fue identificado que reemplazos parciales entre 5% y 15% permitieron el mejoramiento de propiedades mecánicas y físicas, destacándose una mayor resistencia y estabilidad del material.

Por otro lado, fueron evidenciadas limitaciones en aplicaciones con altos porcentajes de sustitución, donde no fueron cumplidos algunos requisitos normativos estructurales y granulométricos, debido a la disminución de la resistencia mecánica.

En conclusión, fue determinada la viabilidad del uso de la ceniza de cuesco de palma africana en aplicaciones de ingeniería civil, siempre que sean controlados los porcentajes de sustitución y dosificación empleados.

42. Llantas recicladas en ingeniería civil 2.0

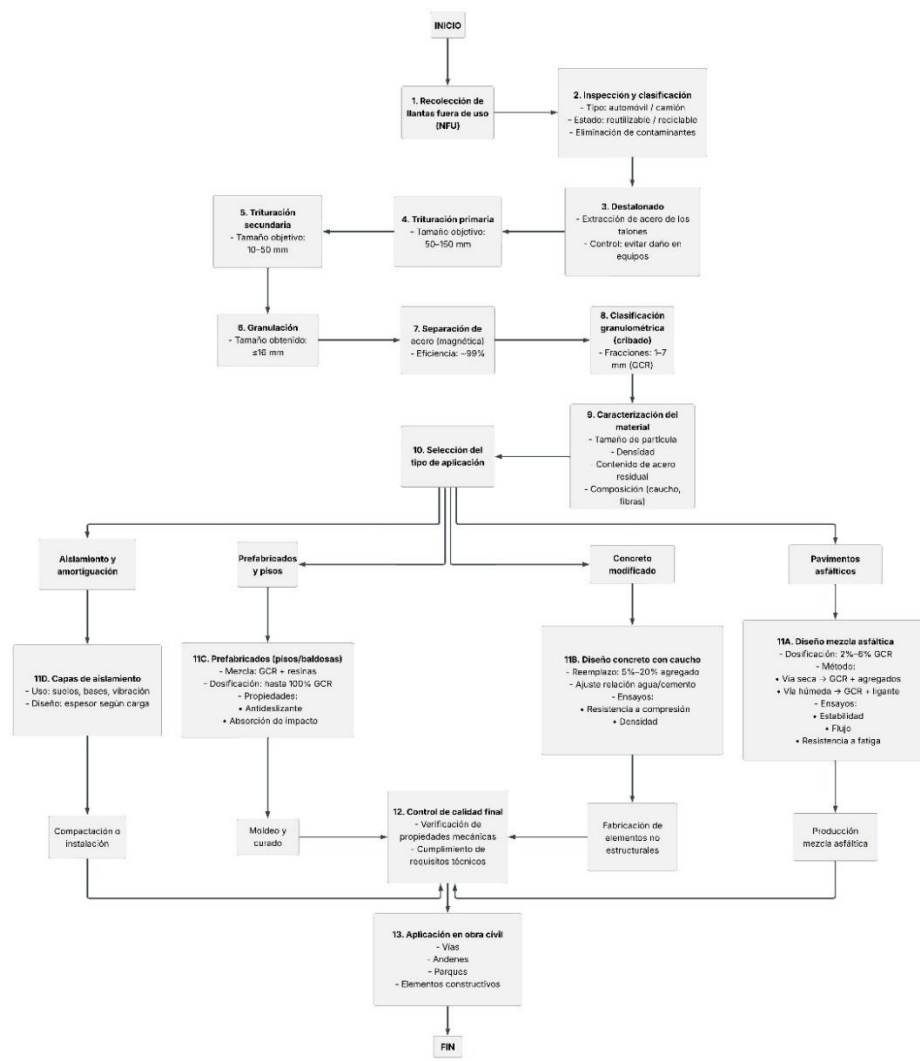
Felipe Santiago Clavijo Rodríguez

2023

El presente procedimiento se fundamenta en un análisis documental sobre el uso de llantas recicladas en obras de ingeniería civil. Cabe resaltar que no se propone un diseño propio, sino que se construye a partir de la revisión y síntesis de diversas fuentes bibliográficas, permitiendo estructurar el enfoque metodológico con base en conocimientos existentes.

Figura 40

Diagrama de flujo, proceso de aprovechamiento de llantas recicladas en obras civiles



Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

42.1. Análisis e interpretación de resultados

Se obtuvo un gránulo de caucho reciclado con una granulometría controlada entre 1 mm y 7mm. Esto se logró gracias a los procesos de trituración, granulación y clasificación de las llantas recicladas. El material resultante es homogéneo.

Durante el proceso de separación, se logró remover casi el 99% del acero gracias a sistemas magnéticos. Esto permitió obtener un material con muy pocas impurezas metálicas, lo que es beneficioso para su uso en construcción.

Al agregar gránulo de caucho reciclado a las mezclas asfálticas, se mejoró la flexibilidad del material. También se redujo el agrietamiento por fatiga y la susceptibilidad térmica. Esto contribuye a que los pavimentos duren más.

Al reemplazar parte de los agregados por gránulo de caucho reciclado en el concreto, se redujo la densidad del material. También se aumentó su capacidad de absorción de energía. Sin embargo, se perdió resistencia a la compresión a medida que se aumentaba el porcentaje de sustitución.

Se puede fabricar un material con propiedades favorables como alta resistencia al desgaste y capacidad de amortiguación, utilizando altas proporciones de gránulo de caucho reciclado y agentes ligantes. Esto es útil para superficies expuestas a impacto y tránsito peatonal.

Además, el uso de gránulo de caucho reciclado en sistemas de aislamiento y amortiguación reduce la transmisión de vibraciones y ruido. Esto lo hace útil para aplicaciones no estructurales en la construcción.

En conclusión, el uso de llantas recicladas es una alternativa viable. Permite obtener materiales con propiedades específicas y reduce el impacto ambiental asociado a la disposición inadecuada de estos residuos.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

43. Baño seco como solución sostenible: uso de materiales orgánicos y reutilizables en el saneamiento rural

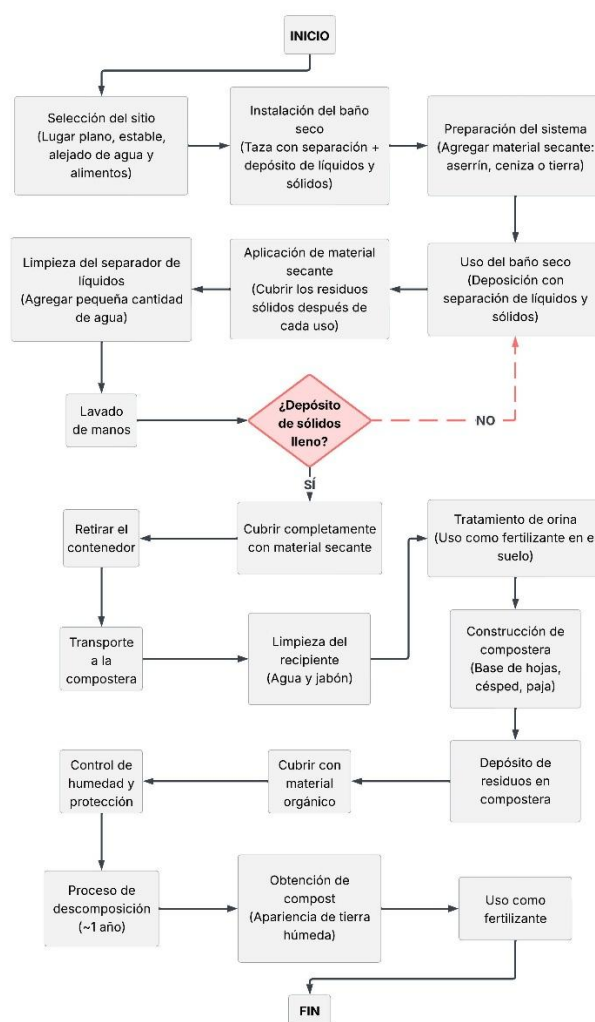
Adriana Pardo Galindo

2024

Este procedimiento técnico describe la implementación de un baño seco como alternativa sostenible para el manejo de residuos sanitarios. Este sistema no requiere agua y utiliza materiales biodegradables que permiten transformar los desechos en compost. Su uso es ideal en zonas rurales, ya que reduce riesgos sanitarios y el impacto ambiental.

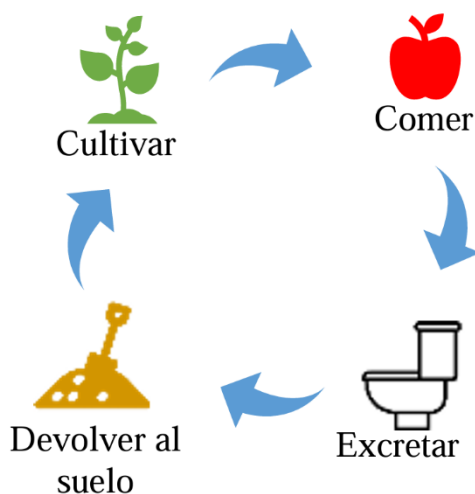
Figura 41

Diagrama de flujo del baño seco



Nota: Elaborado por autor.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Figura 42*Ciclo de nutrientes completo*

Nota. Tomado de Pardo Galindo (2024, p. 36).

43.1. Análisis e interpretación de resultados

El 100% de la población cuenta con inodoro; sin embargo, la ausencia de acueducto y alcantarillado obliga al vaciado manual. El 98% tiene baño propio y el 2% compartido, aunque el 36% se ubica en el exterior de la vivienda.

El 66% no separa aguas residuales; el 83% utiliza pozo séptico y el 17% pozos de infiltración sin recubrimiento. Además, el 15% de los pozos carece de recubrimiento.

Estos resultados evidencian un sistema de saneamiento insuficiente, con riesgos de contaminación y afectaciones a la salud pública, asociados a la falta de infraestructura, limitaciones socioeconómicas y desconocimiento en prácticas adecuadas de manejo sanitario.

En conclusión, se resalta la necesidad de implementar soluciones sostenibles como el baño seco, así como fortalecer la educación en higiene y la participación comunitaria para mejorar las condiciones de saneamiento.

44. Ladrillos de cáñamo vs. arcilla: una alternativa sostenible en la construcción

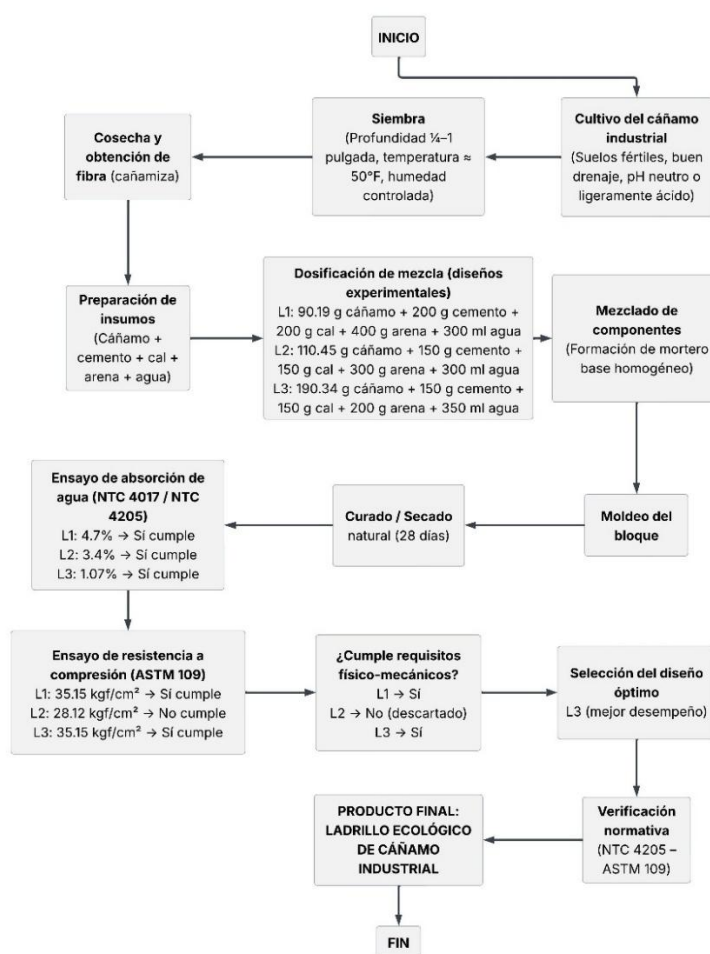
Valentina Mancera León

2022

A continuación, se describe el procedimiento para la fabricación y evaluación de ladrillos de cáñamo industrial y de arcilla en los siguientes diagramas de flujo, incluyendo las etapas desde la obtención de la materia prima hasta los ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades físico-mecánicas.

Figura 43

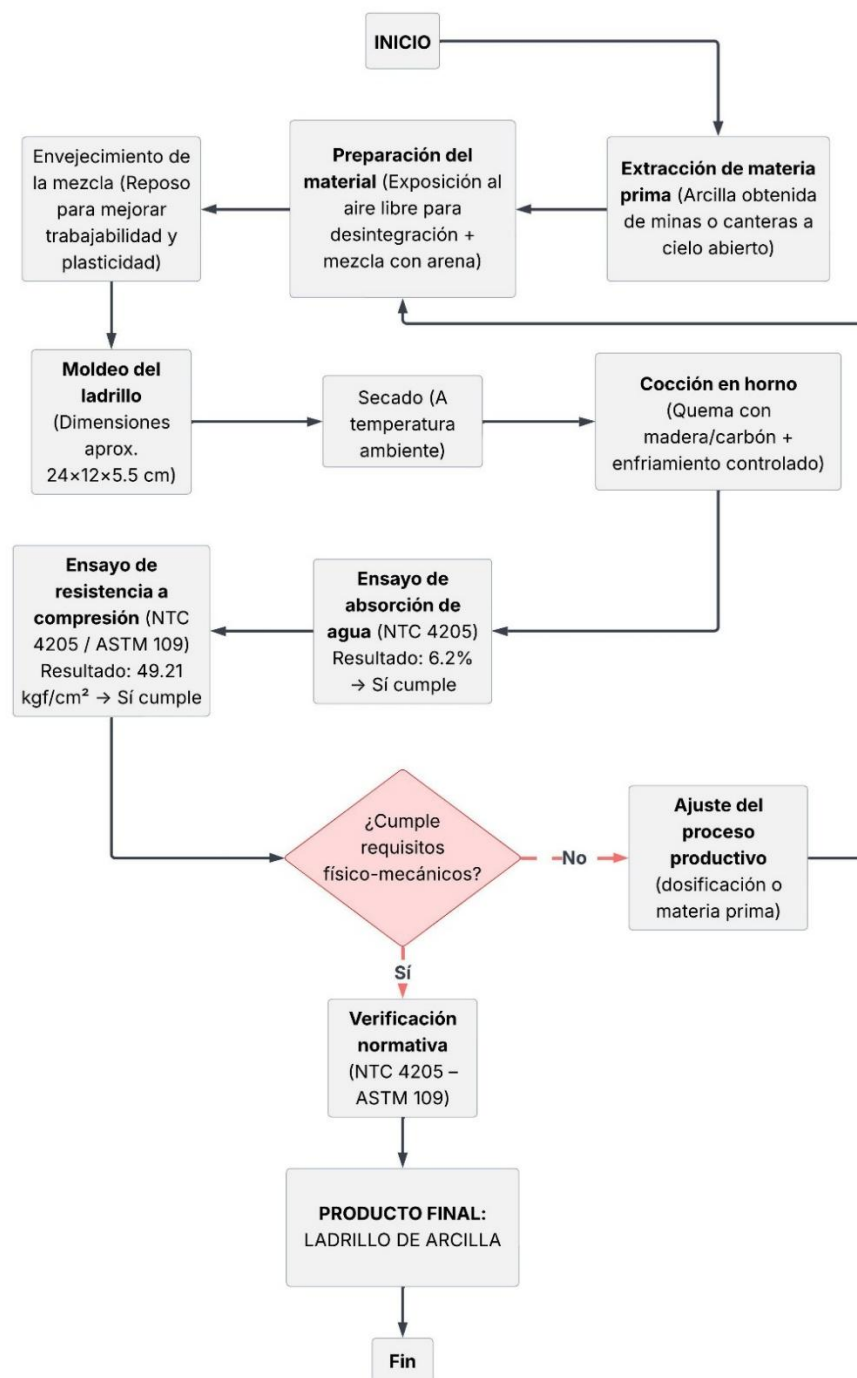
Diagrama de flujo del procedimiento técnico para la fabricación de ladrillos de cáñamo industrial



Nota: Elaborado por autor.

Figura 44

Diagrama de flujo del procedimiento técnico para la fabricación de ladrillos de arcilla



Nota: Elaborado por autor.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

44.1. Resultados

Tabla 123

Análisis comparativo de propiedades físico-mecánicas: ladrillos de cáñamo vs. arcilla

Material	Diseño Muestra	Composición Descripción	Absorción de agua (%)	Resistencia a compresión (kgf/cm ²)	Cumple norma	Observaciones
Cáñamo	L1	90.19g cáñamo + 200g cemento + 200g cal + 400g arena + 300ml agua	4.7	35.15	Sí	Cumple requisitos mínimos
Cáñamo	L2	110.45g cáñamo + 150g cemento + 150g cal + 300g arena + 300ml agua	3.4	28.12	No	No cumple resistencia mínima
Cáñamo	L3	190.34g cáñamo + 150g cemento + 150g cal + 200g arena + 350ml agua	1.07	35.15	Sí	DISEÑO ÓPTIMO SELECCIONADO
Arcilla	Caso 1	Muestra estándar (24×12×5.5 cm)	6.2	49.21	Sí	Mayor resistencia mecánica
Arcilla	Ladrillera #1	Producción industrial	14	13.972	Sí (no estructural)	Cumple mínimo no estructural
Arcilla	Ladrillera #2	Producción industrial	12	9.079	Sí (no estructural)	Baja resistencia

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Materia	Diseño	Composición	Absorción de agua (%)	Resistencia a compresión (kgf/cm²)	Cumple norma	Observaciones
Arcilla	Ladrillera #3	Producción industrial	10	11.956	Sí (no estructural)	Promedio 11.532%
Arcilla	Ladrillera #4	Producción industrial	14	6.165	No	No cumple norma
Arcilla	Ladrillera #5	Producción industrial	8	15.133	Sí (estructural)	Única que cumple estructural
Arcilla	Ladrillera #6	Producción industrial	16	8.061	Sí (no estructural)	Cumple mínimo
Arcilla	Ladrillera #7	Producción industrial	14	6.038	No	No cumple norma
Arcilla	Ladrillera #8	Producción industrial	13	6.695	No	No cumple norma

Nota: Elaborado por autor.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Tabla 124*Resumen de desempeño y cumplimiento normativo de ladrillos evaluados*

Material	Absorción promedio (%)	Resistencia promedio (kgf/cm²)	Cumplimiento estructural	Cumplimiento o no estructural
Cáñamo (L3)	1.07	35.15	Sí	Sí
Arcilla (Caso 1)	6.2	49.21	Sí	Sí
Arcilla (industrial promedio)	11.5	10.89	1/8 cumplen	3/8 cumplen

Nota: Elaborado por autor.**44.2. Análisis e interpretación de resultados**

A partir de los resultados obtenidos, es observado que los ladrillos elaborados con fibras de cáñamo presentan características físicas y mecánicas favorables, destacándose el diseño L3, el cual alcanzó una absorción de agua de 1.07% y una resistencia a compresión de 35.15 kgf/cm², cumpliendo los requisitos normativos establecidos. Asimismo, es evidenciado que la incorporación de fibras de cáñamo permite disminuir la absorción y mejorar el desempeño mecánico del material.

Por otra parte, es determinado que los ladrillos de arcilla industrial presentan variaciones significativas en su comportamiento, debido a que únicamente una de las muestras evaluadas cumplió con los requisitos para uso estructural, mientras que varias no alcanzaron la resistencia mínima exigida por la norma.

Finalmente, es establecida la viabilidad del uso de fibras de cáñamo como alternativa sostenible en la fabricación de ladrillos, siempre que sean controladas adecuadamente las proporciones de dosificación y las condiciones de fabricación del material.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

45. Aplicaciones geotécnicas sostenibles en la estabilización de suelos para infraestructura vial

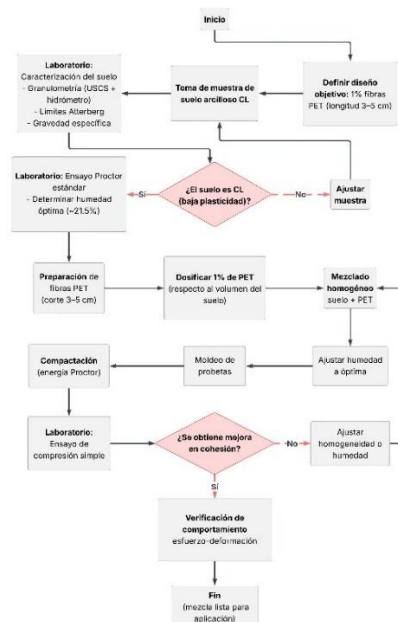
*Por: Luisa Fernanda Olaya Castro
2021*

Se establecieron procedimientos experimentales para evaluar el comportamiento de suelos arcillosos modificados con materiales reciclados y residuos industriales. Fueron realizadas la caracterización geotécnica del suelo, la preparación de mezclas con diferentes dosificaciones y la ejecución de ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades mecánicas.

A continuación, son presentados cuatro diagramas de flujo correspondientes a los procedimientos técnicos aplicados en la estabilización y caracterización de diferentes materiales, debido a que cada estudio emplea metodologías y dosificaciones específicas según el tipo de material utilizado.

Figura 45

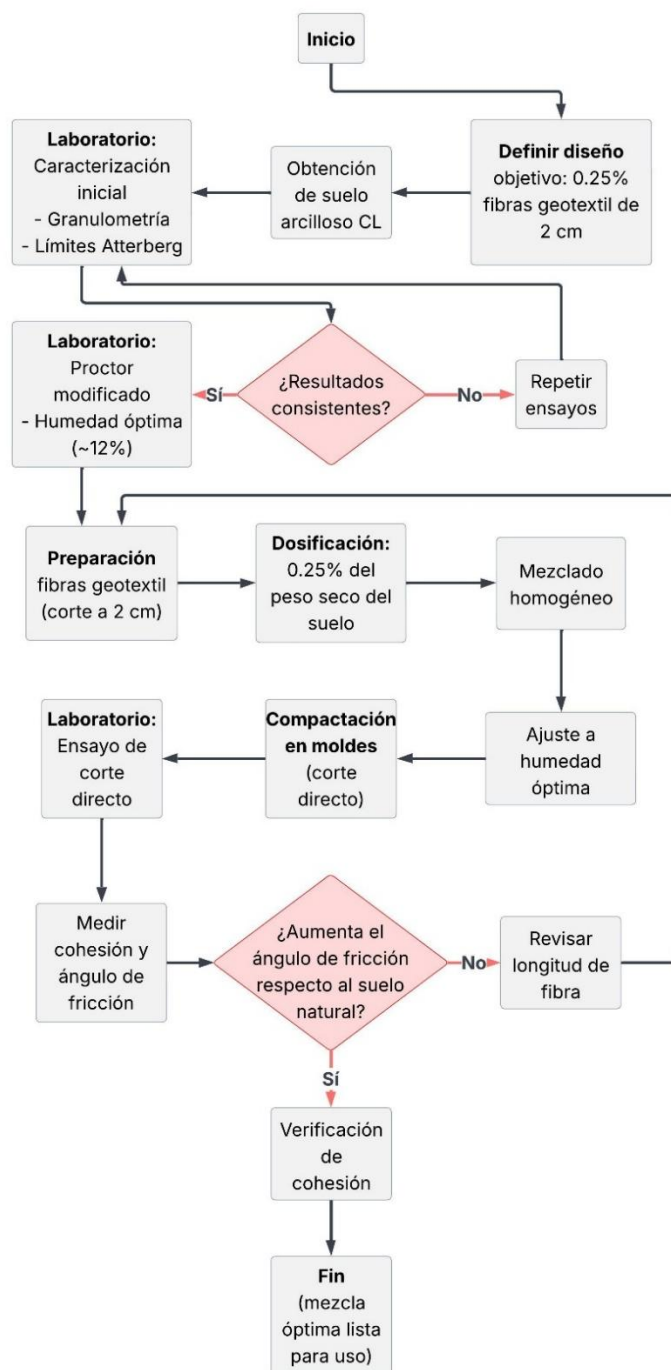
Diagrama de flujo: Procedimiento técnico para la estabilización de suelos arcillosos con fibras de PET reciclado



Nota: Elaborado por autor.

Figura 46

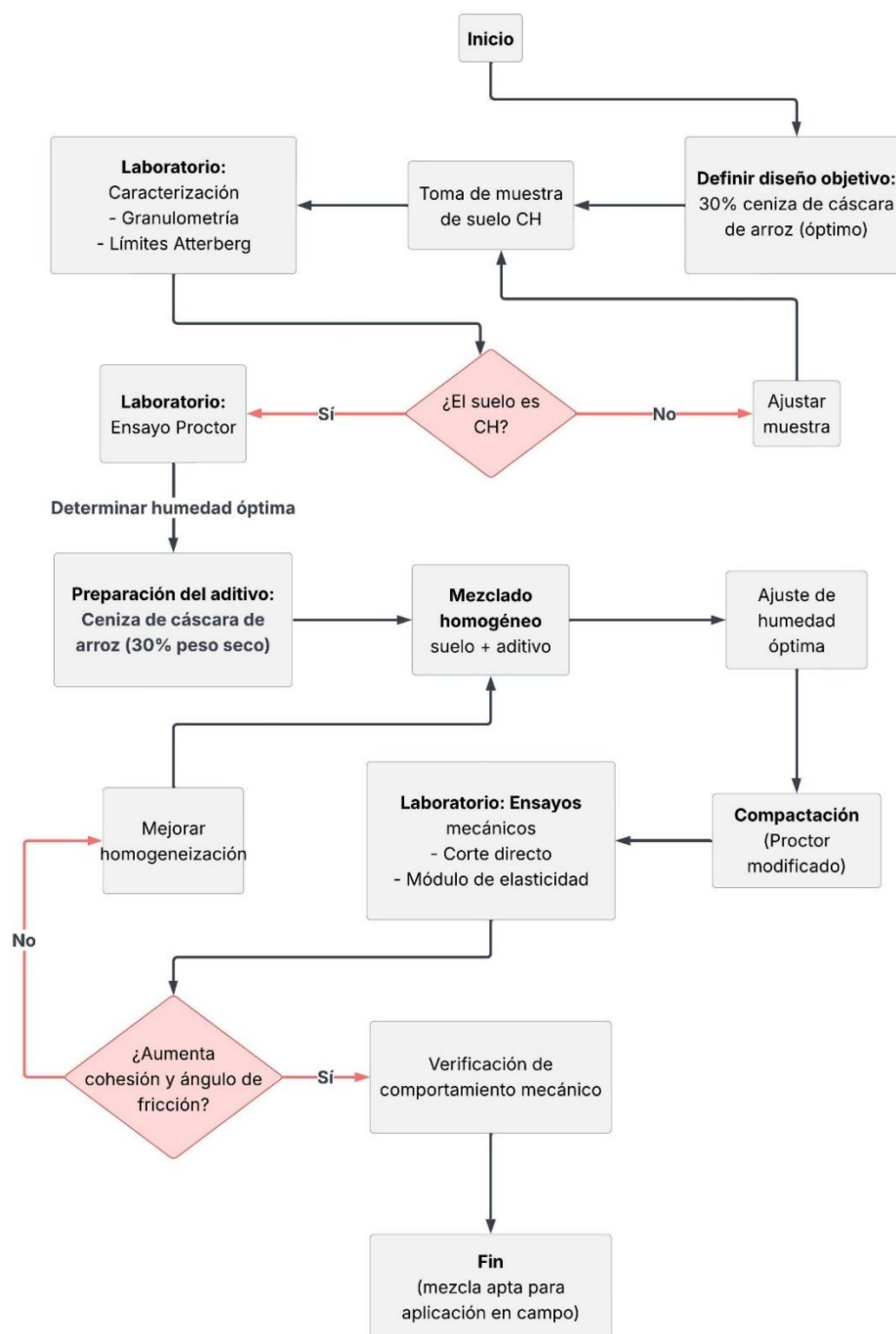
Diagrama de flujo: Procedimiento técnico para la estabilización de suelos arcillosos con fibras de geotextil (dosificación óptima 0.25% y longitud 2 cm)



Nota: Elaboración propia.

Figura 47

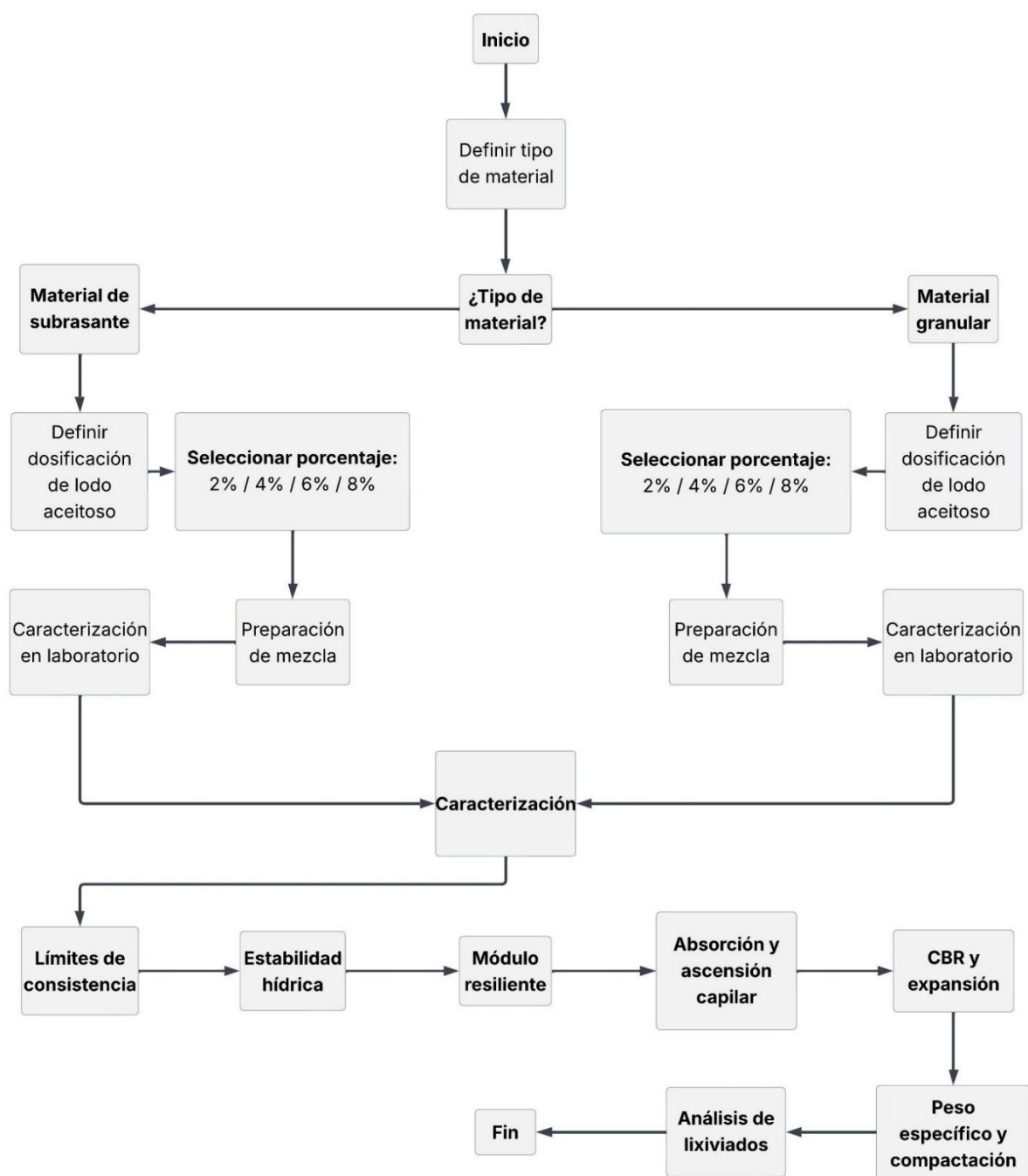
Diagrama de flujo: Procedimiento técnico para la estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cáscara de arroz (dosificación óptima 30%)



Nota: Elaboración propia.

Figura 48

Dosificación de lodo aceitoso y caracterización de mezclas.



Nota: Diagrama de flujo elaborado con base en la metodología propuesta por Alarcón et al. (2020, p. 8), adaptado para fines del presente estudio.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

45.1. Resultados

Tabla 125

Resultados del comportamiento de suelos arcillosos reforzados con fibras de PET reciclado

Parámetro	Valor / Condición	Resultado	Interpretación
Clasificación del suelo	CL (arcilla baja plasticidad)	Alto contenido de finos	Base del estudio
Granulometría	Suelo fino predominante	—	Influencia en comportamiento mecánico
Gravedad específica	2.95	—	Presencia de hierro/magnesio
Humedad óptima (Proctor)	21.52%	—	Condición ideal de compactación
Longitud de fibras	3 cm y 5 cm	—	Variable de diseño
Dosificación PET	0.2% – 1.5%	—	Rango experimental
Cohesión (0.5%)	+11 kPa	Mejora moderada	Aumento de resistencia
Cohesión (1%)	+20 a +24 kPa	Mejora significativa	Mayor estabilidad
Esfuerzo-deformación (3 cm)	160 – 205 kPa	Mejora resistencia	Mayor ductilidad
Esfuerzo-deformación (5 cm)	187 – 200 kPa	Mejora resistencia	Mejor desempeño

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Parámetro	Valor / Condición	Resultado	Interpretación
CBR (1% PET, 3 cm)	Mejora vs suelo natural	<1% valor requerido	No cumple INVIAS
Ángulo de fricción	Variable	No constante	Depende de mezcla
Ductilidad	Aumenta con % PET	Mejora comportamiento	Material más flexible
Tendencia general	A mayor % PET mayor cohesión	Mejora progresiva	Relación directa
Dosificación óptima	≈1% PET (3–5 cm)	Máxima cohesión y ductilidad	Condición recomendada

Nota: Elaborado por autor.

Tabla 126

Resultados del comportamiento de suelo arcilloso CL reforzado con geotextil tejido

Parámetro	Valor / Condición	Resultado	Interpretación
Clasificación USCS	CL (arcilla baja plasticidad)	—	Suelo base
Granulometría	70% finos / 30% arena	—	Alta fracción fina
Límite plástico (LP)	21%	—	Propiedad del suelo
Límite líquido (LL)	44%	—	Propiedad del suelo
Índice de plasticidad (IP)	22%	—	Plasticidad media

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Parámetro	Valor / Condición	Resultado	Interpretación
Humedad óptima	12%	—	Condición de compactación
Peso seco máximo	1.95 ton/m ³	—	Densidad máxima
Ángulo fricción (natural)	32°	—	Referencia base
Cohesión (natural)	1.21 kg/cm ²	—	Referencia base
Longitud fibras	1 cm, 2 cm, 3 cm	—	Variable de estudio
Dosificación	0.25%, 0.5%, 0.75%	—	Rango evaluado
0.25% – 2 cm	38° / 1.28 kg/cm ²	3.17	Mejor desempeño
0.75% – 3 cm	24° / 1.44 kg/cm ²	-1.3	Disminuye fricción
Fibras > 3 cm	Reduce fricción	Comportamiento negativo	No recomendable
Tendencia	Mayor longitud reduce fricción	—	Control de diseño
Dosificación óptima	0.25% – 2 cm	Máxima estabilidad	Condición recomendada

Nota: Elaborado por autor.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Tabla 127*Resultados del mejoramiento de suelos arcillosos con cáscara de arroz, plástico y caucho triturado*

Parámetro	Valor / Condición	Resultado	Interpretación
Clasificación suelo	CH (arcilla alta plasticidad)	—	Suelo base
Tipo de aditivos	Cáscara arroz, plástico, caucho	—	Materiales evaluados
Dosificación cáscara	30% peso seco	—	Alta sustitución
Dosificación plástica	2% peso seco	—	Baja proporción
Dosificación caucho	10% peso seco	—	Proporción media
Cohesión (todas mezclas)	40%	Mejora general	Aumento resistencia
Ángulo fricción (cáscara)	100%	Mejora máxima	Mejor desempeño
Ángulo fricción (plástico)	30%	Mejora moderada	Estable
Ángulo fricción (caucho)	10%	Mejora leve	Menor eficiencia
Módulo elasticidad (plástico)	29%	Mejor rigidez	Óptimo en deformación
Módulo elasticidad (cáscara)	5%	Mejora leve	Estable

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Parámetro	Valor / Condición	Resultado	Interpretación
Módulo elasticidad (caucho)	-52%	Disminuye rigidez	No recomendable
Tendencia general	Cáscara mejora fricción y cohesión	—	Mejor opción
Mejor alternativa	30% cáscara arroz	Máximo desempeño	Óptimo técnico

Nota: Elaborado por autor.

Tabla 128

Resultados del uso de lodos aceitosos en la estabilización de suelos arcillosos

Parámetro	Valor / Condición	Resultado	Interpretación
Material granular	6% lodo aceitoso	Óptimo	Mejor desempeño
Subrasante	4% lodo aceitoso	Óptimo	Mejora estructural
Módulo resiliente	6% (7 días)	40%	Mayor capacidad de carga
Resistencia subrasante	4%	37%	Mayor soporte
CBR	Aumenta con curado	Mejora progresiva	Dependiente del tiempo
Estabilidad hídrica	Alta	Menor sensibilidad	Mayor durabilidad
Impermeabilidad	Aumenta	Menor infiltración	Mayor vida útil

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Parámetro	Valor / Condición	Resultado	Interpretación
Plasticidad	8% → 0%	Suelo no plástico	Gran mejora
Lixiviados	Sin contaminación	Viable ambientalmente	Seguro
Efecto económico	Reduce costos	Optimización	Beneficio económico
Recomendación	Tramos prueba	Validación	Aplicación real

Nota: Elaborado por autor.

45.2. Análisis e interpretación de resultados

Comportamiento del suelo con PET reciclado

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 125, es observado que los suelos arcillosos reforzados con fibras de PET reciclado presentan mejoras en la cohesión, resistencia y ductilidad del material. Fue determinado que la dosificación óptima corresponde aproximadamente al 1% de PET con fibras de 3 cm y 5 cm, debido a que permitió alcanzar mayores valores de cohesión y estabilidad.

Asimismo, es evidenciado que el incremento del contenido de PET mejora progresivamente el comportamiento mecánico del suelo. Sin embargo, los valores de CBR obtenidos no cumplieron completamente los requisitos establecidos por la normativa INVIAS.

Finalmente, es establecida la viabilidad del uso de fibras de PET reciclado en la estabilización de suelos arcillosos, siempre que sean controladas las condiciones de dosificación y compactación.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Comportamiento del suelo con geotextil

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 126, es observado que el suelo arcilloso tipo CL reforzado con fibras de geotextil tejido presenta mejoras en sus propiedades mecánicas, especialmente en el ángulo de fricción y la cohesión. Fue determinado que la dosificación óptima corresponde a 0.25% de fibras con una longitud de 2 cm, debido a que permitió alcanzar la mayor estabilidad del material.

Asimismo, es evidenciado que el incremento excesivo en la longitud y cantidad de fibras reduce el ángulo de fricción y afecta negativamente el comportamiento del suelo, por lo que no se recomienda el uso de fibras superiores a 3 cm.

Finalmente, es establecida la viabilidad del uso de fibras de geotextil tejido en la estabilización de suelos arcillosos, siempre que sean controladas las condiciones de dosificación y longitud de las fibras empleadas.

Mejoramiento del suelo con residuos reciclados

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 127, es observado que los suelos arcillosos de alta plasticidad (CH) presentan mejoras en sus propiedades mecánicas al ser estabilizados con cáscara de arroz, plástico y caucho triturado. Fue identificado que la cáscara de arroz presentó el mejor desempeño, especialmente en el incremento del ángulo de fricción y la cohesión del suelo.

Asimismo, es determinado que la dosificación óptima corresponde al 30% de cáscara de arroz, debido a que permitió alcanzar la mayor estabilidad y resistencia del material. Por otro lado, el plástico presentó mejoras moderadas en la rigidez y deformación del suelo, mientras que el caucho triturado evidenció una disminución considerable del módulo de elasticidad, afectando negativamente su comportamiento mecánico.

Finalmente, es establecida la viabilidad del uso de cáscara de arroz como alternativa de estabilización para suelos arcillosos, debido a su mejor desempeño técnico frente a los demás materiales evaluados.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Estabilización de suelos con lodos aceitosos

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 128, es observado que la incorporación de lodos aceitosos mejora el comportamiento mecánico y físico de los suelos arcillosos, especialmente en la capacidad de soporte, estabilidad hídrica e impermeabilidad del material. Fue determinado que las dosificaciones óptimas corresponden al 6% para materiales granulares y al 4% para subrasantes, debido a que permitieron alcanzar mayores valores de resistencia y módulo resiliente.

Asimismo, es evidenciado que el incremento en el tiempo de curado favorece el aumento del CBR y mejora progresivamente el desempeño del suelo. También fue observada una reducción de la plasticidad del 8% al 0%, convirtiendo el material en un suelo no plástico y más estable.

Finalmente, es establecida la viabilidad del uso de lodos aceitosos en la estabilización de suelos arcillosos, debido a que no fueron evidenciados efectos contaminantes en los lixiviados y se identificaron beneficios técnicos y económicos en su aplicación.

46. Biosólidos de PTAR como material alternativo en la construcción civil

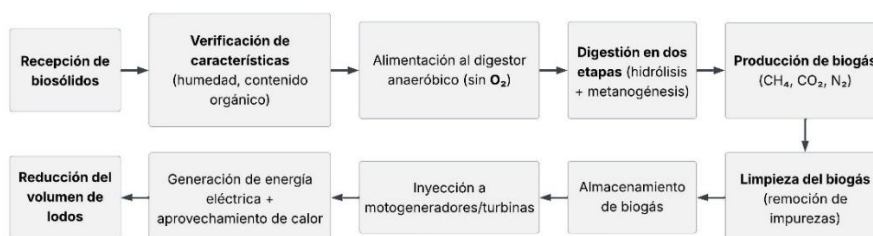
*Por: Laura Camila Ávila Benito
2020*

Se caracterizan, procesan y aprovechan los biosólidos de PTAR mediante su uso en digestión anaeróbica, fabricación de materiales de construcción y aplicación en suelos, evaluando sus propiedades fisicoquímicas, mecánicas y su cumplimiento normativo para garantizar un uso seguro y eficiente.

A continuación, son presentados cinco diagramas de flujo correspondientes a los diferentes procedimientos técnicos aplicados para el aprovechamiento y manejo de biosólidos, debido a que cada proceso emplea metodologías específicas según el tipo de aplicación y tratamiento realizado.

Figura 49

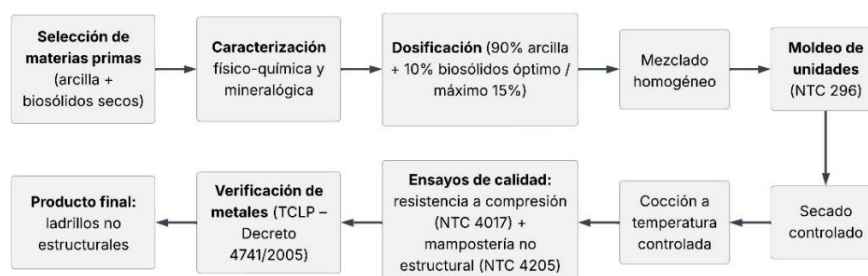
Proceso de generación de energía mediante digestión anaeróbica de biosólidos.



Nota: Elaborado por autor.

Figura 50

Proceso de fabricación de ladrillos cerámicos con incorporación de biosólidos.

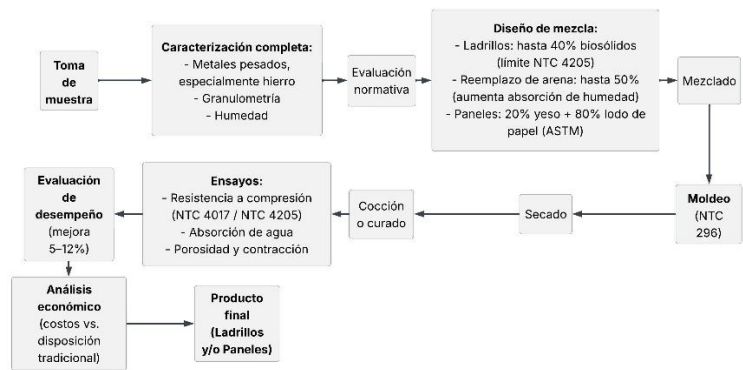


CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Nota: Elaborado por autor.

Figura 51

Proceso de aprovechamiento de biosólidos en materiales de construcción.

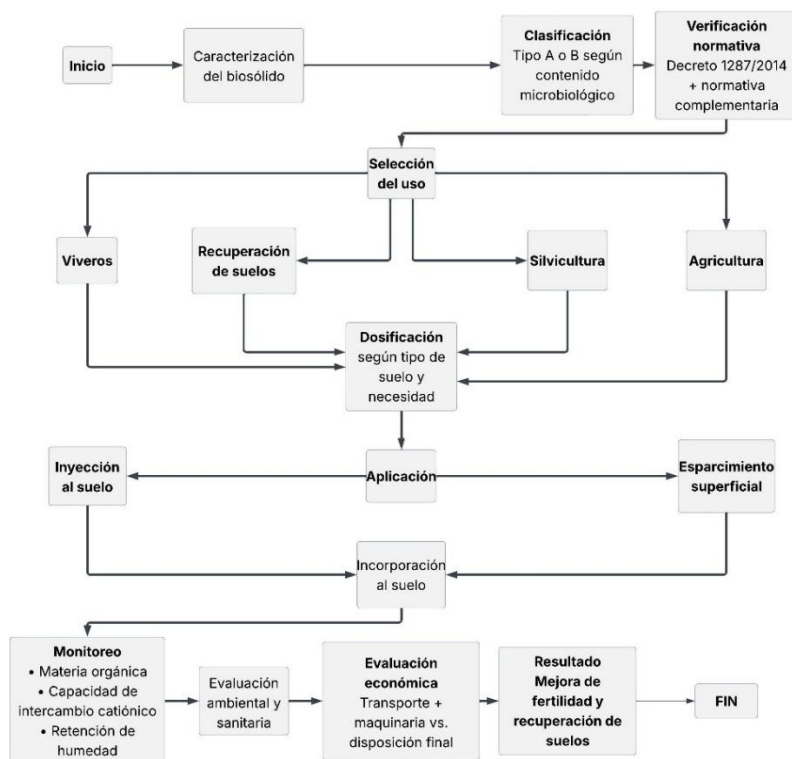


Nota: Elaborado por autor.

Figura 52

Proceso de aplicación de biosólidos en suelos para uso agrícola y ambiental.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

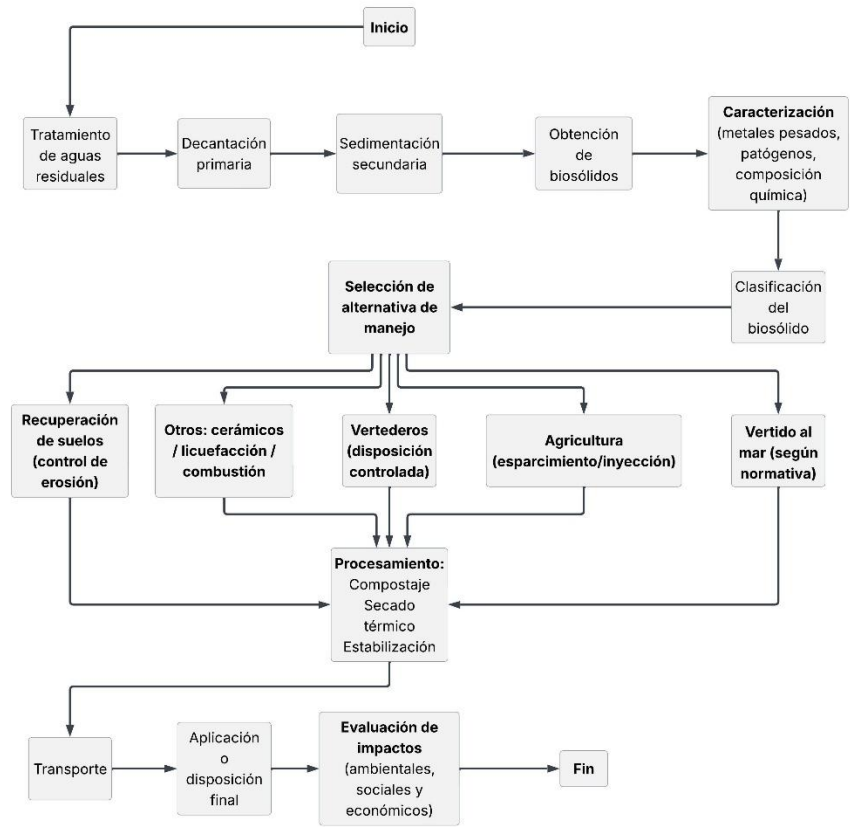


Nota: Elaborado por autor.

Figura 53

Proceso de tratamiento, manejo y disposición de biosólidos en PTAR

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD



Nota: Elaborado por autor.

46.1. Resultados

Tabla 129

Características y clasificación de biosólidos

Aspecto	Resultado técnico	Parámetros clave	Observaciones
Definición de biosólidos	Material proveniente de la estabilización de lodos de PTAR con propiedades físicas, químicas y microbiológicas	Origen en tratamiento de aguas residuales	No incluye lodos de oxidación térmica ni limpieza preliminar

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Aspecto	Resultado técnico	Parámetros clave	Observaciones
Contaminantes	Contienen metales, materia orgánica, compuestos orgánicos y patógenos	Cr, Hg, Pb, Cd, Cu, Zn, Ni; patógenos (virus, protozoos, nematodos)	Requieren control previo para evitar riesgos ambientales y sanitarios
Materia orgánica	Puede actuar como fertilizante o generar eutrofización	Alta carga orgánica	Doble comportamiento: beneficio o impacto ambiental
Clasificación Tipo A	Biosólidos de alta calidad sin restricciones	<1000 NMP coliformes fecales/g; <3 NMP salmonella/4g	Aptos para uso agrícola sin permisos
Clasificación Tipo B	Biosólidos con restricciones	<2x10 ⁶ NMP coliformes fecales/g	Requieren tratamiento previo para su uso

Nota: Elaborado por autor.

Tabla 130

Aplicaciones y resultados en ingeniería civil

Aplicación	Resultado principal	Dosificación / Parámetros	Normativa	Observaciones técnicas
Recuperación energética	Generación de energía eléctrica mediante biogás	Digestión anaeróbica (sin oxígeno), producción de metano	Normativa ambiental	Reduce volumen de lodos, alto costo de implementación
Ladrillos con biosólidos	Ladrillos no estructurales con	10% óptimo, máximo 15% biosólidos	NTC 296, NTC 4017, NTC 4205	>15% disminuye resistencia mecánica

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Aplicación	Resultado principal	Dosificación / Parámetros	Normativa	Observaciones técnicas
	mejor desempeño			
Aprovechamiento en construcción	Materiales no estructurales (ladrillos, bloques, paneles)	Hasta 40% biosólidos; 50% reemplazo arena; 20% yeso + 80% lodo papel	NTC 296, NTC 4017, NTC 4205, ASTM	Mejora rendimiento entre 5–12%
Aplicación en suelos	Mejoramiento de fertilidad y recuperación de suelos	Aumento materia orgánica, retención de humedad y CIC	Decreto 1287/2014 y normas asociadas	Uso en agricultura, silvicultura y remediación
Depuración y disposición	Gestión y aprovechamiento de biosólidos en PTAR	Decantación primaria y secundaria	Normativa ambiental vigente	Métodos: agricultura, vertederos, mar, rehabilitación

Nota: Elaborado por autor.

46.2. Análisis e interpretación de resultados

A partir de los resultados obtenidos, es observado que los biosólidos presentan características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su aprovechamiento en diferentes aplicaciones ambientales y de ingeniería civil. Fue identificado que los biosólidos tipo A presentan mejores condiciones de calidad y menores restricciones de uso, mientras que los biosólidos tipo B requieren tratamientos adicionales para garantizar su manejo seguro.

Asimismo, es determinado que la incorporación de biosólidos en materiales de construcción, especialmente en ladrillos y elementos no estructurales, permite mejorar el rendimiento del material cuando son empleadas dosificaciones controladas, destacándose porcentajes óptimos cercanos al 10% y máximos del 15%, debido a que mayores proporciones disminuyen la resistencia mecánica.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

Por otra parte, es evidenciado que los biosólidos también pueden ser aprovechados en la recuperación energética y en el mejoramiento de suelos, favoreciendo la retención de humedad y el aumento de materia orgánica. Sin embargo, es necesario el control de contaminantes y patógenos para evitar impactos ambientales y sanitarios.

Finalmente, es establecida la viabilidad del aprovechamiento de biosólidos en aplicaciones de ingeniería civil y ambientales, siempre que sean cumplidas las condiciones normativas y los controles de tratamiento requeridos.

Referencias

- Alarcón, J., Segura, I., & Valdés, G. (2020). Uso de lodos aceitosos en la estabilización de materiales granulares y suelos de subrasante. *Revista Ingeniería de Construcción*, 35(1), 5–16. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v35n1/0718-5073-ric-35-01-5.pdf>
- Ávila Benito, L. C. (2020). *Síntesis de biosólidos en Colombia: Definición, ventajas, usos y aplicaciones en la ingeniería a través de una revisión bibliográfica* [Monografía de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/e1c43d63-7b1d-4312-bc9c-870aca575053/content>
- Clavijo Rodríguez, F. S. (2021). *Análisis documental del uso de llantas recicladas en obras civiles a nivel nacional* [Monografía de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/items/d6712ac8-7c0d-48ff-8b26-09fc847978cd>
- Escobar Rojas, J. S. (2023). *Usos del desecho agroindustrial (cuesco) de la palma de aceite africana en la ingeniería civil* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/42472ef7-0f98-46c7-a15f-0df712172dfe/content>
- Hernández Ramírez, A. F., & Varela Vargas, E. A. (2020). *Propuesta para la reutilización de residuos y escombros provenientes de los laboratorios de concreto en Villavicencio* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/b74b7f7f-9fb7-4846-8fd0-902e5a2362fc/content>
- Mancera León, V. (2022). *Revisión teórica del estudio comparativo en bloques de arcilla y cáñamo industrial como alternativa de construcción sostenible* [Monografía, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.

CAPÍTULO 5: SOSTENIBILIDAD

<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/6b5cf602-edd2-465c-aeaf-f72b25c53fce/content>

Olaya Castro, L. F. (2021). *Revisión teórica del mejoramiento de suelos arcillosos complejos en Colombia mediante el uso de materiales reciclados* [Monografía de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.
<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/62326697-ee3a-4f31-8521-736663418aeb/content>

Pardo Galindo, A. (2024). *Diagnóstico del indicador 6.2.1 de los ODS (objetivos de desarrollo sostenible) para el manejo del saneamiento e higiene en la vereda San Juan Bosco, sector 2, municipio de Villavicencio, Meta* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.
<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/f23e8dcb-25e3-4b05-ae2b-acdb23dbba82/content>

Rodríguez Martínez, J. S. (2020). *Poliestireno expandido (EPS) en obras de ingeniería civil* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.
<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/7979b202-a25b-4d16-8cb4-60738a78bae8/content>

Rodríguez Mondragón, A. A. (2019). *Plan de negocio de Ecoriental de llantas, dedicada a la fabricación de productos a partir del reciclaje de llantas en la región de la Orinoquia* [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA.
<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/eda4a79c-7500-4570-b790-14fd37d417fd/content>

Conclusiones

El catálogo permitió recopilar, clasificar y analizar un total de 46 trabajos de grado desarrollados en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio, organizados en cinco capítulos temáticos: Estructuras, Suelos, Vías y Transporte, Aguas y Sostenibilidad

El catálogo constituye una herramienta de consulta académica que permite visibilizar los aportes de los estudiantes, facilitar el acceso a la información y fortalecer futuras investigaciones relacionadas con tecnologías y materiales sostenibles. Además, sirve como guía para estudiantes, docentes e interesados que deseen investigar sobre temas específicos de la ingeniería civil, orientando a la búsqueda de antecedentes, enfoques y posibles líneas de estudio.

Este catálogo aporta a la Facultad de Ingeniería Civil al evidenciar la producción académica desarrollada por los estudiantes de la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio, destacando los trabajos de grado como resultado del proceso formativo e investigativo del programa. También, permite reconocer el compromiso de la facultad con la generación de conocimiento aplicado a las necesidades actuales de la ingeniería civil y la construcción sostenible.