



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE TEJAS FABRICADAS
CON LÁMINAS TROQUELADAS DE ASFALTO Y POLÍMEROS
SEGÚN LA NORMA NTE INEN 2063”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

ROCA SORIANO KENNIA PIERINA
SUÁREZ SANTOS ANDERSON RAFAEL

TUTOR:

ING. DENNIS ENRIQUE RODRÍGUEZ SUÁREZ MSc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2026

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por ser guía, fortaleza y sabiduría durante todo mi proceso de formación. A mis padres, por su amor incondicional, sus enseñanzas y su respaldo constante, los cuales fueron fundamentales para la culminación de esta etapa profesional. A mis hermanos, por su compañía y soporte en los momentos de mayor dificultad. Finalmente, a todas aquellas personas que, con su motivación y confianza, contribuyeron a la consecución de este objetivo.

Roca Soriano Kennia Pierina

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza y la sabiduría para alcanzar esta meta. A la memoria de mi abuela y de mi madre, quienes viven siempre en mi corazón. Su amor, sus enseñanzas y los valores que me inculcaron han sido mi mayor inspiración. A mi hermana, por su cariño, comprensión y apoyo constante en los momentos más difíciles. A mi tío y a mi padre, por sus consejos, su apoyo y las enseñanzas que han contribuido a mi crecimiento personal y profesional. Finalmente, agradezco a todas las personas que me acompañaron y creyeron en mí durante este importante proceso.

Suárez Santos Anderson Rafael

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a Dios por brindarnos la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar este trabajo de investigación.

A nuestro tutor de tesis, Ing. Dennis Enrique Rodríguez Suarez, por su orientación, apoyo y valiosas recomendaciones, las cuales fueron fundamentales para el desarrollo y fortalecimiento de este estudio.

A las autoridades y docentes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, por los conocimientos y valores profesionales compartidos durante nuestra formación académica.

Finalmente, agradecemos a todas las personas que nos acompañaron y apoyaron a lo largo de este proceso, contribuyendo al logro de esta importante meta académica y profesional.

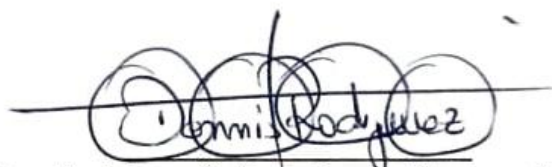
Roca Soriano Kennia Pierina

Suárez Santos Anderson Rafael

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Trabajo de Integración Curricular denominado **“Evaluación de la sostenibilidad de tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto y polímeros según la Norma NTE INEN 2063”** elaborado por los Srs. ROCA SORIANO KENNIA PIERINA y SUAREZ SANTOS ANDERSON RAFAEL, egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingenieros Civiles, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dennis Rodríguez Suárez', is written over a horizontal line. The signature is stylized with large, overlapping loops.

Ing. Rodríguez Suárez, Dennis Enrique, MSc.

La Libertad, a los 17 días del mes de Julio del año 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **ROCA SORIANO KENNIA PIERINA** y **SUAREZ SANTOS ANDERSON RAFAEL**

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación “**Evaluación de la sostenibilidad de tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto y polímeros según la Norma NTE INEN 2063**” previo a la obtención del título de Ingenieros Civiles, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 17 días del mes de Julio del año 2026

AUTORES



Roca Soriano, Kennia Pierina



Suarez Santos, Anderson Rafael

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **ROCA SORIANO KENNIA PIERINA** y **SUAREZ SANTOS ANDERSON RAFAEL**

Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena la **publicación** en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación denominado **“EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE TEJAS FABRICADAS CON LÁMINAS TROQUELADAS DE ASFALTO Y POLÍMEROS SEGÚN LA NORMA NTE INEN 2063”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los 17 días del mes de Julio del año 2026

AUTORES



Roca Soriano, Kennia Pierina



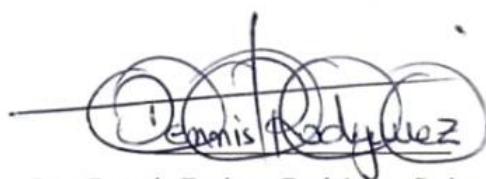
Suarez Santos, Anderson Rafael

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de titulación denominado **“EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE TEJAS FABRICADAS CON LÁMINAS TROQUELADAS DE ASFALTO Y POLÍMEROS SEGÚN LA NORMA NTE INEN 2063”**, elaborado por los estudiantes ROCA SORIANO KENNIA PIERINA y SUAREZ SANTOS ANDERSON RAFAEL, egresados de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio, luego de haber cumplido con los requerimientos de valoración, el presente trabajo de titulación, se encuentra con un 5 % de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el siguiente certificado.

Adjunto del reporte de análisis.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dennis Rodríguez', is written over a circular stamp or seal.

Ing. Dennis Enrique Rodríguez Suárez, MSc.

DOCENTE TUTOR

C.I.: 0913031423

La Libertad, a los 17 días del mes de Julio del año 2026

REPORTE DE ANÁLISIS (ANTIPLAGIO)



Certificado de análisis
Compilatio Studium

TESIS suarez santos y roca

ID : 3398db71309563395b9f804b2c196c4e29e17e4f



5%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : TESIS suarez santos y roca.txt
Tamaño del archivo original : 141 kB
Número de palabras : 21.925

Depositante : Nestor Orrala Vera
Fecha de depósito : 16 de julio de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 17 de julio de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Similitudes

<1%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.

Celular: 0962183538

Correo: bettyruthgomez@educacion.gob.ec

CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **BETTY RUTH GÓMEZ SUÁREZ**, en mi calidad de **LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, denominado **“EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE TEJAS FABRICADAS CON LÁMINAS TROQUELADAS DE ASFALTO Y POLÍMEROS SEGÚN LA NORMA NTE INEN 2063”**, de los estudiantes: **ROCA SORIANO KENNIA PIERINA** y **SUÁREZ SANTOS ANDERSON RAFAEL**

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo a las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

En cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a los interesados hacer uso del presente como estime conveniente.

Santa Elena, 07 de Julio del 2026


Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
C.I. 0915036529

LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS
N° DE REGISTRO DE SENECYT 1050-2014-86052892

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Lucrecia Cristina Moreno Alcivar, PhD.

DIRECTORA DE CARRERA



Ing. Néstor Alberto Orrala Vera, MSc.

DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Dennis Enrique Rodríguez Suárez, MSc.

DOCENTE TUTOR



Ing. Richard Iván Ramírez Palma, MSc.

DOCENTE GUÍA DE LA UIC

CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	v
AUTORIZACIÓN.....	vi
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	vii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	ix
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	x
CONTENIDO	xi
LISTA DE TABLAS	xiv
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN	xvii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.2. ANTECEDENTES.....	4
1.3. HIPÓTESIS.....	5
1.3.1. Hipótesis General	5
1.3.2. Hipótesis Específicas.....	5
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos.....	6
1.5. ALCANCE	7
1.6. VARIABLES	8
1.6.1. Variables Independientes	8
1.6.2. Variables Dependientes.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE Y EL DESEMPEÑO AMBIENTAL EN LOS MATERIALES.....	8
2.2. SISTEMA DE CUBIERTAS Y SU INCIDENCIA EN LA EFICIENCIA CONSTRUCTIVA	9
2.3. MATERIALES BITUMINOSOS EN APLICACIONES DE CUBIERTAS.....	13

2.4. MODIFICACIÓN DEL ASFALTO CON POLÍMEROS.....	14
2.5. TEJAS DE ASFALTO Y POLÍMEROS COMO SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA.....	15
2.6. EVALUACIÓN TÉCNICA MEDIANTE LA NORMA NTE INEN 2063	16
2.7. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV) APLICADO A MATERIALES DE CUBIERTA	17
2.8. CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD EN MATERIALES DE CUBIERTA	19
2.9. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE Y SELECCIÓN DE MATERIALES.....	20
2.10. PROPIEDADES FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO DE LAS TEJAS	22
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	23
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	23
3.1.1. Tipo de investigación	23
3.1.2. Nivel de investigación.....	24
3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
3.2.1. Método de la investigación	26
3.2.2. Enfoque de la investigación	27
3.2.3. Diseño de la investigación.....	29
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	30
3.3.1. Población.....	30
3.3.2. Muestra.....	30
3.3.3. Muestreo.....	31
3.4. DESARROLLO METODOLÓGICO DEL OE.1	32
3.4.1. Selección y preparación de muestras	33
3.4.2. Procedimiento metodológico general.....	34
3.4.3. Ensayos realizados según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063 ...	37
3.4.4. Procesamiento y análisis de resultados	45
3.4.5. Criterio técnico de evaluación.....	45
3.5. DESARROLLO METODOLÓGICO DEL OE.2	46
3.5.1. Variable de análisis	46
3.5.2. Procedimiento metodológico.....	47
3.5.3. Criterios de interpretación.....	48
3.5.4. Alcance de análisis	48

3.6.	DESARROLLO METODOLÓGICO DEL OE.3	49
3.6.1.	Dimensión ambiental.....	49
3.6.2.	Análisis de material reciclado	49
3.6.3.	Dimensión económica	50
3.6.4.	Dimensión social	50
3.6.5.	Análisis comparativo con materiales tradicionales de cubierta	50
3.6.6.	Comparación de vida útil	51
3.6.7.	Integración del análisis de sostenibilidad.....	52
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		52
4.1.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
4.2.	PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS TEJAS	53
4.2.1.	Ensayo de masa	53
4.2.2.	Ensayo de dimensiones	57
4.2.3.	Ensayo de espesor	60
4.2.4.	Ensayo de absorción de agua	64
4.2.5.	Ensayo de impermeabilidad	67
4.2.6.	Ensayo de resistencia a la intemperie.....	69
4.3.	CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE A LA INTEMPERIE	74
4.3.1.	Interpretación de resultados	75
4.4.	ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD DESDE EL ASPECTO SOCIAL	76
4.4.1.	Interpretación de resultados de la encuesta	79
4.5.	ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD DESDE EL ASPECTO ECONÓMICO.....	79
4.5.1.	Interpretación de resultados	81
4.6.	ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD DESDE EL ASPECTO AMBIENTAL	82
4.6.1.	Interpretación de resultados	85
4.7.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ENSAYOS	85
4.8.	MATRIZ MULTICRITERIO DE SOSTENIBILIDAD	88
4.8.1.	Matriz de cumplimiento normativo NTE INEN 2063	89
4.8.2.	Matriz comparativa con materiales tradicionales.....	91
4.8.3.	Matriz de impacto ambiental.....	92
4.8.4.	Matriz de ciclo de vida simplificada	93

4.8.5.	Matriz de viabilidad técnico-económica	94
4.8.6.	Matriz general de sostenibilidad	95
4.9.	EVALUACIÓN DE OTRAS PROPIEDADES DE LAS TEJAS FABRICADAS CON LÁMINAS TROQUELADAS DE ASFALTO Y POLÍMEROS	97
4.9.1.	Interpretación de resultados	98
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		99
5.1.	CONCLUSIONES	99
5.2.	RECOMENDACIONES	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		101
ANEXOS		107

LISTA DE TABLAS

Tabla 1:	Características generales de los tipos de tejas empleadas en la investigación.....	10
Tabla 2:	Pendientes mínimas recomendadas y características técnicas de las tejas empleadas en la investigación.....	12
Tabla 3:	Comparación de peso de las diferentes tejas asfálticas.....	51
Tabla 4:	Comparación de vida útil.....	51
Tabla 5:	Resultados de cada material del ensayo de masa.....	53
Tabla 6:	Resultados de ensayo de masa	55
Tabla 8:	Resultados de ensayos de dimensiones.....	58
Tabla 9:	Resultados de cada material utilizado en ensayo de espesor	60
Tabla 10:	Resultado de ensayos de espesor	62
Tabla 11:	Resultados de ensayo de absorción de agua	65
Tabla 12:	Resultados del ensayo de impermeabilidad	68
Tabla 13:	Resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la intemperie – 7 días.....	70
Tabla 14:	Resultados del ensayo de resistencia a la intemperie – 14 días	71
Tabla 15:	Resultados del ensayo de resistencia a la intemperie – 21 días	72

Tabla 16: Resultados del ensayo de resistencia a la intemperie – 35 días	73
Tabla 17: Escala de evaluación del comportamiento frente a la intemperie	74
Tabla 18: Resultados de la encuesta.....	77
Tabla 19: Comparativa económica de materiales de cubierta.....	80
Tabla 20: Resultados de sostenibilidad desde el aspecto ambiental	84
Tabla 21: Comparación económica entre tejas tradicionales y tejas asfálticas modificadas con polímeros	88
Tabla 22: Matriz de cumplimiento normativo	90
Tabla 23: Comparación técnica entre materiales de cubierta.....	91
Tabla 24: Matriz cualitativa comparativa de criterios ambientales	92
Tabla 25: Matriz de ciclo de vida simplificada	94
Tabla 26: Matriz de viabilidad técnico-económica	95
Tabla 27: Matriz general de sostenibilidad	95
Tabla 28: Evaluación de otras propiedades de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros.	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Obtención y registro del peso de la teja de cerámica	38
Figura 2: Medición del espesor de la teja de PVC.....	40
Figura 3: Colocación de tejas en el recipiente para el estado de inmersión	41
Figura 4: Secado de la teja	42
Figura 5: Sellado en las uniones de las tejas.....	43
Figura 6: Ensayo de resistencia.....	45
Figura 7: Masa de los materiales de cubierta evaluados	56
Figura 8: Dimensiones de materiales utilizados para el estudio	59
Figura 9: Espesores de materiales utilizados en este estudio.....	63

Figura 10: Absorción de materiales utilizados para el estudio	66
Figura 11: Comparación del comportamiento de materiales vs. intemperie	75
Figura 12: Comparación de los ensayos de absorción, espesor y masa de los materiales evaluados	86

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Tabla de cálculo de ensayo de masa	107
Anexo 2: Tabla de cálculo de ensayo de dimensiones.....	108
Anexo 3: Tabla de cálculo de ensayo de absorción de agua.....	108
Anexo 4: Tabla del promedio de peso de las tejas empleadas.....	109
Anexo 5: Tabla del promedio de espesor de las tejas empleadas	109
Anexo 6: Tabla correspondiente al promedio de dimensiones de las tejas empleadas durante los ensayos experimentales	110
Anexo 7: Preparación de equipo utilizado para el ensayo de absorción de agua	110
Anexo 8: Verificación de ausencia de filtraciones en el ensayo de impermeabilidad, realizada mediante la inspección visual de la superficie inferior de las muestras.....	111
Anexo 9: Permanencia de agua sobre la superficie de la teja durante el desarrollo del ensayo de impermeabilidad.....	111
Anexo 10: Verificación del estado físico de las tejas a los 7 días del ensayo de resistencia a la intemperie.....	112
Anexo 11: Verificación del estado físico de las tejas a los 14 días del ensayo de resistencia a la intemperie.....	112
Anexo 12: Verificación de las tejas a los 21 días del ensayo de resistencia	113
Anexo 13: Verificación de las tejas a los 35 días del ensayo de resistencia	113

“EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE TEJAS FABRICADAS CON LÁMINAS TROQUELADAS DE ASFALTO Y POLÍMEROS SEGÚN LA NORMA NTE INEN 2063”

Autores: Roca Soriano Kennia - Suárez Santos Anderson

Tutor: Ing. Dennis Enrique Rodríguez Suárez MSc.

RESUMEN

Las cubiertas están expuestas permanentemente a radiación solar, precipitaciones, variaciones térmicas y agentes atmosféricos, por lo que requieren materiales impermeables, resistentes y durables. Este estudio evalúa preliminarmente la sostenibilidad de tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto con polímeros, considerando sus propiedades, ventajas y eficiencia frente a los requisitos de la Norma NTE INEN 2063 y criterios ambientales, económicos y sociales. Mediante una investigación aplicada y experimental de laboratorio, se realizaron seis ensayos para analizar su comportamiento. Los resultados evidencian un desempeño equilibrado, combinando impermeabilidad, resistencia, flexibilidad y facilidad de instalación. Además, su peso moderado contribuye a reducir costos de transporte, instalación y requerimientos estructurales, favoreciendo la sostenibilidad del sistema de cubierta. Se concluye que la incorporación de biopolímeros mejora el rendimiento técnico de las tejas asfálticas, incrementando su flexibilidad, resistencia al envejecimiento, estabilidad dimensional y capacidad frente a agentes climáticos, cumpliendo preliminarmente con los factores establecidos en la Norma NTE INEN 2063.

Palabras Clave: Tejas asfálticas, polímeros, sostenibilidad, ensayos experimentales, Norma NTE INEN 2063.

“SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF ROOFING SHINGLES MADE FROM DIE-CUT ASPHALT AND POLYMER SHEETS IN ACCORDANCE WITH STANDARD NTE INEN 2063”

Autores: Roca Soriano Kennia - Suárez Santos Anderson

Tutor: Ing. Dennis Enrique Rodríguez Suárez MSc.

ABSTRACT

Roofs are permanently exposed to solar radiation, precipitation, thermal variations, and atmospheric agents, requiring materials that provide impermeability, resistance, and durability. This study preliminarily evaluates the sustainability of shingles manufactured from polymer-modified asphalt sheets, considering their properties, advantages, and efficiency in relation to the requirements of Ecuadorian Standard NTE INEN 2063 and environmental, economic, and social criteria. Through applied and experimental laboratory research, six tests were conducted to analyze their performance. The results show balanced performance, combining impermeability, resistance, flexibility, and ease of installation. In addition, their moderate weight contributes to reducing transportation and installation costs, as well as structural requirements, thereby promoting the sustainability of the roofing system. It is concluded that the incorporation of biopolymers improves the technical performance of asphalt shingles, increasing their flexibility, resistance to aging, dimensional stability, and ability to withstand climatic agents, preliminarily complying with the factors established in Ecuadorian Standard NTE INEN 2063.

Keywords: Asphalt shingles, polymers, sustainability, experimental tests, NTE INEN 2063 Standard.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La evaluación científica de la sostenibilidad de los materiales de construcción representa un aporte primordial en la búsqueda de alternativas que combinen la responsabilidad ambiental con la eficiencia técnica en las construcciones. Uno de estos elementos son las cubiertas, las mismas que están expuestas permanentemente a distintas condiciones climáticas que exigen que las mismas sean de calidad, garanticen la impermeabilidad, tengan resistencia mecánica y mantengan su durabilidad en el paso del tiempo, pero, sobre todo, que cumplan con los estándares técnicos de las normativas de calidad nacional e internacional. En este contexto, las tejas elaboradas con láminas troqueladas de asfalto y polímeros que cumplen con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063 se convierten en una opción viable para las personas que requieren que su obra civil mantenga una cubierta con elevados niveles de durabilidad, impermeabilidad y resistencia.

La metodología se fundamenta en la investigación aplicada y de laboratorio direccionados a conocer su masa, espesor, absorción de agua, impermeabilidad y resistencia exterior. Información que requiere de ensayos experimentales que permitan obtener información real para su posterior evaluación y análisis; así como, evidencia la capacidad de estas tejas, garantiza su ciclo de vida e informa sobre su contribución en la construcción sostenible.

El presente trabajo está compuesto por cinco capítulos que detallan cada etapa de la investigación. En el capítulo I se observa la problemática presentada en su respectivo planteamiento, antecedentes, hipótesis, objetivos y alcances. En el capítulo II se muestra el marco teórico que fundamenta aspectos como la construcción sostenible y el desempeño ambiental en los materiales, el sistema de cubiertas y su incidencia en la eficiencia constructiva, la aplicación de los materiales bituminosos en cubiertas, la modificación del asfalto con polímeros, la solución constructiva – ambiental que representan este tipo de tejas, las especificaciones técnicas de la norma NTE INEN 2063, entre otras conceptualizaciones que aportan con información previo a la experimentación en laboratorios.

En el capítulo III destinado a la metodología se especifica los parámetros ejecutados como parte de la investigación aplicada, experimental de laboratorio, descriptiva y evaluativa; así como, su respectiva población y muestra. En el capítulo IV se detalla el análisis y discusión de resultados donde se explica las propiedades físicas de las tejas en los diferentes ensayos ejecutados. Finalmente, en el capítulo V se define las conclusiones y recomendaciones.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La selección de materiales para sistemas de cubiertas es un elemento fundamental, tienen un impacto importante en el rendimiento económico, funcional, estructural y medioambiental en las construcciones. Es necesario utilizar materiales que garanticen resistencia mecánica, impermeabilidad y una larga vida útil, las cubiertas están siempre expuestas a condiciones climáticas como la lluvia, la radiación solar, los cambios de temperatura y otros elementos atmosféricos. En este entorno, en el mercado de la construcción ha cobrado protagonismo un método para producir tejas fabricadas mediante láminas de asfalto estampada modificadas con polímeros, en cuanto a sus propiedades, mayor flexibilidad, fácil instalación, bajo peso y un adecuado comportamiento frente al agua y los cambios climáticos presentados en zonas costeras (Marqués & Salvador, 2000).

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063, que define las especificaciones físicas y mecánicas que deben satisfacer para asegurar su correcto funcionamiento, rige en el Ecuador la calidad y el rendimiento de estos materiales. Estas laminas, además de ser una cubierta, ayudan a impermeabilizar las construcciones al funcionar como un obstáculo contra la humedad y la filtración de agua, lo que brinda estabilidad, resistencia y protección frente a distintos factores.

Por lo tanto, esta norma es un punto de referencia técnico para validar la calidad de los productos utilizados en la construcción y garantizar su conformidad con el sistema ecuatoriano de calidad. Su cobertura se centra sobre todo en la satisfacción de requisitos técnicos, sin tener en cuenta de manera particular elementos vinculados con la sostenibilidad del material (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2005).

En el Ecuador, el sector de la construcción se está experimentando una transformación que ayuda a implementar practicas más sostenibles. Como consecuencia, un número mayor de empresas las cuales incorporan materiales y tecnologías que posibilitan optimizar el empleo de recursos y disminuir los efectos medioambientales vinculados con la actividad constructiva (Barreto, Olmedo, & Ruíz, 2025). La sostenibilidad de los materiales para la construcción no solo se basa en su rendimiento técnico durante el periodo de uso, también se toma en cuenta los impactos ambientales que se producen a lo largo de su ciclo vital. Esto supone tener en cuenta cada una de sus fases, desde la adquisición de las materias primas, pasando por un proceso de fabricación y transporte, hasta su utilización, eliminación o posibilidad de ser reciclado.

El asfalto es un material que proviene del petróleo, y está vinculado a la utilización de recursos no renovables y a la producción de emisiones contaminantes que afectan al deterioro del medio ambiente. A pesar de la incorporación de polímeros en las láminas asfálticas mejora significativamente sus propiedades mecánicas y prolonga su vida útil (Imptek, 2015). Reduciendo la frecuencia de mantenimiento y reemplazo.

Aunque múltiples estudios indican que la durabilidad y el bajo mantenimiento de las tejas asfálticas, pueden reducir los impactos ambientales a lo largo plazo, estos hallazgos dependen de variables como el contexto de aplicación, las condiciones climáticas y los métodos de producción (López, 2011).

A nivel nacional, quedan pocos estudios que vinculen el cumplimiento de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063 a la evaluación de sostenibilidad específicamente a las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros. La carencia información dificulta conocer con mayor precisión el desempeño ambiental de estos materiales y restringe la toma de decisiones fundamentadas por parte de técnicos del sector de la construcción.

En la práctica, la elección de los sistemas de cubierta suele estar impulsada principalmente a criterios técnicos o económicos, mientras que los efectos ambientales y su aporte al desarrollo sostenible reciben una menor atención. Se puede establecer soluciones que satisfacen los requisitos establecidos por la normativa vigente, no siempre pueden constituir la opción más sostenible.

Dentro de este contexto, la investigación se enfoca en el hecho de que no se carece de una evaluación conjunta de la sostenibilidad de las tejas elaboradas con láminas troqueladas de asfalto y polímeros. no obstante que estos materiales se emplean en la construcción, no hay estudios que vinculen su rendimiento técnico, conforme a la Norma NTE INEN 2063, con los efectos ambientales producidos al largo de su vida útil. Debido a esto, se requiere realizar una investigación que provea evidencia técnica y funciones como fundamento para elegir los sistemas de cubierta con una perspectiva más sostenible, se obtiene una construcción responsable y en conforme con los objetivos de desarrollo sostenible.

1.2. ANTECEDENTES

El ámbito de la construcción ha mostrado en tiempos recientes un interés cada vez mayor por incluir materiales sustentables, sobre todo en los sistemas de cubierta. Esto se debe a que están expuestos directamente a elementos climáticos y tienen un impacto en la durabilidad de las construcciones. En este aspecto, las tejas fabricadas a partir de láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros se han consolidado como una alternativa técnica frente a materiales tradicionales, debido a su impermeabilidad, flexibilidad y facilidad de instalación (Montenegro, 2021).

La inclusión de polímeros elastoméricos, como el estireno-butadieno-estireno (SBS), ha sido comprobada por varios estudios como un método efectivo para aumentar la estabilidad del asfalto contra variaciones de temperatura a lo largo del tiempo (Jwaida, Z. et al., 2023). Las cubiertas están expuestas continuamente a condiciones climáticas adversas, estas características son particularmente relevantes. Las variaciones de temperatura producen procesos constantes de expansión y contracción que, con el pasar del tiempo pueden tener un impacto en la resistencia, la vida útil y el rendimiento del material.

La Norma NTE INEN 2063, en Ecuador, representa una guía fundamental para analizar el comportamiento y la calidad de las láminas bituminosas modificadas con polímeros y que son utilizadas en sistemas de construcciones. Esta normativa define las pruebas y los estándares técnicos necesarios para evaluar características relevantes del material, como su capacidad de respuestas a diversas condiciones ambientales, su resistencia mecánica y la estabilidad de sus dimensiones. Así, se podría determinar si el material satisface los requisitos necesarios para asegurar un rendimiento adecuado durante su vida útil. (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2005).

Estos criterios permiten que el desempeño del material se evalúe bajo condiciones reales de uso, particularmente en los sistemas de cubiertas que están expuestos a la humedad, la radiación solar y otros factores ambientales. Es esencial aplicar la norma vigente para evaluar la durabilidad y calidad de las tejas asfálticas en construcciones. Esto servirá como punto de partida para investigaciones enfocadas en su rendimiento y sostenibilidad.

Aunque el cumplimiento de la normativa garantiza que el material cumpla con los requerimientos técnicos, es preciso también analizar los efectos medioambientales que puede producir a lo largo de toda su vida útil.

Diversos estudios basados en el análisis de ciclo de vida (LCA) señalan que, aunque las tejas asfálticas presentan impactos asociados a su proceso de fabricación y al uso de derivados del petróleo, su durabilidad, bajo requerimiento de mantenimiento y potencial de reciclaje puede mejorar su desempeño ambiental global frente a otros sistemas de cubiertas tradicionales (López, 2011).

De manera complementaria, evaluaciones ambientales aplicadas a tejas asfálticas evidencian que estos beneficios se reflejan en una reducción de impactos acumulados cuando se analiza el producto a largo plazo (Instituto Athena, 2019). En este aspecto, la evaluación de sostenibilidad de tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto y polímero bajo el marco de la NTE INEN 2063 permite analizar su comportamiento técnico y ambiental, así como determinar su idoneidad como alternativa de cubierta en edificaciones expuestas a condiciones costeras.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis General

Las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto y polímeros cumplen un requisito técnico establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063 y representan atributos beneficiosos desde una perspectiva sostenible. Su rendimiento está vinculado a beneficios sociales, económicos y ambientales, por su durabilidad y prolongada vida útil, la reducción de intervenciones de mantenimiento, la optimización de costos en el transcurso de sus servicios y su contribución a la comodidad y condiciones para habitar en construcciones situadas en áreas costeras.

1.3.2. Hipótesis Específicas

H.E.1. Las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto y polímeros son más sostenibles que los sistemas de cubierta tradicionales. Esto se debe a que tienen una mayor durabilidad, precisan menos mantenimiento y posibilitan el reciclaje del material cuando ya termina su ciclo vital.

H.E.2. Las tejas fabricadas con asfalto y polímeros son muy accesibles, a comparación de las cubiertas tradicionales en áreas costeras, los gastos de sustitución y mantenimiento se reducen.

H.E.3. El uso de tejas elaboradas con láminas troqueladas de asfalto y polímeros optimiza las condiciones habitables en edificaciones de la zona costera. Nos brindan una protección alta frente a la humedad, los cambios de temperatura y otros factores ambientales. En consecuencia, la seguridad y el bienestar de los que habitan se ven significativamente mejorados.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la sostenibilidad de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto con polímeros, mediante el análisis de sus ventajas, eficiencias y propiedades que permitan cumplir los requisitos establecidos en la Norma NTE INEN 2063 y la aplicación de criterios ambientales, económicos y sociales, con el fin de realizar una evaluación preliminar de su viabilidad como alternativa de cubierta en edificaciones costeras.

1.4.2. Objetivos Específicos

O.E.1. Determinar las propiedades físicas y funcionales de las tejas elaboradas con láminas troqueladas de asfalto y polímeros, mediante métodos de ensayo que cumplan con los estándares establecidos con la Norma NTE INEN 2063.

O.E.2. Analizar de qué manera afecta la incorporación de polímeros en el rendimiento técnico de las tejas asfálticas, tomando en cuenta su resistencia a la intemperie, absorción y comportamiento frente a condiciones ambientales.

O.E.3. Evaluar de manera preliminar la sostenibilidad de las tejas asfálticas modificadas con polímeros desde el punto de vista social, económica y ambiental, considerando su durabilidad, ciclo de vida, demanda de mantenimiento y la capacidad para ser empleadas como sistema de cubiertas en edificaciones situadas en áreas costeras.

1.5. ALCANCE

El alcance del presente proyecto se basa en la evaluación preliminar de la sostenibilidad de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto y polímeros tomando en cuenta los requisitos técnicos establecidos en la norma NTE INEN 2063, que se encuentra aplicado en el contenido normativo ecuatoriano. El estudio se centrará en analizar el material desde una perspectiva social, económico y ambiental, considerando el uso en sistemas de cubierta en las edificaciones.

Esta investigación se refiere al análisis documental y normativo de la NTE INEN 2063, con el objetivo de identificar y desarrollar los parámetros físicos que garantizan el desempeño, la durabilidad y la calidad de las láminas asfálticas modificadas con polímeros utilizadas en la fabricación de tejas. A partir de ese análisis, se evalúa el cumplimiento de los requisitos técnicos antes mencionados, y se evalúa de manera indirecta la sostenibilidad del material, especialmente en relación con su vida útil y la reducción de su respectivo mantenimiento.

Así mismo, el alcance del estudio comprende la evaluación teórica de la sostenibilidad, considerando aspectos como el uso de materias primas, la durabilidad del producto, la eficiencia constructiva, la facilidad de instalación y posibilidad de reciclaje o una disposición final de las tejas. Este análisis se va a realizar con base en información técnica y bibliográfica existente, con la ejecución de ensayos experimentales de laboratorio y pruebas de campo.

La presente investigación se limita al análisis de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros como sistema de cubierta, por lo que no incluye la realización de análisis estructurales minuciosos de las edificaciones en los que podrían ser empleadas. El propósito de este estudio es evaluar la sostenibilidad de este material desde el punto de vista socioeconómico y medioambiental considerando factores como la durabilidad, la vida útil, requerimiento y reacción en las situaciones climáticas.

Por último, el objetivo de esta investigación es proporcionar información técnico-académica útil, que sirva como guía a especialistas cuando tomen decisiones sobre la selección de materiales para sistemas de cubiertas. Además, aspira a fomentar el uso de criterios sostenibles que se ajusten con la normativa técnica actual del Ecuador. Adicionalmente esta investigación nos permite identificar las limitaciones normativas existente en la NTE INEN 2063 respecto a la integración de criterios ambientales, lo cual puede favorecer como base para futuras propuestas de actualización a dicha normativa orientada en la construcción sostenible.

Así mismo, los resultados podrán instituir un insumo técnico para investigaciones posteriores, donde profundicen en análisis experimentales comparativos con otros materiales de cubiertas o evaluaciones cuantitativas sobre el proceso vital, cooperando al desarrollo de conocimiento científico en el área de materiales de construcción.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variables Independientes

Materiales de cubierta evaluados conforme a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063.

- Tipo de material utilizados en sistemas de cubierta.
- Dimensiones y espesores de la muestra evaluadas.
- Cumplimiento de los requerimientos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana.

1.6.2. Variables Dependientes

Rendimiento técnico y sostenibilidad de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto y polímeros.

- Propiedades físicas.
- Eficiencia ambiental y durabilidad.
- Viabilidad en términos de costos y sociales.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE Y EL DESEMPEÑO AMBIENTAL EN LOS MATERIALES

La construcción sostenible aparece como una alternativa a la necesidad de reducir el impacto ambiental, ocasionado por el uso inapropiado de materiales y el crecimiento acelerado del sector de la construcción. Este enfoque busca satisfacer las demandas actuales de infraestructuras sin comprometer la capacidad de las generaciones, fomentando un equilibrio entre el desarrollo económico, el bienestar social y la preservación del medio ambiente (Samaniego, 2021).

La necesidad de disminuir los impactos del cambio climático, la presión ejercida sobre los recursos naturales y el acelerado crecimiento urbano han hecho que la sostenibilidad en el sector de la construcción se vuelve relevante en América Latina. de esta manera, se determina que el sector de la construcción es uno de los principales causantes del consumo energético y de la generación de emisiones contaminantes (Mendoza, 2020).

En Ecuador, esta situación se manifiesta con el aumento de la demanda de los materiales de construcción, lo que ha llevado a la adopción de políticas enfocadas en la eficiencia energética y la disminución del impacto ambiental (Código Orgánico del Ambiente, 2017). Por esta razón, la elección de materiales sostenibles se va a transformar en una estrategia fundamental para así optimizar el desempeño ambiental de las edificaciones.

Asimismo, la evaluación del rendimiento ambiental de los materiales debe tener en cuenta elementos como su resistencia, posibilidad de reciclaje, consumo de energía y las emisiones generadas durante su fabricación. Estos aspectos posibilitan una cierta valoración integral de la sostenibilidad de los materiales y su papel en la creación de edificaciones más eficientes (Khan et al., 2025).

2.2. SISTEMA DE CUBIERTAS Y SU INCIDENCIA EN LA EFICIENCIA CONSTRUCTIVA

Los sistemas de cubiertas constituyen uno de los componentes más importantes de una edificación, ya que cumplen la función de proteger la estructura y los espacios interiores frente a agentes externos como la lluvia, el viento, la radiación solar y las variaciones térmicas. Para garantizar la seguridad, durabilidad y eficiencia de una construcción, un diseño adecuado y una correcta elección de los materiales son fundamentales, en particular en contexto donde el clima es variable, como ocurre en América Latina (Portero, Machado, & Mazón, 2010).

Desde el punto de vista técnico, los materiales de cubierta tienen que satisfacer una condición esencial; ser estables en términos dimensionales, resistir mecánicamente, no permitir la filtración de agua y adaptarse a variaciones térmicas. Estas características posibilitan garantizar que tenga una buena función durante un largo periodo de tiempo, disminuyendo problemas de deformaciones y deterioro prematuro del material.

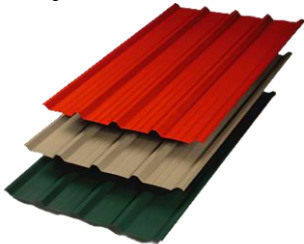
En América Latina, las circunstancias climáticas de cada zona son un elemento clave para elegir los sistemas de cubierta que se usan en las construcciones. En zonas tropicales, como la costa

ecuatoriana, las cubiertas tienen que resistir precipitaciones constantes, altos índices de humedad y exposición continua a los rayos del sol. Bajo estas circunstancias, es indispensable usar materiales que proporcionen un rendimiento apropiado ante estos factores, además de simplificar su instalación y asegurar una operación eficaz a lo largo de su vida útil.

Durante años, los sistemas de cubierta han incluido materiales como la cerámica, la arcilla, el fibrocemento, el zinc y el PVC. Cada uno presenta características específicas en cuanto a peso, costo, durabilidad y comportamiento térmico. Para una mejor comprensión, en la tabla 1 se presentan los tipos de teja más comunes utilizadas en América Latina junto con sus principales ventajas lo cual permite establecer una base comparativa para el análisis de materiales alternativos.

Tabla 1

Características generales de los tipos de tejas empleadas en la investigación

Tipo de teja	Características
Teja de cerámica o arcilla 	Tradicional, de alta durabilidad hasta 100 años, con un peso de 35-50 kg/m², con espesor de 10-15 mm.
Teja metálica o zinc 	Muy liviana, ideal para estructuras ligeras con un peso de 4-7 kg/m², con espesor 0.17 mm.
Teja de fibrocemento 	Resistente y económica, buena durabilidad con un peso de 14-20 kg/m² Y espesores de 3.5-17 mm.

Teja asfáltica



Liviana, fácil instalación, común en edificaciones modernas con un peso de 8-15 kg/m² y espesores de 3-7 mm.

Teja de PVC



Ligera, resistente a la corrosión, buen aislamiento térmico. Con un peso de 5-10 kg/m² y con espesor 2.5 mm.

En los últimos años, las tejas asfálticas modificadas con polímeros han ganado relevancia debido a su ligereza, facilidad de instalación y buen comportamiento frente a condiciones climáticas adversas. Considerando que estas propiedades permiten un rendimiento apropiado durante su vida útil y facilitan la instalación (Miravete, 2021).

El procedimiento de instalación de estas tejas es un proceso relativamente sencillo, lo cual hace que sea un proceso fácil de instalación en comparación con otros sistemas de cubierta convencionales. La superficie de soporte debe cumplir con los requisitos iniciales de uniformidad, continuidad y ausencia de humedad. (Manzano, 2016).

Posteriormente, las tejas se ubican de manera ascendente, empezando por la parte inferior de la cubierta y subiendo poco a poco hacia la parte superior. Esta medida posibilita que cada parte tenga un traslape apropiado, lo que permite que el agua escurra fácilmente y disminuye la posibilidad de filtraciones. La fijación se realiza utilizando clavos especiales o adhesivos, dependiendo de la clase de teja especificaciones establecidas por el fabricante.

La pendiente de la cubierta es un elemento clave para el buen funcionamiento de las tejas, puesto que de ella depende el adecuado escurrimiento del agua de lluvia. Por lo general se recomienda una inclinación de 20% y el 30% (aproximadamente de 11° a 17°), aunque este valor puede variar según las especificaciones del fabricante y las condiciones climáticas del lugar de instalación. Una pendiente adecuada permite el escurrimiento del agua, evita que se acumule humedad y ayuda a que el material dure más tiempo. Por otro lado, una inclinación insuficiente puede aumentar el riesgo de filtraciones y afectar el rendimiento del sistema de cubierta (Bonilla, 1991).

Tabla 2

Pendientes mínimas recomendadas y características técnicas de las tejas empleadas en la investigación

Tipo de teja	Material principal	Pendiente mínima recomendada	Equivalente en grados	Observaciones técnicas
Tejas de PVC	Policloruro de vinilo	10%-15%	6° - 9°	Buena evacuación de agua requiere fijación adecuada para evitar deformaciones
Teja de fibrocemento	Cemento+ fibras	15%-20%	9° - 11°	Resistente, pero requiere mayor pendiente para evitar filtraciones en juntas.
Teja de zinc	Acero galvanizado	10%-15%	6° - 9°	Permite pendientes bajas, pero depende de tipo de unión (traslape, engargolado)
Teja cerámica	Arcilla	30%-45%	17° - 24°	Requiere mayor inclinación por su sistema de encaje y peso.
Teja asfáltica	Asfalto+ polímeros	20%-30%	11° - 17°	Necesita pendiente media para asegurar impermeabilidad y durabilidad.

De esta manera, la instalación adecuada y el diseño apropiado de la pendiente son elementos clave para asegurar que las tejas asfálticas funcionen de manera óptima. Estos aspectos junto

con sus propiedades técnicas posicionan a este material como una opción viable dentro del enfoque de una construcción eficiente y sostenible. En la tabla 2 se presentan algunas consideraciones técnicas de cada uno de los tipos de tejas analizados.

2.3. MATERIALES BITUMINOSOS EN APLICACIONES DE CUBIERTAS

A causa de su adaptabilidad a diversas circunstancias de empleo y sus propiedades impermeables, los componentes bituminosos, especialmente el asfalto, han sido ampliamente utilizados en la construcción de ingeniería. Estas características han promovido su uso en cubiertas, ofrecen protección efectiva contra escapes de agua y ayudan a mantener las edificaciones en buen estado durante un largo periodo (Pérez, Sandoval, & Velasco, 2006).

El asfalto es un material que es originado del petróleo y tiene la propiedad de ser viscoelástico. Esto significa que tienen la capacidad de deformarse bajo ciertas condiciones sin comprometer su integridad estructural. En los sistemas de cubierta esta propiedad es particularmente ventajosa dado que se exponen a cambios en la temperatura y a movimientos estructurales, lo que podría impactar el rendimiento del material (Castro, 2002).

En los sistemas de cubierta, una de las tareas más relevantes del asfalto es evitar que el agua se filtre en la edificación a través de una barrera impermeable. Esta propiedad ayuda a evitar problemas causando por la humedad, como el deterioro de los materiales, la aparición de moho y el descenso del confort en las zonas interiores, además de proteger los elementos estructurales.

Los materiales bituminosos, además de ser impermeables, tienen buena adherencia a varias superficies. Esto hace que sea fácil aplicarlos sobre variedad de soportes, como madera, concreto o laminas metálicas. Esta versatilidad los convierte en una opción ampliamente utilizada en soluciones constructivas modernas.

Sin embargo, el asfalto convencional presenta ciertas limitaciones que deben ser muy consideradas. Entre ellas se encuentra su susceptibilidad al envejecimiento, en especial, cuando está expuesto a la radiación ultravioleta, lo que puede provocar pérdida de flexibilidad, endurecimiento y aparición de fisuras. Así mismo, las altas temperaturas pueden afectar la estabilidad, generando deformaciones en la superficie.

Estas limitaciones han impulsado el desarrollo de tecnologías que nos permiten mejorar el desempeño asfáltico, dando un lugar a la modificación con polímeros, lo cual representa un avance significativo en la mejora de sus propiedades y en la aplicación en sistemas de cubiertas más exigente (Ortíz & Macías, 2018).

2.4. MODIFICACIÓN DEL ASFALTO CON POLÍMEROS

La modificación de asfalto con polímeros nos constituye uno de los avances más importantes en el desarrollo de la creación de materiales bituminosos de alto rendimiento. Con el objetivo de optimizar las propiedades térmicas, mecánicas y físicas del asfalto tradicional, este procedimiento implica añadir compuestos poliméricos (Bobadilla, Tigre, Tesen, & Muñoz, 2022).

Los polímeros que se emplean pueden dividirse, sobre todo, en elastómeros y plastómeros. El estireno-butadieno-estireno (SBS), un elastómero que proporciona más elasticidad y capacidad de recuperación al material es uno de los más utilizados. Además, se incorporan polímeros plastoméricos como el APP (polipropileno atáctico), para aumentar la resistencia del material ante temperaturas elevadas y optimizar su estabilidad dimensional a lo largo de su ciclo de vida (Reyes, Madrid, & Salas, 2007).

La flexibilidad del material se ve beneficiada con la adición de polímeros, lo que permite ajustarse más fácilmente a los cambios de temperatura y a las alteraciones estructurales, lo cual reduce el riesgo de que se generen fisuras. Esta característica es particularmente importante en los sistemas de cubierta, dado que constantemente están expuestos a ciclos de expansión y contracción producidos a causa de clima.

La inclusión de polímeros mejora la resistencia del material ante la radiación ultravioleta y al envejecimiento, lo cual ayuda a reducir el deterioro prematuro y a extender su ciclo de vida. Por lo tanto, disminuyen las necesidades de mantenimiento y la durabilidad del sistema de cubierta se incrementa (Bustos, Sosa, Rodríguez, & Calderón, 2018). Desde un enfoque constructivo, estos cambios posibilitan la obtención de materiales que tienen un rendimiento superior, una fiabilidad más alta y la habilidad para mantener sus cualidades físicas y mecánicas a lo largo de extensos lapsos de servicio.

Una vida útil más prolongada, en términos de sostenibilidad, ayuda a disminuir el uso de recursos y la producción de desechos que resultan del remplazo constante de materiales.

Asimismo, ciertos procesos de modificación posibilitan la inclusión de polímeros reciclados, lo que favorece el uso de desechos plásticos. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta que la fabricación de estos procesos también requiere energía, así que su evaluación debe realizarse de forma exhausta.

Por lo tanto, el estudio de los materiales que han sido alterados con polímeros debe tener en cuenta sus consecuencias medioambientales y sus ventajas técnicas, sobre todo es importante en enfoques orientados a la construcción sostenible (Casanova, 2017).

2.5. TEJAS DE ASFALTO Y POLÍMEROS COMO SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA

Las tejas elaboradas con láminas troqueladas de asfalto y polímeros ofrecen una alternativa novedosa en sistemas de techado que normalmente se usan en construcciones comerciales y residenciales. Estas tejas se producen a través de procedimientos industriales que fusionan capas de materia bituminosa modificada con polímeros y recubrimientos minerales, los cuales aumentan su resistencia en la superficie (López, 2011).

Una de las principales ventajas de este tipo de teja es que son más ligeras que otros materiales convencionales, como la teja de cerámica o la de hormigón. Esta cualidad posibilita disminuir las cargas de las estructuras, portante, lo que mejora el diseño estructural de la edificación. Adicionalmente, su habilidad para ajustarse a diversas geometrías y configuraciones de cubierta hace que sea más fácil instalarlo en áreas con formas irregulares o pendientes variadas, lo cual incrementa las oportunidades de que se utilice en diferentes obras de construcción.

Desde un punto de vista técnico, estas tejas son resistentes a la vejez, tienen buena impermeabilidad y reaccionan positivamente ante variaciones térmicas. El sistema de traslape entre las tejas también contribuye a que el agua de lluvia se disipe correctamente, lo cual reduce la probabilidad de filtraciones y mejora el funcionamiento de la cubierta. Otra de las ventajas importantes es el transporte e instalación con facilidad. Este tipo de tejas, debido a que son más livianas y tienen dimensiones uniformes, posibilitan acelerar el trabajo de montaje y disminuir los periodos de ejecución en comparación con otros sistemas de cubierta tradicionales.

No obstante, el rendimiento de estas tejas se ve significativamente afectado por una correcta instalación. Es esencial tener en cuenta factores como una ventilación eficaz, una pendiente de

la cubierta y una fijación adecuada para garantizar su funcionamiento adecuado y extender su ciclo de vida (Martínez, 2017).

Por otra parte, a pesar de que tienen beneficios vinculados con el mantenimiento y la ligereza, es preciso analizar su comportamiento ambiental tomando en cuenta factores como la capacidad de reciclaje, el consumo de energía durante la fabricación y la disposición final.

Las tejas asfálticas modificadas con polímeros son una opción viable para la construcción de viviendas y edificaciones de mediana escala en América Latina, donde se requieren soluciones constructivas eficaces y asequibles económicamente.

2.6. EVALUACIÓN TÉCNICA MEDIANTE LA NORMA NTE INEN 2063

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063 es una herramienta reguladora esencial en el sector de la construcción, ya que define las exigencias técnicas que las láminas bituminosas modificadas con elastómeros deben satisfacer para ser empleadas correctamente en aplicaciones constructivas, particularmente en sistemas de impermeabilización y cubiertas. Su implementación asegura que los materiales empleados satisfagan estándares básicos en cuanto a la calidad, seguridad y rendimiento, lo cual favorece la durabilidad de las construcciones (Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca MPCEIP, 2005).

La aplicación de normas técnicas es un componente esencial para garantizar la fiabilidad y la seguridad de los materiales utilizados en construcción dentro del campo de la ingeniería civil. Estas normas posibilitan los procesos de evaluación y el control de calidad, así mismo nos asegura que las características de los productos empleados en la obra sean apropiadas para resistir las condiciones necesarias de servicio durante su vida útil.

Esta normativa contempla diversas pruebas con el objetivo de evaluar el rendimiento del material bajo condiciones controladas. La estabilidad dimensional, la elongación, el deterioro y el comportamiento en diferentes rangos de temperatura son aspectos que deben tenerse en cuenta de manera inmediata. Todos estos parámetros revelan información importante sobre la capacidad del material para reaccionar a las presiones mecánicas y a los factores ambientales.

Por ejemplo, la elongación muestra la capacidad de un material para estirarse sin romperse, mientras que la resistencia a la tracción nos ayuda a entender cuanta tensión puede soportar un material antes de romperse. Por ende, los sistemas de cubiertas requieren mucho de esto. Ya

que sufren continuamente cambios térmicos y las vibraciones inherentes a la estructura. (Iles, 2026).

La estabilidad dimensional, por otra parte, nos ayuda a comprobar que el material no se altera de tamaño cuando se expone a temperaturas altas o bajas. Esto previene situaciones problemáticas como levantamientos o deformaciones en la cubierta. Así mismo, la resistencia al envejecimiento es fundamental para entender cómo se comporta el material con el paso del tiempo, considerando factores como la radiación solar, humedad y otros agentes ambientales (Imptek, 2015).

La NTE INEN 2063 es una herramienta fundamental que el fabricante debe considerar para evaluar el desempeño técnico de sus materiales producidos, ya que establece ciertos criterios claro y relacionados con la calidad, resistencia y comportamiento en condiciones de servicio. Sin embargo, su enfoque se centra sobre todo en los aspectos técnicos, lo que significa que otros factores relacionados con la sostenibilidad, como el consumo de energía durante la fabricación, la huella de carbono o posibilidades de reciclaje no están incluidos en su alcance específico. En este contexto, es apropiado incluir a su aplicación metodologías adicionales que permitan abordar la evaluación ambiental del material de forma más integral, consolidando de esta manera el análisis desde una perspectiva de construcción sostenible.

2.7. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV) APLICADO A MATERIALES DE CUBIERTA

El análisis del ciclo de vida (ACV) es una metodología utilizada para poder evaluar los impactos ambientales asociados a un producto, proceso o material durante todas las etapas de su existencia. Esta herramienta nos permite identificar y cuantificar los efectos ambientales generados desde la extracción de materias primas hasta la disposición final del producto, proporcionando una visión integral de su desempeño ambiental (Carmo, 2025).

Debido a la necesidad de disminuir el impacto ambiental de los materiales, el CV ha generado gran importancia en el ámbito de la construcción y nos posibilita fomentar prácticas más sostenibles (Barbhuiya & Bhusan, 2023). La evaluación medioambiental de los materiales de construcción se ha vuelto un elemento crucial en la ingeniería civil debido a que las edificaciones son, hoy en día, una de las principales fuentes de consumo de residuos y consumo energético.

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el análisis del ciclo de vida permite evaluar los impactos ambientales de materiales y productos durante todas las etapas de su existencia (ONU, 2025).

Posteriormente, se analiza la etapa de fabricación, la cual incluye procesos industriales, consumo de energía, utilización de maquinarias y generación de residuos. El caso de materiales bituminosos modificados con polímeros, esta fase puede presentar un impacto significativo debido al uso de derivados del petróleo y procesos térmicos necesarios para la producción,

Una fase significativa es el transporte y la distribución de los materiales. Pasar las cosas desde las plantas de producción hasta los sitios de construcción conlleva el uso de combustible fósiles y la creación de emisiones contaminantes. La influencia directa del peso y volumen de los materiales en el impacto medioambiental relacionado con el transporte es, por lo tanto, evidente. La fase de uso también se incluye en el ACV y toma en cuenta elementos vinculados con la durabilidad, el mantenimiento y como actúa el material a lo largo de su vida útil. Los materiales con mayor resistencia y menor necesidad de reparación presentan ventajas ambientales debido a que estas reducen el consumo de recursos a largo plazo.

En última instancia, el análisis incluye el reciclaje o la disposición final del producto después de que su vida útil ha terminado. En esta etapa se analiza la factibilidad de recuperar materiales, reutilizarlos o producir desechos sólidos (RMRC, 2026). El estudio del ciclo de vida nos permite identificar las fases con mayor impacto ambiental y establecer tácticas para aumentar su sostenibilidad en el caso de las tejas realizadas con láminas troqueladas de asfalto y polímeros.

Es importante tener en cuenta los indicadores que se examinan dentro del ACV, como las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), el empleo de recursos naturales, la generación de residuos y el consumo energético. Estas variables permiten comparar diferentes materiales de construcción y seleccionar alternativas que ayuden a disminuir el impacto medioambiental. (ONU, 2023).

El ACV es una herramienta importante y fundamental para la selección y el diseño de materiales para la construcción, nos permite evaluar su rendimiento ambiental desde una perspectiva orientada a la sostenibilidad. Su implementación posibilita la inclusión de criterios

medioambientales, además de las dimensiones económicas y técnicas que se han tenido en cuenta tradicionalmente en proyectos de construcción.

Por lo tanto, el análisis del ciclo de vida ofrece una visión más extensa sobre la conducta medioambiental de los materiales bituminosos y su aporte dentro de perspectivas enfocadas en la construcción sostenible (Lizarraga, 2024).

Esta investigación, se desarrolladora mediante una metodología descriptiva y comparativa orientada a identificar los principales impactos ambientales asociados a las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto y polímeros. La evaluación se realizará considerando las etapas más importantes del ciclo de vida del material, con el propósito de analizar su comportamiento desde una perspectiva de sostenibilidad dentro del sector de la construcción.

La metodología aplicada se basará en la revisión bibliográfica, análisis documental y evaluación técnica de información relacionada con materias primas, procesos de fabricación, transporte, etapa de usos y disposición final tejas evaluadas. A través de este procedimiento será posible identificar los factores que influyen en el desempeño ambiental.

2.8. CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD EN MATERIALES DE CUBIERTA

La durabilidad es uno de los elementos más relevantes en la sostenibilidad de los materiales de construcción ya que afecta directamente el tiempo de vida útil de las edificaciones y la necesidad de reemplazar o mantener los componentes constructivos. Un material duradero conserva sus características técnicas a lo largo de un extenso periodo de servicio, minimizando las intervenciones correctivas y mejorando y mejorando la utilización de recursos (Iles, 2026).

En los sistemas de cubiertas, la durabilidad es un aspecto especialmente relevante ya que los materiales están continuamente expuestos a factores ambientales como el viento, la lluvia, la radiación solar, los cambios climáticos y la humedad. Si el material no tiene características apropiadas de estabilidad y resistencia, estas circunstancias tienen capacidad de acelerar el proceso de degradación.

Las tejas de asfalto que han sido modificadas con polímeros presentan ventajas en cuanto a su resistencia al envejecimiento y flexibilidad frente a deformaciones por calor. La inclusión de

polímeros aumenta la capacidad del material para soportar condiciones ambientales adversas sin que se afecten sus propiedades funcionales (Anderson, 2014).

Cuando las cubiertas son más duraderas, se extienden los periodos de reemplazo. Esto ayuda a reducir el consumo de materias primas, la energía utilizada y los costos vinculados con el mantenimiento. Desde la perspectiva medioambiental, esta cualidad constituye un beneficio significativo porque disminuye la producción de desechos generados por el reemplazo o arreglo de los materiales utilizados en las cubiertas.

Otra característica relacionada con la sostenibilidad es la capacidad de reciclar el material. La reciclabilidad es la habilidad de un producto para ser reincorporado o reutilizado en otros procesos productivos tras el fin de su vida útil (RMRC, 2026).

En el caso de los materiales bituminosos hay usos particulares que permiten la reutilización de residuos asfálticos en productos novedosos relacionados con impermeabilización o mezclas de betún. Esto fomenta la economía circular y disminuye el volumen de residuos sólidos en los vertederos, reduciendo su impacto ambiental.

Además, el empleo de polímeros reciclados en los procesos de manufactura puede ayudar a disminuir el impacto ambiental vinculado con los residuos plásticos al fomentar un uso más eficiente de materiales desechados (RMRC, 2026). No obstante, en numerosos países de América Latina persisten restricciones vinculadas con sistemas de reciclaje y administración de desechos constructivos. Algunos sistemas de cubierta y otros materiales no pueden utilizarse correctamente a causa de la escasez de infraestructura especializada.

Desde la perspectiva ambiental, la combinación entre durabilidad y reciclabilidad permite mejorar significativamente el desempeño sostenible de los materiales de construcción. Materiales con mayor vida útil y posibilidad de reutilización generan menores impactos ambientales durante su ciclo de vida. Por esta razón, los dos elementos deben ser considerados en procedimientos de selección y evaluación de materiales enfocados a la construcción sustentable y al empleo eficaz de recursos.

2.9. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE Y SELECCIÓN DE MATERIALES

La construcción sostenible tiene como objetivo disminuir el impacto ecológico de las edificaciones a través de la aplicación de tácticas dirigidas hacia la utilización eficaz de

recursos, la optimización energética y la elección responsables de materiales para la construcción (Corona, Granillo, Larios, & González, 2025). Este enfoque fomenta edificaciones más eficaces, de mayor durabilidad y que se alinean con los principios del desarrollo sustentable.

La elección de los materiales en construcciones sostenibles requiere un método integral que conecte aspectos técnicos, económicos y ambientales (Zavala, Lino, Cordero, & Sornoza, 2024).

Tradicionalmente, se seleccionaban materiales tomando en cuenta sobre todo el costo, la disponibilidad y la resistencia. Sin embargo, hoy en día es imprescindible incluir criterios adicionales relaciones con la eficiencia energética, la sostenibilidad y el comportamiento medioambiental (Bedoya, 2011). Entre los principales criterios utilizados para la selección sostenibles de materiales se encuentran la durabilidad, reciclabilidad, consumo energético durante fabricación, mantenimiento requerido y capacidad de reutilización.

En este caso si hablamos de materiales de cubierta, es necesario tomar en cuenta su impacto sobre la conducta térmica de la edificación la cual es particularmente significativo. Materiales con propiedades térmicas superiores pueden ayudar a reducir la acumulación de calor en los aspectos interiores, lo cual disminuye el empleo de sistemas artificiales de climatización y promueve el ahorro energético.

Así mismo, los materiales que tienen una vida útil más prolongada necesitan un cambio y mantenimiento, lo cual favorece el uso de recursos a largo plazo. Desde el punto de vista medioambiental y económico, esto representa una ventaja (Zavala, Lino, Cordero, & Sornoza, 2024). En Ecuador, es necesario que la selección de materiales se adapte a las condiciones climáticas, a la disponibilidad de recursos y a las regulaciones vigentes. De este modo, se favorecen opciones de construcción que sean afectivas y sostenibles al mismo tiempo.

Las tejas realizadas de láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros presentan propiedades técnicas que hacen posible su uso como sistemas de cubierta; entre estas destacan la flexibilidad, el peso ligero y la impermeabilidad. De igual manera, su durabilidad y las ventajas que brindan a lo largo de la construcción las hacen una alternativa con potencial para optimizar el rendimiento de las edificaciones.

Sin embargo, para establecer su contribución real a la construcción sostenible, es indispensable superar el análisis de sus propiedades técnicas y agregar la evaluación de factores vinculados con el impacto ecológico, la exigencia de mantenimiento y el comportamiento del material durante todo su ciclo de vida.

En este sentido, incorporan criterios técnicos, económicos y ambientales, favoreciendo la creación de procedimientos de selección más integrales y responsables, lo cual promueve soluciones constructivas que se ajustan a las demandas actuales del sector (Vargas & Bedoya, 2024).

Por lo tanto, la evaluación de materiales de cubierta desde la perspectiva de sostenibilidad ayuda a fomentar construcciones más resilientes y eficientes consolidando el desarrollo de métodos constructivos que se enfocan en el cuidado del medio ambiente.

2.10. PROPIEDADES FÍSICAS Y COMPORTAMIENTO DE LAS TEJAS

El comportamiento físico de las tejas tiene una función importante en la valoración de su rendimiento como sistema de cubierta, ya que incide directamente en su habilidad para resistir las condiciones ambientales y proteger la edificación (Crespo, 2010). La resistencia a la intemperie, la impermeabilidad, la absorción de agua y las propiedades dimensionales del material (como grosor y la masa) son ciertos parámetros físicos más importantes.

La capacidad de un material para captar y contener humedad en su estructura interna se denomina absorción de agua. En los sistemas de cubierta, es necesario que el valor sea lo más bajo posible, ya que una absorción reducida ayuda a minimizar el desgaste del material, frena el crecimiento de microorganismos y promueve la preservación de sus características mecánicas a través del tiempo. Según la literatura técnica, los materiales que tienen baja absorción de agua tienden a tener un mejor rendimiento y mayor durabilidad en entornos húmedos.

La impermeabilidad se refiere a la capacidad de la teja para evitar que el agua ingrese por su superficie, una propiedad esencial para salvaguardar la edificación de filtraciones potenciales. Si esta propiedad es apropiada, disminuye la probabilidad de que los componentes constructivos se vean afectados y se promueve la conservación del sistema de cubierta. Los materiales bituminosos que han sido modificados con polímeros tienen una estructura continua y una habilidad para sellar, lo cual les brinda un alto grado de impermeabilidad (Bustos, Sosa, Rodríguez, & Calderón, 2018).

La capacidad del material para conservar sus propiedades al estar expuestos a las condiciones ambientales, como la humedad, la radiación solar, las variaciones de temperatura y las precipitaciones, se establece a través de la resistencia a la intemperie. La actividad constante de estos elementos puede provocar que se deterioren, cambien de color, se deformen o que tengan fisuras, lo cual impacta en su funcionamiento. Esta propiedad se vuelve especialmente relevante en zonas de clima tropical, como la costa ecuatoriana, debido a que están constantemente expuestas a cambios ambientales más severas.

Las propiedades dimensionales de un sistema de cubierta están directamente relacionadas con las propiedades del material, incluyendo la masa y el grosor. Además de que la masa tiene un impacto en las cargas que se propagaran a la estructura, un grosor adecuado ayuda a mejorar su resistencia mecánica. Por esta razón, es esencial considerar estos factores al diseñar e instalar la cubierta para garantizar su correcto funcionamiento (Crespo, 2010).

La evaluación conjunta de estas propiedades posibilita un análisis completo del rendimiento de las tejas, lo que permite determinar si son adecuadas para emplearse en sistemas de cubierta y su aporte a la sostenibilidad y durabilidad de las edificaciones (López, 2011). Estas propiedades serán evaluadas experimentalmente en el capítulo correspondiente a la metodología, mediante ensayos que permitan determinar su comportamiento bajo condiciones reales de uso.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

En el presente trabajo de titulación se aplicó la “investigación aplicada”, debido a que está orientada a la generación de conocimiento con fines prácticos y específicos, enfocados en la evaluación del desempeño y la sostenibilidad de un material de construcción utilizado en sistemas de cubierta. La investigación aplicada se caracteriza por utilizar fundamentos teóricos y científicos para dar solución a problemas concretos del entorno profesional, aportando resultados que pueden ser utilizados en la toma de decisiones técnicas dentro del ámbito de la ingeniería civil y de materiales (Vásquez, Guanuchi, Cahuana, Vera, & Holgado, 2023).

El mencionado tipo de investigación procura no únicamente aumentar los conocimientos teóricos, sino también proveer soluciones que se puedan llevar a cabo en circunstancias reales.

La investigación aplicada es muy importante en la ingeniería civil ya que nos permite estudiar el desempeño de los sistemas estructurales, los materiales y los procesos de construcción con el objetivo de optimizar la calidad, la seguridad, la eficacia y la sostenibilidad de las construcciones (Castro, Gómez, & Camargo, 2022).

La presente investigación corresponde a un estudio de carácter aplicado, orientado al análisis de tejas elaboradas con láminas troqueladas de asfalto modificados con polímeros. Su desarrollo se centra en verificar el desempeño técnico de este material de acuerdo con los criterios establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063, así como en valorar su sostenibilidad considerando aspectos técnicos y ambientales. La información obtenida a partir de los ensayos constituye un apoyo para profesionales del sector de la construcción, como ingenieros y proyectistas, además de servir como referencia para entidades relacionadas con la selección de materiales destinados a sistemas de cubierta con mejores condiciones de desempeño y sostenibilidad (León, Lizarbe, Ayala, & León, 2025).

De igual manera, la aplicación de ensayos experimentales y del análisis de sostenibilidad permitió obtener información objetiva sobre las propiedades físicas y mecánicas de las tejas evaluadas. Los resultados obtenidos facilitaron el establecimiento de criterios técnicos que permitieron identificar tanto las fortalezas como las limitaciones del material cuando se emplea en aplicaciones constructivas.

Por último, esta investigación busca aportar información de utilidad tanto para el ámbito académico como para el ejercicio profesional de la ingeniería civil. Los resultados obtenidos pueden contribuir a promover el uso de materiales que ofrezcan mejores condiciones de sostenibilidad y un desempeño adecuado, favoreciendo el desarrollo de soluciones constructivas acordes con las necesidades actuales del sector.

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación del presente trabajo de titulación es de carácter “descriptivo y evaluativo”, debido a que se orienta a identificar, caracterizar y analizar las propiedades físicas y mecánicas de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros, considerando parámetros como resistencia, absorción, impermeabilidad, masa, espesor y durabilidad. Este nivel de investigación permite detallar el comportamiento técnico del material a partir de datos obtenidos mediante ensayos de laboratorio, sin modificar las

condiciones naturales del objeto de estudio (Marín, Arriola, Sotomayor, Correa, & Marín, 2025).

El enfoque descriptivo resulta pertinente debido a que la investigación busca exponer de manera sistemática las características y el desempeño del material evaluado, permitiendo comprender sus propiedades, relacionando su comportamiento frente a diferentes condiciones ambientales (Viscaíno, Maldonado, & Cedeño, 2023). A través de este nivel, se recopila información cuantificable que facilite la organización, interpretación y representación de los resultados obtenidos en los ensayos realizados conforme a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063. De esta manera, se logra establecer una descripción técnica del material en función de su aplicación como sistema de cubierta en edificaciones.

Adicionalmente, el estudio posee un nivel evaluativo, ya que no solo se limita a describir las propiedades del material, sino también valorar su desempeño mediante la comparación de los resultados obtenidos con los criterios técnicos establecidos en la normativa vigente (Hurtado, 2000). Es imprescindible determinar el grado de cumplimiento de las tejas asfálticas modificados con polímeros respecto a los requisitos físicos y mecánicos exigidos por la NTE INEN 2063, verificando su comportamiento técnico y funcional dentro del contexto constructivo.

De igual manera, el carácter evaluativo de la investigación posibilitó analizar el material desde un enfoque de sostenibilidad, considerando aspectos ambientales, económicos y sociales relacionado con su uso en edificaciones costeras. En este sentido, se valoran criterios como la vida útil del material, los requerimientos de mantenimiento, la resistencia frente a condiciones climáticas adversas, el potencial de reciclaje y la posible incorporación de materiales reciclados dentro de su composición. Estos elementos permiten desarrollar una evaluación más integral del desempeño del material dentro del marco de la construcción sostenible (Franco & Cusme, 2022).

El presente trabajo además permitió interpretar la viabilidad del uso de las tejas asfálticas modificadas con polímeros como alternativa de cubierta frente a materiales tradicionales utilizados en el sector de la construcción, considerando aspectos relacionados con durabilidad, peso, eficiencia funcional y comportamiento frente a agentes ambientales. Esta evaluación contribuye a generar información técnica útil para profesionales, proyectistas y entidades relacionadas con la selección de materiales de construcción sostenibles (Proaño, 2024).

Finalmente, este nivel de investigación favorece la generación de conocimiento técnico y académico relacionada con el desempeño y sostenibilidad de materiales asfálticos modificados con polímeros, permitiendo establecer criterios de análisis que puedan servir de referencia para futuras investigaciones vinculadas con materiales de cubierta y construcción sostenible (Moreira, Delgado, & Lourido, 2026).

3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Método de la investigación

El método científico es el que se ha empleado en la investigación actual, ya que permite establecer un procedimiento estructurado, sistemático y fundamentado para adquirir información confiable sobre el comportamiento técnico y la sostenibilidad de las tejas producidas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros. Este método está basado en fases organizadas que abarcan la observación del problema, la formulación de hipótesis, la recopilación de datos, la experimentación, el análisis de los resultados y la elaboración de conclusiones; lo cual nos asegura una mayor rigurosidad en el proceso investigativo (León, Lizarbe, Ayala, & León, 2025).

El uso del método científico es esencial en los estudios vinculados a la ingeniería civil y a los materiales de construcción, pues posibilita la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas por medio de procedimientos que pueden ser verificados e incluso que están respaldados desde el punto de vista técnico estudio (Marin, Arriola, Sotomayor, Correa, & Marín, 2025). Asimismo, este procedimiento ayuda a conseguir resultados imparciales que pueden ser comprobados por medio de experimentos y análisis efectuados en condiciones controladas.

En la actualidad, el método científico se emplea desde que se identifica el problema relacionado con la sostenibilidad y el rendimiento técnico de los materiales de cubierta hasta que se analizan los resultados logrados a través de pruebas llevadas a cabo de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063.

Inicialmente, se lleva a cabo una observación y análisis del problema de investigación, considerando la necesidad de evaluar materiales de cubierta que presenten buenas propiedades técnicas y, al mismo tiempo, aporten criterios relacionados con sostenibilidad y eficiencia constructiva.

Con base en el planteamiento del estudio, se establece la hipótesis de investigación (Huapaya & Ginocchio, 2018), la cual busca comprobar si las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros cumplen con los requisitos técnicos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063 y si, además, presentan atributos que favorezcan su desempeño desde el ámbito ambiental y de la sostenibilidad.

Posteriormente, se llevó a cabo la recopilación de información técnica y bibliográfica relacionada con materiales bituminosos, polímeros, sistema de cubierta y criterios de sostenibilidad. Esta información sirve como una base teórica para el desarrollo de los ensayos y análisis posteriores (Arbulu, 2020).

La etapa experimental constituye uno de los aspectos más importantes del método científico aplicado en esta investigación, ya que nos permite evaluar directamente las propiedades físicas y mecánicas de las muestras seleccionadas. Mediante ensayos controlados de laboratorio se obtendrán datos relacionados con resistencia, elongación, estabilidad dimensional y comportamiento frente al envejecimiento. Así mismo, los resultados conseguidos se organizarán e interpretarán a través de tablas, gráficas y análisis comparativos. Esto posibilitó la formulación de conclusiones técnicas basadas en el rendimiento y la sostenibilidad del material analizado.

3.2.2. Enfoque de la investigación

La presente investigación posee un enfoque mixto, debido a que integran componentes cuantitativos y cualitativos para desarrollar un análisis integral del material de estudio (Hernández & Mendoza, 2018). Este enfoque permite evaluar no solo las propiedades técnicas de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificados con polímeros, sino también su desempeño desde una perspectiva de sostenibilidad que aplica al sector de la construcción.

El enfoque cuantitativo se fundamenta en la obtención y análisis de datos numéricos derivados de ensayo de laboratorio normalizados, realizados conforme a los procedimientos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063. A través de este enfoque se evalúan propiedades físicas y mecánicas del material, tales como absorción de agua, impermeabilidad, masa, espesor y resistencia a la intemperie, permitiendo obtener resultados objetivos, medibles y verificables (Ñaupas, Valdivia, Palacios, & Romero, 2018).

Por otra parte, el enfoque cualitativo se empleó para interpretar los resultados obtenidos y valorar la sostenibilidad del material a partir de criterios ambientales, económicos y sociales. Para ello, se consideran aspectos como la vida útil, las necesidades de mantenimiento, el potencial de reciclaje, el comportamiento frente a condiciones ambientales y su viabilidad como sistema de cubierta en edificaciones ubicadas en zonas costeras. Esta evaluación permitió integrar los resultados obtenidos para realizar un análisis más amplio del material desde una perspectiva técnica y de sostenibilidad (Ñaupas, Valdivia, Palacios, & Romero, 2018).

La integración de los enfoques cuantitativo y cualitativo hizo posible una evaluación más completa de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros. Para ello, los resultados obtenidos en los ensayos se relacionaron con criterios de sostenibilidad y desempeño constructivo, permitiendo comprobar el cumplimiento de la normativa vigente y analizar el potencial del material como alternativa para aplicaciones orientadas a la construcción sostenible (León, Lizarbe, Ayala, & León, 2025).

Además, el enfoque mixto posibilitó realizar un análisis más exhaustivo de los resultados conseguidos, combinando la información cuantitativa derivada de las pruebas de laboratorio con la interpretación de elementos técnicos y ambientales vinculados al comportamiento del material en situaciones reales de servicio. Esta integración es particularmente importante en estudios relacionados con materiales de construcción, porque no solamente se desea conocer sus propiedades mecánicas y físicas, sino también medir su funcionalidad, durabilidad y capacidad de reacción ante las condiciones climáticas a las que estarán sometidos durante su vida útil.

La integración de los enfoques cuantitativo y cualitativo permitió desarrollar la investigación desde una visión más integral. Los ensayos aportaron información objetiva sobre el comportamiento del material, mientras que la evaluación de sostenibilidad permitió analizar su viabilidad técnica y su contribución desde la perspectiva ambiental. De esta forma, se obtuvieron conclusiones con un mayor respaldo técnico, útiles para la selección de materiales de cubierta que respondan a criterios de calidad, eficiencia y sostenibilidad en la ingeniería civil (Moreira, Delgado, & Lourido, 2026).

3.2.3. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación corresponde a un diseño experimental de laboratorio, debido a que se realizaron ensayos técnicos controlados sobre muestras de tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros, siguiendo procedimientos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063. Este tipo de diseño permite evaluar el comportamiento del material en condiciones controladas, facilitando la obtención de datos confiables y verificables relacionados con sus propiedades físicas y mecánicas.

A través del diseño experimental se analizaron características como masa, dimensiones, espesor, absorción de agua, impermeabilidad y resistencia a la intemperie, propiedades fundamentales para determinar el desempeño técnico del material como sistema de cubierta en edificaciones. La aplicación de ensayos normalizados permitió mantener uniformidad en el procedimiento experimental y reducir posibles alteraciones ocasionadas por factores externos que pudieran afectar los resultados.

Este diseño permitió evaluar el comportamiento físico y mecánico del material bajo condiciones controladas, garantizando la confiabilidad y precisión de los resultados obtenidos (Román, 2026). Además, el desarrollo experimental facilitó la comparación de los resultados con parámetros normativos y criterios de sostenibilidad relacionados con la durabilidad, resistencia y desempeño del material en edificaciones costeras.

De igual manera, el diseño experimental de laboratorio permitió establecer relaciones entre las propiedades evaluadas y la influencia de los polímeros incorporados en láminas asfálticas, favoreciendo el análisis técnico del comportamiento del material frente a factores ambientales como humedad, radiación solar y variaciones térmicas. Esto contribuye a comprender el desempeño funcional de las tejas en condiciones similares a las presentes zonas costeras.

Así mismo, este diseño resulta adecuado para investigaciones relacionados con materiales de construcción, debido a que posibilita la evaluación objetiva del comportamiento técnico de los materiales mediante procedimientos sistemáticos y repetibles. En consecuencia, los resultados obtenidos sirven como base para desarrollar una valoración integral del material, considerando tanto su cumplimiento normativo como su viabilidad desde un enfoque sostenibilidad aplicado al sector de la construcción.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población

La población de estudio está constituida principalmente por las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros, utilizadas como sistemas de cubierta en edificaciones (Gutiérrez & De la Vara, 2008). Estas tejas representan el conjunto total de materiales que poseen características técnicas relacionadas con impermeabilidad, resistencia, estabilidad y durabilidad, necesarias para su evaluación dentro del marco de la presente investigación. En este contexto, las tejas asfálticas modificadas con polímeros constituyen el objeto principal de análisis debido a su creciente utilización en sistemas de techado y su potencial desempeño frente a agentes ambientales.

En ese contexto se utilizaron otros materiales destinados a aplicaciones constructivas en cubiertas, especialmente en edificaciones expuestas a condiciones ambientales como humedad, radiación solar y variaciones térmicas, factores característicos de zonas costeras. Los mencionados materiales cumplen con las condiciones técnicas necesarias para ser evaluados conforme a los procedimientos y requisitos establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063. Esto permite desarrollar un análisis orientado a verificar comparativamente el comportamiento físico y mecánico de los materiales, así como su viabilidad desde un enfoque de sostenibilidad aplicado al sector de la construcción.

Finalmente, la delimitación de la población permite enfocar la investigación en un tipo específico de material de cubierta, facilitando el desarrollo de ensayos y análisis técnicos relacionados con sus propiedades, desempeño y comportamiento en condiciones de servicios propias de edificaciones costeras.

3.3.2. Muestra

La muestra estuvo conformada por un conjunto de tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificados con polímeros, seleccionadas para la ejecución de ensayos físicos y mecánicos en laboratorio (Gutiérrez & De la Vara, 2008). Así como también muestras de otros materiales utilizados tradicionalmente en cubiertas. Las muestras fueron preparadas y condicionadas conforme a los procedimientos establecidos con la Norma NTE INEN 2063, garantizando condiciones adecuadas para la obtención de resultados confiables y representativos del comportamiento de los diversos materiales.

Las unidades de ensayo fueron utilizadas para evaluar propiedades relacionadas con masa, dimensiones, espesor, absorción de agua, impermeabilidad y resistencia a la intemperie, parámetros fundamentales para determinar el desempeño técnico y la sostenibilidad del material como sistema de cubierta. La selección de las muestras se realizó considerando criterios de uniformidad física, integridad superficial y condiciones adecuadas de conservación, con el propósito de minimizar alteraciones que pudieran afectar los resultados experimentales.

Las muestras fueron identificadas y codificadas previamente al desarrollo de los ensayos, facilitando el control y registros sistemáticos de los datos obtenidos durante el proceso experimental. Este procedimiento permitió mantener un adecuado seguimiento de cada unidad de ensayo y garantizar la organización de la información para su posterior análisis e interpretación (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

Así mismo, la muestra seleccionada permitió representar de manera adecuada las características generales de las tejas asfálticas modificadas con polímeros utilizadas como material de cubierta, posibilitando evaluar su comportamiento frente a condiciones ambientales relacionadas con humedad, radiación solar y variaciones térmicas propias de edificaciones costeras. En consecuencia, los resultados obtenidos constituyen una base técnica para el análisis del desempeño y sostenibilidad del material dentro del contexto de la investigación.

3.3.3. Muestreo

El tipo de muestreo empleado en la presente investigación corresponde a un muestreo no probabilístico por conveniencia, debido a que las muestras fueron seleccionadas en función de su disponibilidad, accesibilidad y adecuación para la realización de los ensayos físicos y mecánicos desarrollados en laboratorio. Este tipo de muestreo es ampliamente utilizado en investigaciones experimentales relacionados con materiales de construcción, donde el propósito principal se centra en evaluar técnicamente el comportamiento del material y no en realizar generalizaciones estadísticas sobre una población total (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

La selección de las muestras se realizó considerando criterios técnicos relacionados con el estado físico del material, uniformidad superficial, integridad estructural y condiciones adecuadas para la ejecución de los ensayos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063. Esto permitió garantizar que las unidades de ensayo presentan características

apropiadas para la obtención de resultados confiables y representativos del comportamiento de las tejas asfálticas modificadas con polímeros.

El muestreo por conveniencia resultó pertinente para la investigación debido a la disponibilidad limitada del material y a las condiciones requeridas para el desarrollo de los ensayos experimentales (Gutiérrez & De la Vara, 2008). La aplicación de este tipo de muestreo facilitó el acceso a muestras aptas para evaluar propiedades relacionadas con masa, dimensiones, espesor, absorción, impermeabilidad y resistencia a la intemperie, parámetros fundamentales para el análisis técnico y de sostenibilidad del material.

De igual manera, este procedimiento permitió optimizar recursos y tiempos durante el desarrollo experimental, manteniendo condiciones adecuadas de control y seguimiento de las muestras evaluadas. En consecuencia, el muestreo aplicado contribuyó al desarrollo ordenado de la investigación y a la obtención de información técnica útil para la evaluación del desempeño de las tejas como sistema de cubierta en edificaciones costeras.

3.4. DESARROLLO METODOLÓGICO DEL OE.1

Con el propósito de describir técnicamente las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros, se llevó a cabo la realización de pruebas físicas y mecánicas, siguiendo los procedimientos definidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063. Con el fin de lograr esto, se analizaron diversas características funcionales y físicas del material para conseguir datos objetivos sobre su comportamiento y para producir información que pudiera respaldar el análisis técnico realizado en este estudio.

La metodología aplicada se desarrolló mediante un enfoque experimental y descriptivo, debido a que se obtuvieron datos cuantificables mediante ensayos de laboratorio, permitiendo analizar el comportamiento del material a partir de parámetros técnicos medibles. Este enfoque permitió evaluar objetivamente las propiedades del material y establecer criterios relacionados con su resistencia, funcionalidad y durabilidad como elemento de cubierta dentro del sector de la construcción.

De acuerdo con lo estipulado en la normativa técnica, las muestras fueron elegidas, identificadas y preparadas con antelación para realizar los ensayos. Más adelante, las tejas se expusieron a una variedad de métodos experimentales para determinar propiedades como la resistencia a la intemperie, el espesor, la absorción de agua, la impermeabilidad, la masa y las

dimensiones. Cada uno de estos parámetros es esencial para establecer cómo se comporta el material y cuál es su calidad en relación con las condiciones operativas, funcionales y ambientales.

La realización de los ensayos fue bajo condiciones controladas de laboratorio, utilizando equipos e instrumentos de medición adecuados para garantizar precisión y confiabilidad en la obtención de resultados. Así mismo, durante el proceso experimental se efectuó el registro sistemático de los datos obtenidos, permitiendo organizar la información mediante tablas comparativas, gráficas y fichas técnicas para su posterior análisis e interpretación.

El análisis de las propiedades físicas permitió identificar características relacionadas con uniformidad, peso, dimensiones y capacidad de absorción del material, mientras que las propiedades mecánicas y funcionales permitieron evaluar su comportamiento frente a factores externos como humedad y exposición climática. Esto facilitó establecer una valoración técnica del desempeño de las tejas asfálticas modificadas con polímeros dentro de condiciones similares a las presentes en edificaciones costeras.

Durante el desarrollo metodológico, los resultados obtenidos se compararon con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063, con el fin de comprobar el grado de cumplimiento de las especificaciones técnicas aplicables a las tejas evaluadas. A partir de esta comparación se determinó la aptitud del material para su uso como sistema de cubierta y se analizó su desempeño en términos de calidad y comportamiento constructivo.

Los datos recopilados en los ensayos permitieron continuar con las siguientes etapas de la investigación, enfocadas en analizar la influencia de los polímeros sobre el desempeño técnico del material y evaluar su sostenibilidad desde las perspectivas ambiental, económica y social. En conjunto, esta fase metodológica proporcionó evidencia técnica que facilitó la comprensión del comportamiento integral de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros dentro del contexto de la construcción sostenible.

3.4.1. Selección y preparación de muestras

Para garantizar la representatividad de los resultados, las muestras fueron seleccionadas considerando criterios relacionados con uniformidad visual, integridad superficial, ausencia de fisuras, deformaciones o daños aparentes, así como condiciones adecuadas de conservación y manipulación.

Previo a la ejecución de los ensayos, las muestras fueron limpiadas y acondicionadas en un ambiente controlado, evitando alteraciones provocadas por humedad externa, contaminación superficial o exposición directa a radiación solar y variaciones térmicas que pudieran influir en el comportamiento del material durante el proceso experimental. Este acondicionamiento permitió mantener condiciones homogéneas en todas las unidades de ensayo y reducir posibles factores externos que afectaran la confiabilidad de los resultados.

Después del acondicionamiento, las muestras fueron identificadas con un código de registro que permitió diferenciarlas durante el desarrollo de los ensayos. De esta manera, fue posible vincular cada muestra con los resultados de masa, dimensiones, espesor, absorción de agua, impermeabilidad y resistencia a la intemperie, manteniendo un control adecuado de la información obtenida.

Así mismo, antes de iniciar los procedimientos de laboratorio, se verificó que las muestras cumplieran con las dimensiones y condiciones mínimas requeridas para la ejecución de los ensayos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063. Esta verificación permitió asegurar que las unidades evaluadas fueran aptas para el análisis técnico y que los resultados obtenidos fueran consistentes y comparables con los parámetros normativos aplicables.

El acondicionamiento y preparación de las muestras constituyó una etapa fundamental dentro del proceso metodológico, debido a que permitió mejorar la precisión de las mediciones y garantizar condiciones adecuadas para la evaluación del comportamiento físico y mecánico del material. En consecuencia, esta fase contribuyó al desarrollo confiable de los ensayos y al análisis integral del desempeño de las tejas asfálticas modificadas con polímeros como sistema de cubierta en edificaciones costeras.

3.4.2. Procedimiento metodológico general

La metodología experimental aplicada en la presente investigación se desarrolló mediante un proceso sistemático orientado a garantizar la confiabilidad y precisión de los resultados obtenidos durante la evaluación de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros. El procedimiento metodológico se estructuró en diferentes fases consecutivas, permitiendo mantener un adecuado control técnico durante la ejecución de los ensayos físicos y mecánicos establecidos conforme a la Norma Técnica NTE INEN 2063.

El desarrollo de estas etapas permitió organizar el proceso experimental desde la preparación de las muestras hasta el registro y verificación de los resultados obtenidos, facilitando posteriormente el análisis técnico y la interpretación del comportamiento del material como sistema de cubiertas en edificaciones costeras (León, Lizarbe, Ayala, & León, 2025).

- **Fase 1: Identificación y codificación**

En la primera etapa del procedimiento metodológico, cada muestra fue identificada y codificada mediante un sistema de control técnico, permitiendo un adecuado seguimiento durante la ejecución de los ensayos de laboratorio. La codificación facilitó la organización de las muestras y el registro individual de los resultados correspondientes a cada unidad evaluada.

Además, esta fase permitió reducir posibles errores relacionados con confusión o intercambio de muestras durante el desarrollo experimental, garantizando mayor control y trazabilidad de la información obtenida. Cada código asignado fue registrado en fichas técnicas y tablas de control utilizadas durante el proceso investigativo.

- **Fase 2: Preparación de muestras**

Las muestras fueron preparadas en condiciones ambientales controladas antes de realizar las pruebas experimentales. La finalidad de este proceso fue disminuir posibles alteraciones causadas por factores externos como la exposición directa a la radiación solar, la humedad en exceso, el cambio de temperatura o la existencia de impurezas en la superficie.

El periodo de acondicionamiento ayudó a homogenizar las condiciones físicas de las muestras previas a los ensayos, lo que permitió obtener resultados más confiables y simplificó su comparación en el análisis.

Por lo que, durante esta etapa se verificó que las muestras presentaran condiciones adecuadas de integridad superficial y dimensiones aptas para la ejecución de los ensayos establecidos en la normativa técnica.

- **Fase 3: Ejecución de ensayos**

En esta fase se desarrollaron los ensayos físicos y mecánicos establecidos para la evaluación técnica del material, siguiendo procedimientos basados en la NTE INEN 2063. Los ensayos

realizados permitieron analizar propiedades relacionadas con masa, dimensiones, espesor, absorción de agua, impermeabilidad y resistencia a la intemperie.

Los ensayos se realizaron en condiciones controladas de laboratorio, empleando equipos e instrumentos de medición adecuados para obtener resultados confiables. Durante la ejecución de los ensayos se mantuvo un control técnico permanente sobre tiempo de exposición, mediciones y condiciones de evaluación, permitiendo minimizar variaciones externas que pudieran afectar el comportamiento de las muestras.

De igual manera, esta etapa constituyó la base principal para determinar el desempeño físico y funcional de las tejas asfálticas modificadas con polímeros frente a condiciones asociadas a su uso como sistema de cubierta en edificaciones expuestas a factores ambientales propios de zonas costeras.

- **Fase 4: Organización y registro de los datos**

Los datos generados en cada ensayo se registraron de forma ordenada en tablas de control, fichas técnicas y formatos de seguimiento experimental, con el fin de mantener un registro organizado de la información obtenida durante la investigación.

El registro técnico incluyó las mediciones realizadas, los valores obtenidos en cada ensayo, las observaciones efectuadas durante la evaluación y el comportamiento observado en las muestras a lo largo del proceso experimental. La organización de esta información permitió elaborar tablas comparativas y análisis técnicos orientados a evaluar el cumplimiento de los requisitos establecidos en la normativa aplicable.

Por lo tanto, el uso de registros sistemáticos favoreció la trazabilidad de los resultados y contribuyó a mantener orden y control durante el desarrollo metodológico de la investigación.

- **Fase 5: Verificación y validación de resultados**

Finalmente, se desarrolló una etapa de revisión y verificación de los resultados obtenidos, con el propósito de identificar posibles inconsistencias, anomalías o variaciones significativas entre las muestras evaluadas. La revisión realizada permitió comprobar la consistencia de la información obtenida, garantizando que los datos empleados en las etapas posteriores del análisis fueran confiables y adecuados para la investigación.

Durante la fase de validación se revisaron los registros experimentales se compararon las mediciones obtenidas y se analizaron las observaciones realizadas en cada ensayo. Este procedimiento permitió corroborar que la información recopilada presentara la consistencia necesaria para sustentar el análisis técnico y la evaluación de sostenibilidad de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros.

Consecuentemente, el procedimiento metodológico general permitió desarrollar un proceso experimental organizado, sistemático y técnicamente fundamentado, garantizando condiciones adecuadas para la evaluación integral del comportamiento del material dentro del contexto de la construcción sostenible.

3.4.3. Ensayos realizados según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063

3.4.3.1. Ensayo de masa

La determinación de la masa tuvo como finalidad obtener el peso individual de las muestras correspondientes a los diferentes materiales de cubierta evaluados en la investigación. Este ensayo permitió caracterizar una de las principales propiedades físicas de las tejas, proporcionando información necesaria para comparar el comportamiento de los materiales analizados conforme a los procedimientos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana 2063.

La evaluación de la masa constituye un aspecto importante dentro de la caracterización física de los materiales, debido a que este parámetro influye en las cargas permanentes que son transmitidas hacia la estructura de soporte de la cubierta. Asimismo, los resultados obtenidos permitieron establecer diferencias entre los materiales evaluados y aportar información para el análisis técnico y comparativo desarrollado en la presente investigación.

Materiales empleados

- Balanza digital de precisión calibrada.
- Tejas asfálticas
- Tejas de cerámica
- Tejas de fibrocemento
- Tejas de PVC
- Tejas de zinc
- Hoja de registro de datos.

Procedimiento

1. Se verificó la calibración de la balanza antes de iniciar el ensayo.
2. Se limpió cada muestra para eliminar humedad superficial y partículas.
3. Se obtuvo la masa individual de cada teja mediante una balanza digital.
4. Los resultados se registraron en la ficha de control.

Figura 1

Determinación y registro de la masa de la teja de cerámica



Nota: Fotografías de autoría propia

3.4.3.2. Ensayo de dimensión

Las dimensiones principales de las tejas utilizadas como materiales de cubierta se obtuvieron mediante este ensayo, lo que permitió comprobar la uniformidad de las muestras evaluadas. Este ensayo constituye una evaluación básica para conocer las dimensiones reales de cada material y compararlas con sus especificaciones técnicas.

La medición del largo y ancho es importante debido a que estas dimensiones influyen en el rendimiento de cobertura, el traslape entre piezas y la facilidad de instalación durante el proceso constructivo. Asimismo, los resultados obtenidos permiten realizar comparaciones entre los diferentes materiales evaluados y analizar su comportamiento dentro de sistemas de cubierta destinados a edificaciones.

Materiales empleados

- Flexómetro metálico
- Tejas asfálticas
- Tejas de cerámica
- Tejas de fibrocemento

- Tejas de PVC
- Tejas de zinc
- Hoja de registro de datos

Procedimiento

1. Se identificó cada muestra mediante un código de control.
2. Las tejas fueron colocadas sobre una superficie plana y nivelada.
3. Se midió el largo total de cada muestra utilizando un flexómetro metálico.
4. Posteriormente, se determinó el ancho máximo de cada material.
5. Las dimensiones obtenidas se registraron en una hoja de control para su análisis.

3.4.3.3. Ensayo de espesor

Mediante el ensayo de espesor se determinó el grosor promedio de los materiales utilizados como sistema de cubierta. Los resultados obtenidos permitieron caracterizar este parámetro físico y analizar su influencia en el comportamiento mecánico y funcional de cada material.

La medición del espesor facilita la comparación entre materiales tradicionales y las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros, permitiendo analizar diferencias relacionadas con su resistencia, estabilidad física y capacidad para soportar las condiciones de servicio a las que estarán expuestas durante su vida útil.

Materiales empleados

- Calibrador Vernier (pie de rey)
- Tejas asfálticas
- Tejas de cerámica
- Tejas de fibrocemento
- Tejas de PVC
- Tejas de zinc
- Hoja de registro de datos.

Procedimiento

1. Se identificaron las muestras correspondientes a cada material.
2. Se colocó cada teja sobre una superficie estable para realizar la medición.

3. Mediante un calibrador Vernier se determinó el espesor en diferentes puntos representativos de cada muestra.
4. Las mediciones obtenidas fueron verificadas para garantizar su precisión.
5. Se documentó los resultados para realizar posteriormente un análisis comparativo.

Figura 2

Medición del espesor de la teja de PVC



Nota: Fotografías de autoría propia.

3.4.3.4. Ensayo de absorción de agua

Este ensayo desarrolló la capacidad de los materiales de cubierta para absorber humedad después de haber estado sumergidos en agua por un periodo determinado. Una propiedad física importante para comprender cómo se comporta el material y su resistencia a la humedad fue evaluada gracias a los resultados obtenidos.

La absorción de agua constituye un indicador del grado de porosidad del material, ya que valores elevados pueden favorecer procesos de deterioro, pérdida de resistencia y disminución de la vida útil de las cubiertas. Por esta razón, los resultados obtenidos permitieron comparar el comportamiento de las tejas evaluadas y verificar su desempeño conforme a los requisitos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063.

Materiales empleados

- Balanza digital de precisión
- Recipiente para la inmersión
- Agua

- Paño absorbente
- Tejas asfálticas
- Tejas de cerámica
- Tejas de fibrocemento
- Tejas de PVC
- Tejas de zinc
- Hoja de registro de datos.

Procedimientos

1. Se identificaron y codificaron todas las muestras.
2. Se registró el peso inicial de cada material.
3. Las muestras fueron sumergidas completamente en agua durante 24 horas.
4. Transcurrido el tiempo de inmersión, las tejas fueron retiradas y se eliminó el exceso de agua superficial mediante un paño absorbente.
5. Se registró la masa húmeda de cada muestra.
6. Se calculó el porcentaje de absorción de agua y se registraron los resultados.

Figura 3

Colocación de tejas en el recipiente para el estado de inmersión.



Nota: Fotografías de autoría propia

Figura 4

Secado de la teja



Nota: Fotografías de autoría propia

3.4.3.5. Ensayo de impermeabilidad

Mediante el ensayo de impermeabilidad se verificó la capacidad de los materiales de cubierta para impedir el ingreso de agua durante su exposición directa. Su evaluación es importante porque ayuda a prevenir y a preservar la estructura de la edificación, así como las condiciones de los espacios interiores.

La evaluación permitió verificar el comportamiento de los diferentes materiales frente a la acción continua de agua y determinar su capacidad para conservar sus propiedades funcionales durante el tiempo de ensayo.

Los resultados obtenidos sirvieron como base para comparar el desempeño de cada material respecto a las condiciones establecidas por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063.

Materiales empleados

- Base de soporte para las muestras
- Sellado de silicona
- Agua
- Recipiente graduado
- Cronómetro
- Tejas asfálticas

- Tejas de cerámica
- Tejas de fibrocemento
- Tejas de PVC
- Tejas de zinc.

Procedimiento

1. Se identificaron las muestras correspondientes de cada material.
2. Las tejas fueron colocadas sobre una superficie estable y se sellaron sus bordes con silicona para evitar pérdidas laterales de agua.
3. Se vertió agua en una tara sobre la superficie superior de cada muestra.
4. Las muestras permanecieron en evaluación durante el tiempo establecido de 1 hora para la prueba.
5. Se verificó la presencia o ausencia de filtraciones.
6. Los resultados se anotaron en una ficha de control.

Figura 5

Sellado en las uniones de las tejas



Nota: Fotografías de autoría propia.

3.4.3.6. Ensayo de resistencia a la intemperie

Este ensayo tuvo como propósito evaluar el comportamiento de los diferentes materiales de cubierta frente a la exposición continua a las condiciones ambientales naturales. Durante el desarrollo del ensayo se observaron posibles cambios físicos ocasionados por la acción de la radiación solar, humedad, variaciones de temperatura y otros agentes atmosféricos presentes en ambientes exteriores.

Este ensayo permitió determinar la capacidad de cada material para conservar sus propiedades físicas y funcionales durante el período de exposición, constituyendo un indicador importante de su durabilidad y desempeño en aplicaciones constructivas. Los resultados obtenidos permitieron establecer comparaciones entre los diferentes materiales y analizar el comportamiento de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros frente a las condiciones climáticas características de zonas costeras.

Materiales empleados

- Soporte para exposición de muestra
- Área de exposición a la intemperie
- Ficha de inspección visual
- Tejas asfálticas
- Tejas de cerámica
- Tejas de fibrocemento
- Tejas de PVC
- Tejas de zinc.

Procedimiento

1. Se identificó cada muestra mediante un código de control.
2. Las tejas fueron colocadas sobre un soporte de exposición en un ambiente exterior.
3. Las muestras permanecieron expuestas durante un periodo de 35 días.
4. Se realizaron inspecciones visuales a los 7, 14, 21, y 35 días de exposición.
5. En cada evaluación se registraron posibles alteraciones relacionadas con decoloración, desgaste, fisuras, deformaciones, oxidación o cualquier otro cambio superficial.
6. Los resultados obtenidos fueron registrados en fichas de observación y posteriormente organizados para su análisis e interpretación.

Figura 6

Exposición natural del ensayo de resistencia a la intemperie



Nota: Fotografías de autoría propia.

3.4.4. Procesamiento y análisis de resultados

Los datos obtenidos en cada ensayo fueron organizados en tablas comparativas y registros técnicos para facilitar su interpretación.

Posteriormente, los resultados fueron comparados con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTEN INEN 2063, permitiendo determinar el nivel de cumplimiento técnico del material.

El análisis consideró:

- Comportamiento general de las muestras
- Uniformidad de resultados
- Relación entre propiedades evaluadas
- Desempeño del material frente a condiciones ambientales

3.4.5. Criterio técnico de evaluación

El material fue considerado técnicamente adecuado cuando los resultados obtenidos demostraron:

- Estabilidad dimensional

- Baja absorción de agua
- Ausencia de filtraciones
- Resistencia frente a condiciones ambientales
- Comportamiento homogéneo entre muestras

Estos parámetros permitieron establecer una valoración técnica preliminar del desempeño de las tejas como sistema de cubierta para edificaciones costeras.

3.5. DESARROLLO METODOLÓGICO DEL OE.2

Una vez obtenidos los resultados correspondientes a los ensayos físicos y mecánicos, se desarrolló un análisis técnico orientado a identificar la influencia de los polímeros en el comportamiento de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto. A diferencia del objetivo anterior, centrado en la obtención experimental de datos, este apartado se enfocó en la interpretación y correlación de resultados, permitiendo comprender de qué manera la modificación con polímeros contribuye al desempeño del material.

La incorporación de polímeros en material de asfálticos tiene como finalidad mejorar propiedades relacionadas con flexibilidad, adherencia, resistencia térmica y durabilidad. En este contexto, el análisis metodológico se desarrolló mediante un enfoque comparativo y explicativo, relacionando los resultados experimentales con fundamentos teóricos sobre materiales asfálticos modificados.

3.5.1. Variable de análisis

Las variables analizadas correspondieron a los resultados obtenidos en los ensayos desarrollados en el objetivo anterior:

- Masa del material
- Estabilidad dimensional
- Absorción de agua
- Impermeabilidad
- Resistencia a la intemperie

Estas variables permitieron evaluar el comportamiento integral de las tejas frente a factores ambientales y condiciones de servicio.

3.5.2. Procedimiento metodológico

- **Fase 1: Organización y sistematización de resultados**

Los resultados de los ensayos fueron organizados en tablas comparativas y registros técnicos, facilitando la identificación de tendencias y comportamientos repetitivos entre muestras. Se realizó una revisión general de consistencia de datos para verificar uniformidad y destacar posibles variaciones significativas.

- **Fase 2: Análisis comparativo del comportamiento físico-mecánico**

Se efectuó un análisis de las propiedades evaluadas, observando la relación existente entre los resultados y el comportamiento esperado de materiales asfálticos modificados con polímeros. En esta etapa se evaluaron aspectos relacionados con:

- La capacidad de resistencia frente a la humedad
- La estabilidad del material frente a fluctuaciones en la temperatura
- El comportamiento impermeabilizante
- La homogeneidad física del producto

- **Fase 3: Análisis técnico de cómo influyen los polímeros**

Se llevó a cabo un análisis técnico para determinar cómo la introducción de polímeros afecta las características del material. Se consideró que los polímeros funcionan como alteradores de la matriz asfáltica, contribuyendo a:

- Mejorar la flexibilidad del material
- Reducir el desarrollo de fisuras
- Optimizar la adhesión interna
- Reducir la permeabilidad
- Incrementar la estabilidad frente a factores climáticos

El estudio efectuado posibilitó determinar que estas optimizaciones puedan beneficiar el rendimiento de las tejas en zonas costeras, donde la exposición a la radiación solar, la humedad y los cambios térmicos se presentan de manera constante.

- **Fase 4: Relación entre variables**

Se realizó una correlación entre los resultados de los distintos ensayos identificando relaciones como:

- Menor absorción de agua – mayor impermeabilidad
- Mayor estabilidad dimensional – mejor resistencia a la intemperie
- Uniformidad de masa – calidad de fabricación

Estas relaciones permitieron comprender el comportamiento integral del material y su respuesta frente a condiciones ambientales.

- **Fase 5: Contrastación bibliográfica**

Finalmente, los resultados fueron comparados con investigaciones y estudios técnicos relacionados con materiales asfálticos modificados con polímeros.

Esta contrastación permitió validar las tendencias observadas experimentalmente y fortalecer el sustento técnico de la investigación.

3.5.3. Criterios de interpretación

Se consideró que la incorporación de polímeros mejora el desempeño técnico del material cuando se evidencian:

- Bajos niveles de absorción
- Ausencia de filtraciones
- Mayor estabilidad dimensional
- Adecuado comportamiento frente a la intemperie
- Menor deterioro superficial

3.5.4. Alcance de análisis

El desarrollo de este objetivo permitió no solo interpretar el comportamiento físico-mecánico de las tejas, sino también explicar la relación existente entre la modificación con polímeros y la mejora del desempeño técnico del material, estableciendo una base para su evaluación desde un enfoque de sostenibilidad.

3.6. DESARROLLO METODOLÓGICO DEL OE.3

La evaluación de la sostenibilidad se desarrolló mediante un enfoque integral basado en criterios ambientales, económicos y sociales, permitiendo analizar el comportamiento del material más allá de sus propiedades técnicas inmediatas.

Este análisis se fundamentó en la interpretación de los resultados experimentales obtenidos, complementados con información bibliográfica y comparaciones con materiales de cubierta tradicionalmente utilizados en el sector de la construcción.

3.6.1. Dimensión ambiental

Desde el enfoque ambiental, se evaluaron aspectos relacionados con el impacto potencial del material durante su vida útil. Se consideraron criterios como:

- Uso de materias primas derivadas del petróleo
- Incorporación de polímeros reciclados
- Potencial reutilización o reciclaje
- Generación de residuos
- Durabilidad del material
- Frecuencia de reemplazo

El análisis ambiental consideró que una mayor durabilidad y resistencia frente a condiciones climáticas puede contribuir a disminuir la generación de residuos y reducir la necesidad de mantenimiento o sustitución frecuente.

3.6.2. Análisis de material reciclado

Como parte de la evaluación ambiental, se analizó el potencial de utilización de polímeros reciclados dentro de la composición del material. La incorporación de residuos plásticos reciclados representa una alternativa para:

- Reducir contaminación ambiental
- Disminuir el consumo de materia prima virgen
- Favorecer procesos de economía circular
- Aprovechar residuos postconsumo

Adicionalmente, se consideró que la incorporación de materiales reciclados no debe comprometer las propiedades físicas y mecánicas del producto final.

3.6.3. Dimensión económica

En el aspecto económico, la evaluación se centró en analizar la viabilidad del material considerando factores asociados a su comportamiento a largo plazo. Se analizaron aspectos como:

- Vida útil estimada
- Requerimiento de mantenimientos
- Frecuencia de reemplazo
- Relación costo-beneficio
- Facilidad de instalación

Se consideró que un material con mayor durabilidad y menor mantenimiento puede representar una alternativa económicamente favorable a largo plazo.

3.6.4. Dimensión social

Desde el enfoque social, se analizaron aspectos relacionados con las condiciones de habitabilidad y funcionalidad del material dentro de las edificaciones. Entre los criterios evaluados se consideraron:

- Protección frente a humedad y filtraciones
- Confort térmico
- Seguridad en el uso del material
- Facilidad de manipulación e instalación

El análisis social permitió identificar la influencia del material en las condiciones de bienestar y seguridad de los usuarios.

3.6.5. Análisis comparativo con materiales tradicionales de cubierta

Con el fin de contextualizar el desempeño de las tejas asfálticas modificadas con polímeros, se realizó una comparación referencial con materias comúnmente utilizados en cubiertas.

Tabla 3*Comparación de peso de las diferentes tejas asfálticas*

Tipo de teja	Peso aproximado (Kg/m2)
Teja asfáltica	8-15
Teja PVC	5-10
Teja de zinc	4-8
Teja de fibrocemento	14-20
Teja de cerámica	35-50

Las tejas asfálticas presentan un peso moderado, permitiendo disminuir cargas estructurales en comparación con materiales cerámicos, manteniendo condiciones adecuadas de resistencia y facilidad de instalación.

3.6.6. Comparación de vida útil

Tabla 4*Comparación de vida útil*

Tipo de teja	Vida útil estimada
Teja asfáltica	20-30 años
Teja PVC	10-20 años
Teja de zinc	15-25 años
Teja de fibrocemento	20-30 años
Teja de cerámica	30-50 años

Las tejas asfálticas modificadas con polímeros presentan una vida útil competitiva frente a otros sistemas de cubierta, lo que puede contribuir a reducir costos de mantenimiento y generación de residuos.

3.6.7. Integración del análisis de sostenibilidad

Finalmente, se integraron los resultados técnicos ambientales, económicos y sociales obtenidos durante la investigación, permitiendo establecer una valoración global de la sostenibilidad de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto y polímero.

Esta integración permitió determinar la viabilidad del material como alternativa de cubierta en edificaciones costeras, considerando tanto su desempeño técnico como su contribución potencial hacia criterios de construcción de sostenible.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La finalidad de este capítulo es presentar de una manera objetiva y clara los resultados que se obtuvieron durante la realización de los análisis ejecutados en tejas hechas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros, que permitan examinar su desempeño técnico y su vinculación con estándares de sostenibilidad en el ámbito de la construcción.

Los resultados corresponden a las pruebas físicas y mecánicas desarrolladas conforme a los parámetros establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063, así como el análisis comparativo relacionado con durabilidad, estabilidad y aspecto ambiental en relación con otros materiales utilizados en el estudio.

Además, la interpretación de los resultados permite establecer si las propiedades analizadas satisfacen los requerimientos técnicos necesarios para su aplicación en sistemas de cubierta y si el material posee atributos positivos en términos de eficiencia constructiva y sostenibilidad.

La información se organizó mediante tabla y gráficos, para luego interpretarla técnicamente que faciliten una mejor comprensión, mostrando además el análisis de cada ensayo realizado.

4.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS TEJAS

4.2.1. Ensayo de masa

El ensayo de masa fue desarrollado con el propósito de determinar la masa promedio de los materiales empleados como sistema de cubierta, permitiendo establecer diferencias entre los materiales evaluados y caracterizar una de sus propiedades físicas relevantes. Este parámetro resulta importante porque el peso de los materiales de cubierta constituye un factor que debe considerarse en el análisis y diseño de elementos estructurales como vigas, columnas, cerchas y sistemas de soporte, en conjunto con otras variables propias del sistema constructivo.

El proceso experimental se llevó a cabo siguiendo las directrices de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063, lo cual contempla los criterios relacionados con el comportamiento físico y funcional de los materiales bituminosos utilizados en aplicaciones constructivas. Además, la masa de un material tiene una incidencia significativa en cuestiones relacionadas en almacenamiento, transporte y manipulación.

Los materiales de menor peso nos permiten optimizar los procesos constructivos y disminuir esfuerzos estructurales, mientras que los materiales aún más pesados suelen proporcionar mayor rigidez y estabilidad dentro de los sistemas de cubierta.

Tabla 5

Resultados de cada material del ensayo de masa

TEJA	MUESTRA	PESO (Kg)
CERAMICA	1	1,472
	2	1,474
	3	1,465
	4	1,49
	5	1,447
FIBROCEMENTO	1	1,516
	2	1,512
	3	1,529
	4	1,526
	5	1,547

PVC	1	0,159
	2	0,158
	3	0,158
	4	0,153
	5	0,157
ZINC	1	0,246
	2	0,248
	3	0,248
	4	0,249
	5	0,245
ASFALTO	1	0,36
	2	0,364
	3	0,364
	4	0,369
	5	0,353

Los valores obtenidos del ensayo de masa evidencian las diferencias significativas entre los materiales de cubierta evaluadas. El fibrocemento presentó las mayores masas, con valores comprendidos entre 1,512 kg y 1,547 kg, alcanzando un promedio de 1,526, lo que se convierte en el material de mayor peso, generando mayor carga sobre la estructura

La teja de cerámica registro masas entre 1,447 kg y 1,490 kg, con un promedio de 1,4696 kg, siendo el segundo material más pesado. La diferencia de masa entre la cerámica y el fibrocemento fue de apenas 0,0564 kg, lo que demuestra que ambos poseen características estructurales similares en cuanto al peso que transmiten al sistema de cubierta.

Por siguiente, los materiales de PVC y Zinc presentaron las menores masas durante el ensayo. El PVC obtuvo valores entre 0,153 kg y 0,159 kg, con un promedio de 0,157 kg siendo el material más liviano de todos los evaluados. El zinc registro masas comprendidas entre 0,245 kg y 0,249 kg, con un promedio de 0,247 kg, superando al PVC únicamente en 0,090 kg, lo que confirma que ambos materiales reducen considerablemente las cargas permanentes sobre la estructura.

Las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros, las masas obtenidas oscilaron entre 0,353 kg t 0,369 kg, alcanzando un promedio de 0,362 kg. Este valor representa una masa intermedia entre los materiales más pesados y los más livianos, siendo 1,164 kg menor que el fibrocemento, 1,1076 kg menor que la cerámica, 0,205 kg mayor que el PVC y 0,115 kg mayor que el zinc.

Estas diferencias demuestran que las tejas asfálticas modificadas con polímeros constituyen una característica física comparativa del material y puede favorecer aspectos relacionados con el transporte, manipulación e instalación durante su proceso constructivo, los resultados obtenidos aportan información descriptiva para el análisis de su desempeño técnico y su evaluación preliminar dentro de criterios constructivos y de sostenibilidad.

Los resultados obtenidos durante el ensayo de masa se presentan en la tabla 6 permitiendo comparar el peso promedio de los materiales utilizados en sistemas de cubierta y su influencia dentro del comportamiento estructural y constructivo de las edificaciones.

Tabla 6

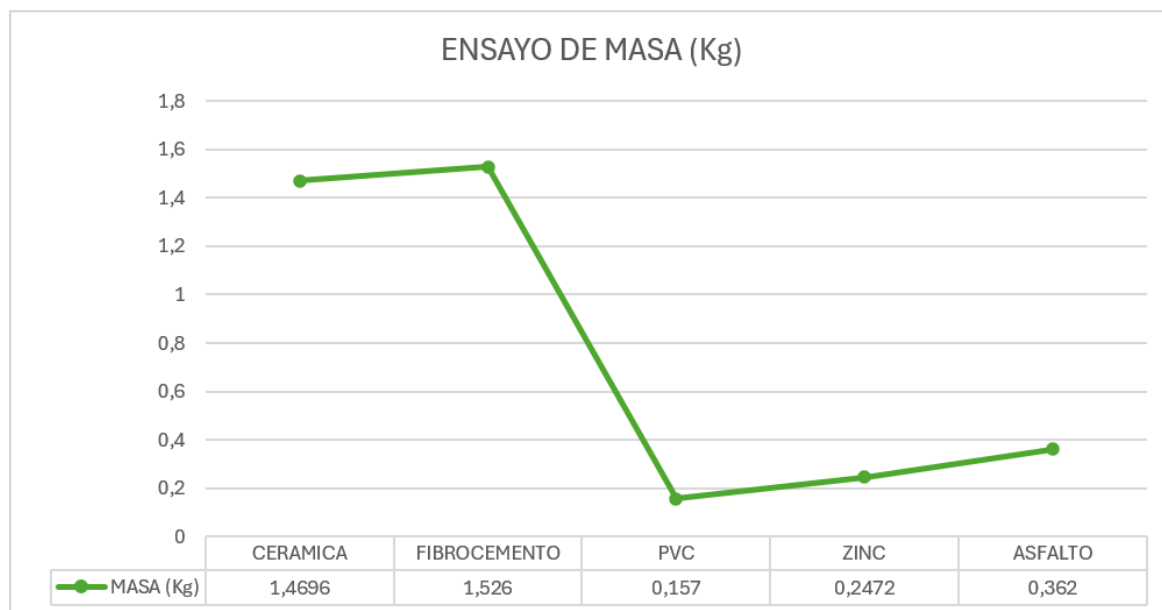
Resultados de ensayo de masa

Material	Masa promedio (kg)	Observación técnica	Cumplimiento NTE INEN 2063
Cerámica	1.4696	Material pesado con buena rigidez estructural.	Si
Fibrocemento	1.526	Presenta mayor carga estructural debido a su peso.	Si
PVC	0.157	Material liviano y de fácil manipulación.	Si
Zinc	0.247	Presenta bajo peso y facilidad constructiva.	Si
Teja asfáltica	0.362	Combina ligereza y resistencia funcional.	Si

Para una mejor interpretación la siguiente gráfica nos presenta en forma comparativa las variaciones de pesos obtenidos en los diferentes materiales de cubierta analizados.

Figura 7

Masa de los materiales de cubierta evaluados



Nota: Gráfica de autoría propia.

4.2.1.1. Interpretación de resultados

Los resultados evidencian diferencias importantes entre los materiales evaluados en relación con su masa promedio. Las tejas de fibrocemento y cerámica presentan los valores más elevados, que nos indica que generan mayores cargas permanentes sobre la estructura de cubierta. Estas características proporcionan buena estabilidad y resistencia física; sin embargo, incrementan las exigencias estructurales y pueden aumentar costos relacionados con elementos de soporte.

Por otro lado, los materiales como el zinc y el PVC tienen una masa mucho más baja, lo que ayuda a disminuir las cargas estructurales y hace más sencillo el transporte y la instalación. Estas características favorecen su empleo en proyectos donde se busca optimizar los tiempos de ejecución y disminuir las solicitaciones transmitidas a la estructura.

En el caso de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros, su masa intermedia proporciona un equilibrio entre impermeabilidad, flexibilidad y facilidad de instalación. Esta combinación de propiedades las convierte en una alternativa competitiva frente a otros materiales utilizados en sistema de cubierta.

Así mismo, desde el punto de vista económico y constructivo, el peso moderado de las tejas asfálticas contribuye a reducir costos asociados a transporte, instalación y diseño estructural, favoreciendo aplicaciones en viviendas y edificaciones ubicadas en zonas costeras donde se requieren materiales resistentes y con una manipulación un poco más fácil y, sobre todo contribuye favorablemente a la sostenibilidad ambiental técnica y económica del sistema de cubierta.

4.2.2. Ensayo de dimensiones

El mencionado ensayo fue realizado con el propósito de verificar las medidas geométricas de los materiales utilizados en cubiertas, permitiendo analizar su uniformidad y compatibilidad dentro de sistemas constructivos. Se llevó a cabo basándose en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063, que define pautas sobre la estabilidad dimensional y el comportamiento físico de materiales bituminosos empleados en construcciones.

Tabla 7

Datos de ensayos de dimensiones

Teja	Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Ancho sup. (cm)	Ancho inf. (cm)	Espesor (mm)	Espesor (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)
Cerámica	1	31	15	16,5	13,9	13,07	1,307	468,1	611,80
	2	30,5	14,9	16,1	13,5	13,09	1,309	452,92	592,87
	3	30,7	15,6	17,3	13,9	13,08	1,308	478,92	626,42
	4	31,5	15,2	17,2	13,9	13,07	1,307	484,31	632,99
	5	30	14,8	17,2	13,8	13,1	1,31	454,5	595,39
Fibrocemento	1	34,5	31	—	—	3,09	0,309	1069,5	330,47
	2	34,5	31	—	—	3,08	0,308	1069,5	329,40
	3	34,8	31	—	—	3,09	0,309	1078,8	333,34
	4	34,8	30,5	—	—	3,1	0,31	1061,4	329,03
	5	35	30	—	—	3,11	0,311	1050	326,55
PVC	1	30,7	30	—	—	0,21	0,021	921	19,34
	2	30,5	30,3	—	—	0,22	0,022	924,15	20,33
	3	30,1	30	—	—	0,22	0,022	903	19,86
	4	30,3	30,1	—	—	0,21	0,021	912,03	19,15

	5	30,5	30,4	—	—	0,22	0,022	927,2	20,39
Zinc	1	30,5	30	—	—	0,1	0,01	915	9,15
	2	30,7	30	—	—	0,1	0,01	921	9,21
	3	30,5	30,1	—	—	0,1	0,01	918,05	9,18
	4	30,4	30	—	—	0,09	0,009	912	8,20
	5	30	30	—	—	0,1	0,01	900	9
Asfalto	1	30,5	30,3	—	—	0,39	0,039	924,15	36,04
	2	30,6	30,5	—	—	0,39	0,039	933,3	36,39
	3	30,5	30,4	—	—	0,39	0,039	927,2	36,16
	4	30,5	30	—	—	0,38	0,038	915	34,77
	5	30,5	30	—	—	0,4	0,04	915	36,6

Tabla 8

Resultados de ensayos de dimensiones

Material	Dimensiones promedio (cm2)	Observación técnica	Cumplimiento NTE INEN 2063
Cerámica	467.75	Dimensiones compactas y buena estabilidad.	Si
Fibro cemento	1065.84	Mayor superficie de cobertura.	Si
PVC	917.47	Dimensiones amplias y facilidad de instalación.	Si
Zinc	913.21	Favorece rapidez constructiva.	Si
Teja asfáltica	922.93	Dimensiones uniformes y funcionales	Si

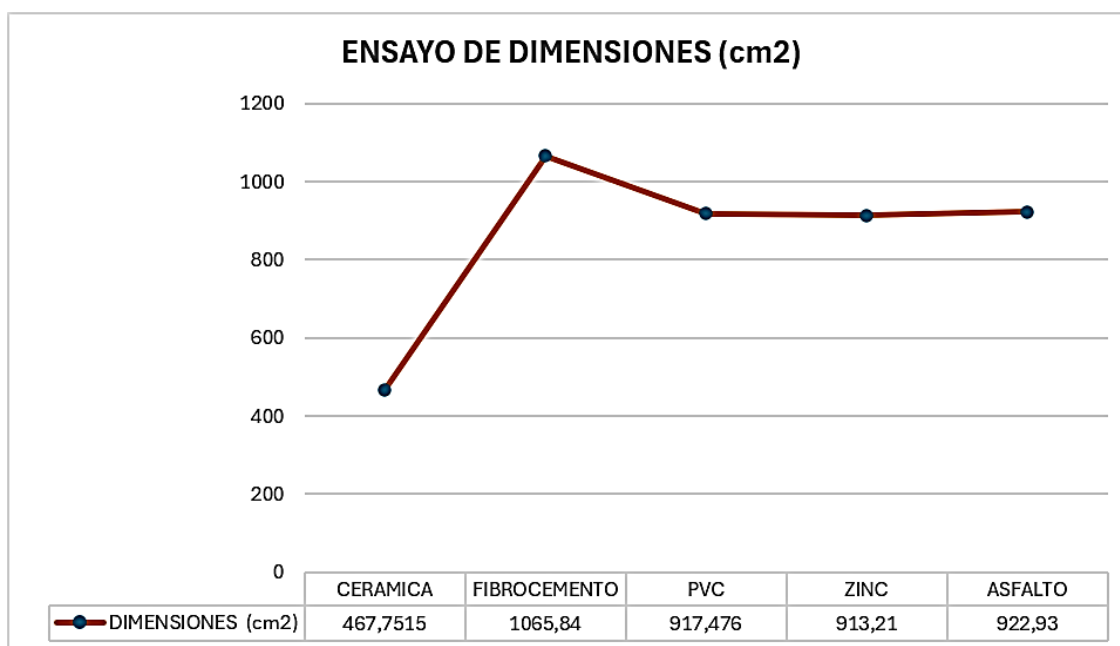
La evaluación dimensional es un factor relevante porque tiene un efecto directo sobre la instalación y el acoplamiento apropiado de los materiales en el sistema de cubierta. El uso de

materiales con dimensiones uniformes hace posible reducir los problemas de filtraciones, deformaciones y pérdida de estabilidad a lo largo del tiempo en que la cubierta está en funcionamiento. En la tabla 8, se presentan los resultados obtenidos durante el ensayo de dimensiones realizados a los materiales utilizados en sistemas de cubierta.

A continuación, se muestra gráficamente la interpretación comparativa de las dimensiones obtenida en los materiales evaluados, y su comportamiento registrado durante el ensayo.

Figura 8

Dimensiones de materiales utilizados para el estudio



Nota: Gráfica de autoría propia.

4.2.2.1. Interpretación de resultados

Los resultados evidencian diferencias significativas entre los materiales analizados en términos de sus dimensiones. Las tejas de fibrocemento tienen la superficie de cobertura más grande, permitiendo disminuir la cantidad de piezas utilizadas dentro del sistema de cubierta y favoreciendo rapidez de instalación.

Las tejas cerámicas tienen un tamaño más pequeño, lo que implica mayor cantidad de unidades durante el proceso constructivo, pesar de que esto puede alargar los plazos de instalación, también brinda una buena adaptación y estabilidad en cubiertas inclinadas.

Para las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto y polímeros, las dimensiones posibilitan una buena distribución y encaje en el sistema de cubierta. Según la Norma Técnica NTE INEN 2063, las muestras analizadas muestran una estabilidad dimensional positiva que nos ayuda a la incrementación de funcionalidad e impermeabilidad del material. Así también, las dimensiones uniformes de las tejas favorecen procesos constructivos más eficientes y permiten optimizar recursos de instalación, constituyendo una alternativa funcional frente a materiales tradicionales utilizados en cubiertas.

4.2.3. Ensayo de espesor

El ensayo de espesor se realizó con la finalidad de evaluar el grosor y la uniformidad física promedio de los materiales tradicionales empleados en sistemas de cubierta. Este parámetro es esencial porque afecta de manera directa la resistencia mecánica, la capacidad aislante y el funcionamiento del material frente a condiciones ambientales en las zonas costeras, así mismo a cargas externas en la edificación.

El procedimiento experimental se realizó tomando como referencia los criterios establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063, la cual contempla parámetros relacionados con la estabilidad física y el desempeño técnico de los materiales bituminosos utilizados en aplicaciones constructivas.

El espesor también tiene un impacto en cuestiones vinculadas con la resistencia al impacto, térmico y la protección contra la humedad. Los materiales que tienen espesores apropiados generalmente muestran una mayor resistencia al desgaste causado por la exposición prolongada al medio ambiente y una mejor capacidad de preservación.

Además, el espesor está directamente relacionado con la durabilidad de los sistemas de cubierta y su estabilidad dimensional, puesto que los materiales con una uniformidad física apropiada tienen la capacidad de mantener sus propiedades funcionales durante más tiempo y reducir problemas de alabeo y fisuración.

Tabla 9

Resultados de cada material utilizado en ensayo de espesor

TEJA	MUESTRA	ESPESOR (mm)
------	---------	-----------------

CERAMICA	1	13,07
	2	13,09
	3	13,08
	4	13,07
	5	13,1
FIBROCEMENTO	1	3,09
	2	3,08
	3	3,09
	4	3,1
	5	3,11
PVC	1	0,21
	2	0,22
	3	0,22
	4	0,21
	5	0,22
ZINC	1	0,1
	2	0,1
	3	0,1
	4	0,09
	5	0,1
ASFALTO	1	0,39
	2	0,39
	3	0,39
	4	0,38
	5	0,4

Los resultados en ensayo de espesor evidencian diferencias entre los materiales de cubierta evaluados, las cuales están relacionadas con sus características de fabricación y su comportamiento durante el servicio. El espesor es una propiedad importante, influyen en la resistencia mecánica, la rigidez, la durabilidad y el desempeño funcional de los sistemas de cubierta. Las tejas cerámicas presentaron los mayores espesores, con valores entre 13,07 mm y 13,10 mm, registrando un promedio aproximado de 13,08 mm. Estas características proporcionan una mayor rigidez y un mayor desempeño, aunque incrementa el peso del material y, en consecuencia, las cargas permanentes que actúan sobre la estructura.

Las tejas de fibrocemento registran espesores entre 3,09 mm y 3,11 mm, con un promedio cercano a 3,10 mm, siendo considerablemente menores que los de la cerámica. Este espesor permite mantener una adecuada resistencia estructural con un menor peso, favoreciendo su aplicación en diversos sistemas de cubierta.

Las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros presentaron espesores entre 0,39 mm y 0,4 mm, con un promedio aproximado de 0,39 mm, superior al de fibrocemento y al de los materiales metálicos plásticos. Este espesor proporciona un cierto equilibrio entre flexibilidad, resistencia e impermeabilidad, contribuyendo su adecuado desempeño ante las condiciones climáticas que presenta el país.

Las tejas de PVC obtuvieron espesores entre 0,21 mm y 0,22 mm, con un promedio de 0,22 mm, mientras que las tejas de zinc registraron los menores valores del estudio, con espesores comprendidos entre 0,1 mm y 0,9 mm, alcanzando un promedio aproximado de 0,10 mm. Estos menores espesores reducen el peso propio de la cubierta y facilitan su manipulación e instalación, sin embargo, pueden hacer que este material sea más susceptible a deformaciones cuando están sometidos a las cargas concentradas o impactos.

Los resultados evidenciados demuestran que cada material posee espesores acordes con su proceso de fabricación y su aplicación constructiva. La teja fabricada con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros presenta un espesor intermedio, superior al de fibrocemento, PVC y Zinc, e inferior al de la cerámica, lo que favorece un equilibrio entre resistencia física, con la facilidad de instalación y desempeño funcional como sistema de cubierta. Los resultados obtenidos durante el ensayo de espesor se presentan en la tabla 10 permitiendo comparar el comportamiento físico y la uniformidad de los materiales evaluados en la presente investigación.

Tabla 10

Resultado de ensayos de espesor

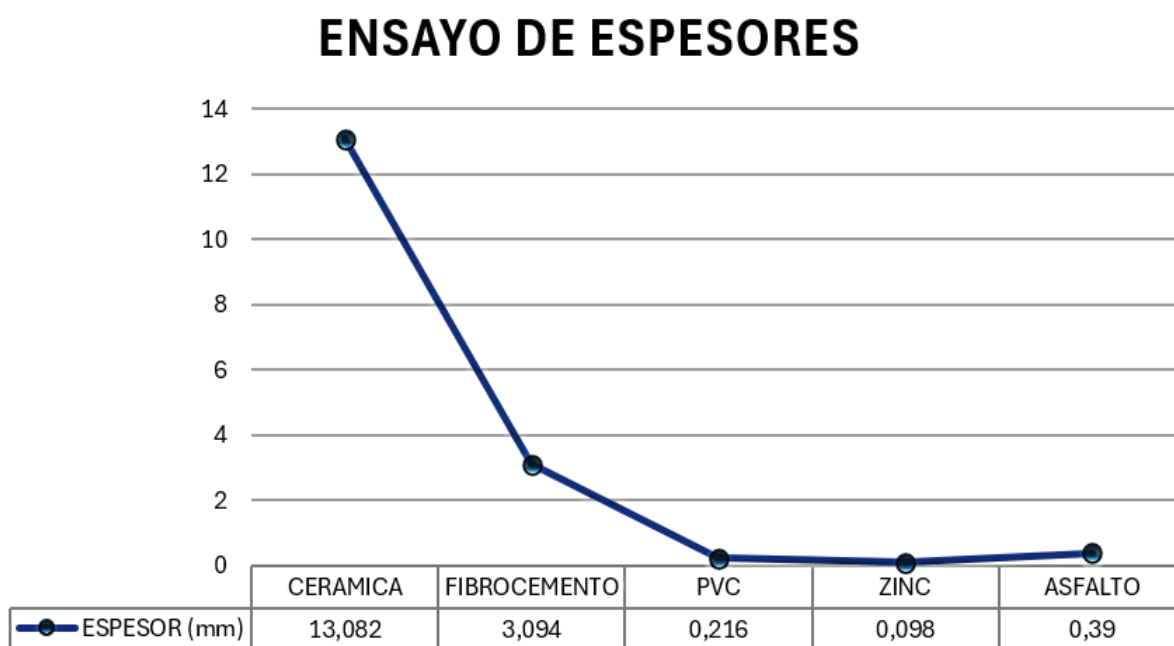
Materiales	Espesor promedio (mm)	Observación técnica	Cumplimiento NTE INEN 2063
Cerámica	13.08	Presenta gran espesor y alta rigidez	Si

Fibro cemento	3.10	Material resistente con espesor uniforme	Si
PVC	0.22	Espesor reducido y comportamiento flexible	Si
Zinc	0.10	Material delgado y liviano	Si
Teja asfáltica	0.39	Presenta espesor uniforme y flexible	Si

Con el propósito de visualizar comparativamente las variaciones de espesor registradas en los diferentes materiales analizados, se presenta el siguiente gráfico.

Figura 9

Espesores de materiales utilizados en este estudio



Nota: Gráfica de autoría propia.

4.2.3.1. Interpretación de resultados

Los resultados demuestran que las tejas de cerámica tienen el mayor espesor entre los materiales analizados, lo cual les confiere una adecuada resistencia estructural y rigidez. No obstante, estas características aumentan el peso total del sistema de cubierta y pueden dar lugar a un aumento

en los gastos asociados con el transporte, la instalación y las necesidades estructurales. A pesar de que la resistencia es beneficiosa, el mayor espesor puede complicar los procesos de construcción y alargar el plazo de ejecución en la obra.

Por otro lado, los materiales como el PVC y zinc presentan espesores reducidos, favoreciendo ligereza y facilidad constructiva. Aunque poseen menor grosor, mantienen propiedades funcionales adecuadas para aplicaciones en cubiertas ligeras y estructuras de rápida ejecución.

Para las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto y polímeros, se observa que el espesor es uniforme la cual ayuda a mejorar la estabilidad funcional, la impermeabilidad y la flexibilidad de este material. Estas cualidades propician que su conducta se adapte a las condiciones cambiantes del medio ambiente y posibilitan un desempeño apropiado durante su vida útil dentro del sistema de cubierta.

4.2.4. Ensayo de absorción de agua

El ensayo de absorción de agua fue realizado con la finalidad de evaluar la capacidad de los materiales de cubierta para resistir la penetración y retención de humedad, aspecto fundamental dentro del desempeño funcional y durabilidad de los sistemas de techado. La absorción representa un parámetro importante debido a que un material, con elevada retención de agua puede experimentar deterioro progresivo, pérdida de resistencia y reducción de su vida útil frente a condiciones ambientales adversas.

En edificaciones ubicadas en zonas costeras, donde predominan condiciones de alta humedad, precipitaciones frecuentes y exposición constante a agentes climáticos, la capacidad de un material para limitar la absorción de agua constituye un factor determinante en la conservación y estabilidad del sistema de cubierta. Por esta razón, el análisis comparativo, entre diferentes materiales permite identificar aquellos que presentan un comportamiento más favorable frente a la acción del agua.

La absorción de agua constituye un indicador sustancial que permite medir la capacidad de las tejas asfálticas poliméricas para resistir la acción de la humedad. Valores bajos representan una mayor impermeabilidad, estabilidad dimensional y desempeño a largo plazo como sistema de cubierta.

El procedimiento experimental consistió en tomar 2 muestras de cada material y determinar la variación de masa antes y después de ser sometidas a inmersión de agua durante un tiempo controlado. Posteriormente, mediante la diferencia entre masa seca y masa húmeda, se calculó el porcentaje de absorción correspondientes a cada material evaluado. La absorción de agua fue calculada mediante la siguiente expresión:

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{Mh - Ms}{Ms} * 100$$

Donde:

- Mh = Masa húmeda de la muestra después de la inmersión.
- Ms = Masa seca inicial de la muestra.

Esta fórmula permitió que se calculara el porcentaje de agua que cada material absorbía en relación con su masa seca inicial, lo cual ayudó a hacer un análisis técnico comparativo entre los diferentes sistemas de cubiertas analizados. La tabla 11 presenta los hallazgos del ensayo de absorción de agua, donde se examina cómo cada material responde a la exposición al agua y cuál es su capacidad para absorber humedad.

Tabla 11

Resultados de ensayo de absorción de agua

Material	Masa seca (Kg)	Masa húmeda (Kg)	Absorción (%)	Interpretación técnica	Norma NTE INEN 2063 Cumplimiento
Cerámica	1,4695	1,64	11,61	Alta absorción debido a su composición porosa, susceptible a retención de humedad.	Si
Fibro cemento	1,5205	1,6	5,23	Absorción moderada, mantiene comportamiento funcional aceptable frente a humedad.	Si

PVC	0,158	0,158	0,00	Material impermeable con nula absorción de agua.	Si
Zinc	0,248	0,248	0.00	Material impermeable con nula absorción de agua.	Si
Teja asfáltica	0,364	0,373	2,47	Presenta baja absorción y adecuado comportamiento impermeabilizante.	Si

El gráfico representa una interpretación comparativa de los porcentajes de absorción de agua registrados en los materiales evaluados.

Figura 10

Absorción de materiales utilizados para el estudio



Nota: Gráfica de autoría propia.

4.2.4.1. Interpretación de resultados

Los resultados del ensayo de absorción de agua evidencian diferencias importantes entre los materiales evaluados respecto a su capacidad de retener humedad. La cerámica presentó el porcentaje de absorción más elevado con un valor de 11,61 %, comportamiento asociado

principalmente a la porosidad natural del material. Esta característica puede influir en procesos de deterioro progresivo cuando las cubiertas permanecen expuestas constantemente a lluvia, humedad ambiental y variaciones térmicas especialmente en zonas costeras.

El fibrocemento presentó una absorción promedio de 5,23 %, ubicándose por debajo de la cerámica, pero mostrando una mayor capacidad de retención de humedad en comparación con los materiales poliméricos y metálicos evaluados. Este comportamiento está relacionado con la presencia de una matriz cementicia con microporos que permite cierta penetración de agua, lo cual puede influir en sus propiedades físicas y durabilidad durante periodos prolongados de exposición.

En el caso del PVC y el zinc, ambos materiales registraron una absorción de 0,00 %, debido a que no presentaron variación de masa después del ensayo. Este resultado evidencia su comportamiento impermeable, asociado a la baja porosidad del PVC y a la naturaleza metálica no absorbente del zinc, donde la ausencia de incremento de peso confirma que no existe una absorción interna significativa de agua bajo las condiciones evaluadas.

Las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros tuvieron un porcentaje de absorción de agua del 2,47%, que es inferior al que se obtiene en otros materiales tradicionales como cerámica y el fibrocemento. La alteración con polímeros mejora la resistencia del material a la penetración de humedad, como lo demuestra esta conducta. Esto beneficia tanto su durabilidad como su rendimiento técnico en aplicaciones de recubrimientos que están expuestas a condiciones ambientales exigentes.

Lo mencionado anteriormente se logra debido a que los polímeros modifican la estructura del asfalto generando una reducción de la porosidad, aumento de flexibilidad, mejora la adherencia e incrementa la resistencia al envejecimiento.

4.2.5. Ensayo de impermeabilidad

El propósito de este ensayo es determinar la capacidad que tienen los materiales usados en cubiertas para evitar que el agua se filtre por su superficie. Esta propiedad es uno de los elementos fundamentales en el funcionamiento de un sistema de cubierta, ya que asegura la defensa de la estructura y los espacios internos contra filtraciones, humedad y daños causados por los factores climáticos que se presentan en las zonas costeras.

La durabilidad y la funcionalidad de las cubiertas dependen directamente de la impermeabilidad, porque los materiales con baja resistencia al paso del agua pueden tener dificultades vinculadas a filtraciones, formación de humedad, deterioración de acabados y disminución del tiempo útil.

Este ensayo fue realizado considerando los lineamientos técnicos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063, la cual establece criterios relacionados con el comportamiento y el desempeño de los materiales bituminosos utilizados en aplicaciones constructivas. En la siguiente tabla 12, se muestran los resultados del ensayo de impermeabilidad, lo que posibilita examinar la habilidad de los materiales para evitar el paso del agua y mantener condiciones óptimas de protección en los sistemas de cubierta.

Tabla 12

Resultados del ensayo de impermeabilidad

Material	Resultado del ensayo	Comportamiento observado	Interpretación técnica	Norma NTE INEN 3063 Cumplimiento
Cerámica	Ligera impermeabilidad	Retención parcial de humedad	Material funcional, aunque puede absorber agua con el tiempo.	Si
Fibrocemento	Impermeabilidad moderada	Absorción limitada	Requiere mantenimiento para evitar deterioro por humedad.	Si
PVC	Alta impermeabilidad	No presenta filtraciones	Excelente comportamiento frente al agua.	Si
Zinc	Impermeabilidad moderada	Absorción limitada	Material moderadamente impermeable.	Si
Teja asfáltica	Alta impermeabilidad	Baja absorción y adecuada protección	Comportamiento favorable frente a humedad y lluvia.	Si

4.2.5.1. Interpretación de resultados

Los resultados evidencian que los materiales analizados presentan distintos comportamientos en relación con la impermeabilidad. Las tejas de PVC y zinc, al no mostrar filtraciones a la vista o alteraciones vinculadas con el flujo del agua, demostrando una gran capacidad de impermeabilidad ante condiciones humedad, por lo que fueron las que mejor se comportaron a lo largo de la prueba.

Por otra parte, a lo largo del ensayo, las tejas de fibrocemento y cerámica mostraron un determinado nivel de retención superficial de humedad. Aunque los dos materiales llevan a cabo su función como sistema de cubierta, la capacidad para detener el agua depende en gran parte de aspectos como la instalación adecuada, el mantenimiento realizado y las condiciones ambientales a las que están sometidos a lo largo de su vida útil.

En cuanto a las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros, los resultados evidenciaron un comportamiento favorable en el ensayo de impermeabilidad, ya que durante la evaluación no se detectan filtraciones significativas ni alteraciones visibles en el material.

De acuerdo con los criterios técnicos establecidos en la NTE INEN 2063, el material nos presenta condiciones adecuadas de protección frente al ingreso de agua, favoreciendo la durabilidad y funcionalidad del sistema de cubierta.

Asimismo, el asfalto modificado con polímeros mejora la capacidad de impermeabilización del material, lo que nos permite que este resista mejor las precipitaciones y las variaciones climáticas. Desde la perspectiva técnica y constructiva, estas propiedades constituyen un beneficio significativo porque contribuyen a mantener la integridad de la cubierta y rebajar los peligros relacionados con el deterioro prematuro de la edificación y la humedad.

4.2.6. Ensayo de resistencia a la intemperie

El ensayo de evaluación visual exploratoria de resistencia a la intemperie fue realizado con la finalidad de evaluar el comportamiento de los materiales de cubierta frente a condiciones ambientales que puede influir en su deterioro físico y funcional a lo largo del tiempo. Este ensayo permitió analizar la capacidad de los materiales para resistir la exposición a factores

como radiación solar, humedad, variaciones térmicas y agentes atmosféricos presentes en ambientes exteriores.

Las tejas que se emplean en cubiertas, debido a su exposición permanente al entorno, tienen que mantener sus características ante la influencia de la humedad, los cambios de temperatura y la radiación solar, elementos que pueden acelerar su degradación y reducir su vida útil. Para ello, el ensayo de resistencia a la intemperie posibilita hacer una evaluación de la capacidad del material para sostener su funcionalidad y estabilidad en situaciones climáticas desfavorables.

Durante el desarrollo del ensayo, las muestras fueron sometidas a exposición ambiental controlada durante un período de 35 días, efectuando inspecciones periódicas cada 7 días con el propósito de identificar posibles alteraciones relacionadas con cambio de color, deformaciones, fisuras, pérdida de recubrimiento, oxidación o deterioro superficial del material.

Tabla 13

Resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la intemperie – 7 días

Material	Comportamiento observado	Alteraciones visibles	Interpretación técnica
Cerámica	Comportamiento estable	Sin alteraciones	Adecuada resistencia inicial
Fibro cemento	Estable	Ligera pérdida de color	Inicio de desgaste superficial
PVC	Mínimo cambio superficial	Pérdida mínima de brillo	Sensibilidad inicial a radiación UV
Zinc	Superficie estable	Sin oxidación visible	Buen comportamiento inicial
Teja asfáltica	Integridad conservada	Sin alteraciones	Adecuada estabilidad frente a humedad

Durante los primeros 7 días de exposición ambiental, la mayoría de los materiales mantuvieron estabilidad superficial y funcional. Las tejas de cerámica y las elaboradas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros conservaron sus características superficiales durante los primeros siete días de exposición, sin apreciarse cambios visibles que afectaran su estado. Estos resultados evidencian un comportamiento estable frente a la acción inicial de la humedad y la radiación solar.

En las tejas de PVC y fibrocemento se identificaron ligeras alteraciones superficiales, reflejadas principalmente en una leve pérdida de brillo y pequeñas variaciones en la coloración. El zinc, por su parte, mantuvo su estabilidad superficial y no mostró evidencias significativas de oxidación. En general, estos hallazgos muestran que los materiales mantuvieron un desempeño funcional satisfactorio en la fase inicial de exposición.

Tabla 14

Resultados del ensayo de resistencia a la intemperie – 14 días

Material	Comportamiento observado	Alteraciones visibles	Interpretación técnica
Cerámica	Estable	Sin cambios significativos	Conserva propiedades superficiales
Fibrocemento	Ligero desgaste	Decoloración leve	Inicio de deterioro superficial
PVC	Variación leve de color	Perdida parcial de brillo	Sensibilidad moderada a UV
Zinc	Estable	Oxidación superficial mínima	Resistencia estable
Teja asfáltica	Estabilidad funcional	Sin fisuras ni deformaciones	Buen comportamiento ambiental

Después de 14 días de exposición, algunos materiales empezaron a mostrar pequeñas alteraciones en su superficie.

Debido a la exposición constante a la radiación solar, el fibrocemento muestra un incremento en la decoloración. El PVC, por su parte, ha tenido una ligera reducción adicional en el brillo.

Las tejas asfálticas modificadas con polímeros mantuvieron su estabilidad física, no mostraron deformaciones y conservaron sus propiedades funcionales a pesar de las condiciones ambientales propias de las áreas costeras.

Tabla 15

Resultados del ensayo de resistencia a la intemperie – 21 días

Material	Comportamiento observado	Alteraciones visibles	Interpretación técnica
Cerámica	Conserva estabilidad	Alteraciones mínimas	Alta resistencia climática
Fibrocemento	Desgaste moderado	Mayor decoloración	Afectación progresiva
PVC	Pérdida visible de brillo y sensibilidad frente a radiación solar	Cambio leve de tonalidad	Sensibilidad frente a exposición prolongada
Zinc	Conserva funcionalidad	Presencia leve de oxidación	Resistencia adecuada
Teja asfáltica	Integridad conservada	Sin deterioro significativo	Buen desempeño técnico

Tras cumplirse los 21 días de exposición, se observará un aumento progresivo del desgaste superficial, en algunos materiales.

En lo que, respecto al zinc, se empezaron a notar ligeras señales de oxidación en la superficie, mientras que el PVC mostró una pérdida del brillo más notorio en relación con las evaluaciones efectuadas en días anteriores.

Por el contrario, las tejas de cerámica y asfálticas no se observaron fisuras ni deformaciones y mantuvieron su estabilidad estructural y funcional sin sufrir deterioro importante por la humedad o la radiación solar.

Tabla 16

Resultados del ensayo de resistencia a la intemperie – 35 días

Material	Comportamiento observado	Alteraciones visibles	Interpretación técnica	Cumple NTE INEN 2063
Cerámica	Comportamiento estable	No presenta alteraciones significativas	Alta resistencia frente a exposición ambiental	Sí
Fibrocemento	Ligero desgaste superficial	Presencia mínima de decoloración	Resistencia aceptable frente a intemperie	Sí
PVC	Variación leve de color	Ligera pérdida de brillo superficial	Material sensible a exposición prolongada UV	Sí
Zinc	Conservó estabilidad superficial	Presencia leve de oxidación superficial	Buen comportamiento frente a agentes climáticos	Sí
Teja asfáltica	Integridad funcional optimo	Sin fisuras ni deformaciones significativas	Adecuada resistencia frente a humedad y radiación solar	Sí

Al concluir el periodo de exposición de 35 días, las tejas asfálticas modificadas con polímeros conservaron un comportamiento positivo frente a las condiciones ambientales evaluadas, demostrando una adecuada resistencia a la humedad, la radiación solar y las variaciones de temperatura.

Por otro lado, el PVC, el fibrocemento y el zinc mostró pequeñas modificaciones en la superficie, sobre todo relacionado con la decoloración, el desgaste y una oxidación moderada, no obstante, todos mantuvieron un desempeño funcional adecuado como sistema de cubierta.

Sin embargo, las tejas asfálticas destacaron por mantener estabilidad física y ausencia de deterioro significativo durante el ensayo.

4.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE A LA INTEMPERIE

Para representar gráficamente el comportamiento de los materiales durante el ensayo de resistencia a la intemperie, se estableció una escala cualitativa-numérica basada en el nivel de alteración observado en cada periodo de exposición.

La evaluación corresponde a una valoración visual semicuantitativa y exploratoria; por lo tanto, los términos utilizados describen el nivel de alteración superficial observado bajo condiciones controladas de inspección visual y no constituyen una medición instrumental de color, brillo o degradación superficial.

Tabla 17

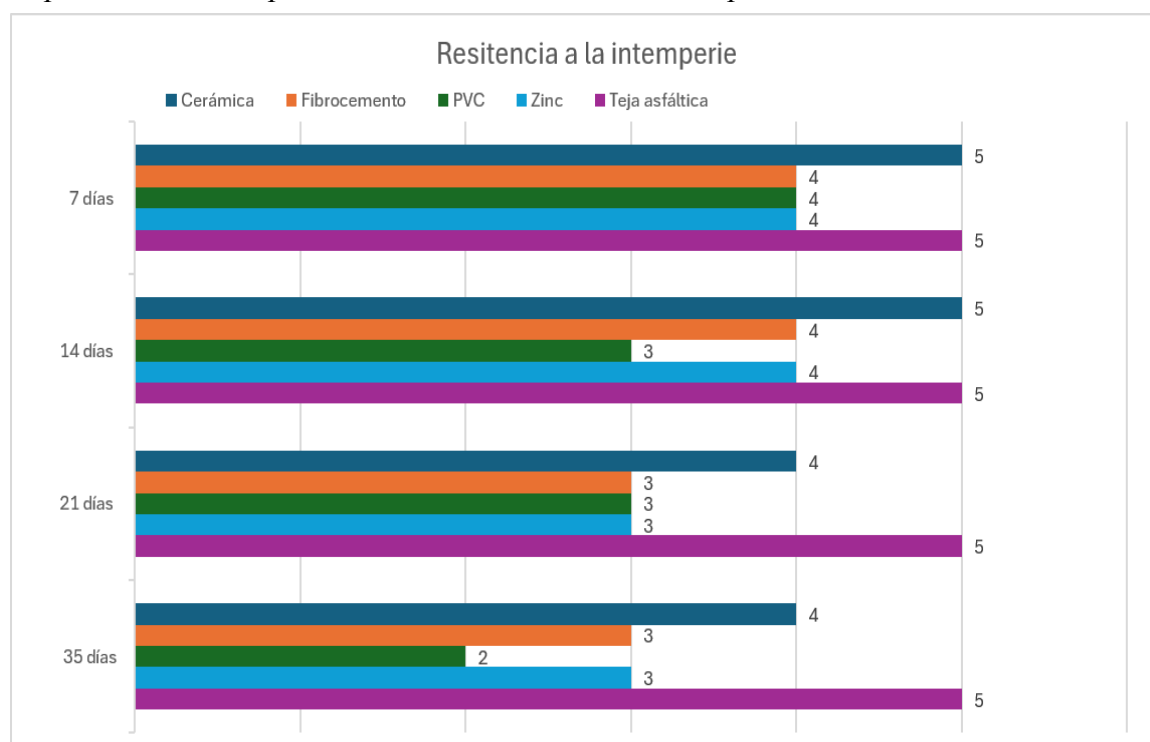
Escala de evaluación del comportamiento frente a la intemperie

Valor	Clasificación	Características observadas
5	Estabilidad muy alta	Sin fisuras, sin deformaciones, sin cambios visibles de color ni pérdida apreciable de brillo
4	Estabilidad alta	Cambios superficiales apenas perceptibles, sin afectar la forma ni la funcionalidad de la muestra.
3	Estabilidad media	Presencia visible de ligera pérdida de brillo o variación leve de color en menos del 25% de la superficie observada.
2	Estabilidad baja	Decoloración evidente, pérdida visible de brillo, desgaste superficial o pequeñas deformaciones localizadas.
1	Deterioro severo	Fisuras, deformaciones importantes, desprendimientos o alteraciones que afectan la estabilidad y funcionalidad del material.

Los resultados representados en la gráfica muestran que las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros presentaron el comportamiento más estable durante el periodo de exposición, manteniendo sus características físicas y funcionales. Al momento de efectuar la comparación, las tejas de cerámica tuvieron un comportamiento adecuado; por otro lado, el fibrocemento, el PVC y el zinc mostraron una reducción paulatina en su estabilidad a medida que la exposición aumento.

Figura 11

Comparación del comportamiento de materiales vs. intemperie



Nota: Gráfica de autoría propia.

De igual manera, las tejas asfálticas son una opción apropiada para sistemas de cubierta en áreas costeras, gracias a su resistencia ante agentes climáticos, su longevidad y la disminución de las necesidades de mantenimiento. Estas características influyen positivamente en el rendimiento técnico, económico y sostenible del material.

4.3.1. Interpretación de resultados

Los resultados del ensayo de resistencia a la intemperie evidencian diferencias progresivas en el comportamiento de los materiales frente a condiciones ambientales como humedad, radiación solar y variaciones térmicas. La cerámica conservó sus características físicas y el estado de su

superficie durante todo el periodo de evaluación, sin presentar cambios visibles que afectaran su comportamiento.

A diferencia de las tejas asfálticas, el PVC, el fibrocemento y el zinc presentaron alteraciones superficiales que se hicieron más evidentes con el transcurso del periodo de exposición. Entre las principales variaciones se observaron pérdida de brillo, cambios leves de color, desgaste superficial y, en el caso del zinc, la aparición de indicios de oxidación. Estos resultados evidencian el efecto de la humedad y la radiación solar sobre el deterioro progresivo de estos materiales.

Durante los 35 días de evaluación, las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros conservaron su estabilidad estructural, sin presentar fisuras ni deformaciones de importancia. Los resultados obtenidos indican que la incorporación de polímeros mejora el comportamiento del material frente a las condiciones ambientales características de las zonas costeras, contribuyendo a su durabilidad y a un adecuado desempeño como sistema de cubierta.

4.4. ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD DESDE EL ASPECTO SOCIAL

Los resultados de la presente investigación nos permiten desarrollar una aproximación al componente social de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros, considerando los resultados técnicos obtenidos en laboratorio y la percepción de los participantes encuestados sobre este tipo de material para cubiertas en zonas costeras.

Las propiedades evaluadas mediante los ensayos de absorción de agua, impermeabilidad y resistencia a la intemperie demostraron un comportamiento técnico adecuado frente a condiciones de humedad, lluvia y exposición ambiental. Estos resultados sugieren que el material posee características funcionales favorables para su aplicación en sistemas de cubiertas expuestos a condiciones climáticas.

La capacidad de impermeabilizante observada durante los ensayos podría contribuir a reducir la presencia de filtraciones y acumulación de humedad en la cubierta; sin embargo, la presente investigación no incluyó mediciones directas de confort térmico, habitabilidad, salubridad ni evaluaciones de desempeño en viviendas reales, por lo que dichos aspectos no pueden establecerse de manera concluyente.

Asimismo, coma la menor más observada en comparación con materiales como la cerámica y el fibrocemento puedes facilitar las actividades de transporte, manipulación e instalación durante el proceso constructivo, representando una ventaja operativa para la ejecución de cubiertas.

Con el propósito de complementar el análisis social coma se aplicó una encuesta a 60 participantes orientada a conocer el nivel de conocimiento como a las preferencias como a la percepción y la disposición de uso de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto y polímeros.

Los resultados de la encuesta permitieron Identificar el grado de aceptación potencial del material y la percepción de los participantes respecto a sus características funcionales y de uso en zonas costeras. No obstante, la información ha obtenido corresponde percepciones y opiniones de los encuestados, por lo que no constituye evidencia suficiente para demostrar mejores reales en confort térmico, habitabilidad, seguridad constructiva, desempeño integral de las edificaciones.

Tabla 18

Resultados de la encuesta

Pregunta	Alternativa de respuesta	F	%
1. ¿Conoce las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto y polímero?	Sí	28	46.67
	No	32	53.33
2. ¿Qué aspecto considera más importante al elegir un material para la cubierta de una vivienda?	Durabilidad	39	65.00
	Resistencia al clima	14	23.33
	Precio	6	10.00
	Ahorro de mantenimiento	1	1.67
	Apariencia	0	0.00
	Muy importante	39	65.00

3. ¿Considera importante utilizar materiales de construcción que sean amigables con el medio ambiente?	Importante	17	28.33
	Indiferente	2	3.33
	Poco importante	0	0.00
	Nada importante	2	3.33
4. Si un material ofrece mayor durabilidad y menor mantenimiento, aunque tenga un costo inicial ligeramente mayor, ¿lo elegiría?	Sí	41	68.33
	Tal vez	13	21.67
	No	6	10.00
5. ¿Qué tan dispuesto estaría a utilizar tejas asfálticas modificadas con polímeros en su vivienda?	1 = Nada dispuesto	6	10.00
	2 = Poco dispuesto	2	3.33
	3 = Neutral	28	46.67
	4 = Dispuesto	14	23.33
	5 = Muy dispuesto	10	16.67
6. ¿Qué beneficios cree que ofrecerían estas tejas?	Mayor impermeabilidad	27	45.00
	Mayor vida útil	19	31.67
	Mayor resistencia al clima	18	30.00
	Menor mantenimiento	12	20.00
	Mejor apariencia	7	11.67
	No conozco sus beneficios	12	20.00
7. En una escala de 1 a 5, ¿considera que este tipo de teja	1 = Totalmente en desacuerdo	6	10.00

podría ser una buena alternativa para la construcción sostenible en Ecuador?	2 = En desacuerdo	5	8.33
	3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo	14	23.33
	4 = De acuerdo	20	33.33
	5 = Totalmente de acuerdo	15	25.00

4.4.1. Interpretación de resultados de la encuesta

Los resultados de la encuesta permitieron conocer el nivel de conocimiento y la percepción de la población respecto a las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros. Se evidenció que una parte importante de los encuestados aún no conoce este tipo de material; sin embargo, la mayoría considera que la durabilidad, la resistencia al clima y el empleo de materiales amigables con el medio ambiente son aspectos relevantes al momento de seleccionar un sistema de cubierta.

De igual manera, predominó una disposición favorable para utilizar un material que ofrezca mayor durabilidad y menores requerimientos de mantenimiento, aun cuando implique un costo inicial ligeramente superior. Respecto a los beneficios percibidos, la impermeabilidad, la vida útil y la resistencia al clima fueron las características más valoradas por los participantes. Cabe señalar que, en la pregunta 6, los encuestados pudieron seleccionar más de una alternativa de respuesta, por lo que la suma de las frecuencias y porcentajes supera el número total de participantes. Finalmente, la mayoría manifestó una percepción favorable sobre el empleo de estas tejas como una alternativa para la construcción sostenible en el Ecuador. En conjunto, estos resultados complementan el análisis de sostenibilidad desde el aspecto social, al evidenciar una aceptación positiva hacia las características y el potencial de aplicación de este material en edificaciones.

4.5. ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD DESDE EL ASPECTO ECONÓMICO

Desde el enfoque económico, los resultados de la investigación evidencian que las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros presentan ventajas

importantes relacionadas con costos de instalación, mantenimiento, durabilidad y comportamiento funcional dentro de sistemas de cubierta.

El análisis costo-beneficio fue realizado con la finalidad de evaluar la viabilidad del material en relación con costos de instalación, mantenimiento y vida útil dentro de edificaciones ubicadas en zonas costeras. Se evaluó el rendimiento económico de las tejas asfálticas en contraste con otros materiales de cubierta que se utilizan convencionalmente en entornos con alta exposición solar, humedad y salinidad.

Las diferencias observadas en el peso, la facilidad de ensamblaje y los requisitos de mantenimiento de los materiales, que afectan directamente al costo total del proyecto de construcción, fueron evidenciadas por los resultados de análisis comparativo.

Las condiciones climáticas presentes en regiones costeras generan un mayor nivel de desgaste en materiales de cubierta, incrementando frecuencias de mantenimiento, reparaciones y sustitución de elementos deteriorados. En este contexto, la utilización de materiales con mayor durabilidad y resistencia ambiental puede representar una reducción significativa de costos.

En la tabla 19 se presenta los resultados de la investigación desde el ámbito económico, permitiendo comparar aspectos relacionados con costos de instalación, mantenimiento, durabilidad y eficiencia constructiva de los materiales evaluados.

Tabla 19

Comparativa económica de materiales de cubierta

Material	Costo aproximado por m ²	Mantenimiento	Durabilidad estimada	Interpretación económica
Cerámica	25,00-35,00	Medio	Alta	Requiere mayor inversión estructural e instalación más compleja
Fibrocemento	12,00-18,00	Medio	Media	Presentan costos moderados, pero requiere

				mantenimiento periódico
PVC	10,00-15,00	Bajo	Alta	Material liviano con menor costo de mantenimiento
Zinc	13,00-17,00	Medio	Media	Fácil instalación, aunque puede requerir protección frente a corrosión
Teja asfáltica	11,00-16,00	Bajo	Alta	Presenta equilibrio favorable entre costo, instalación y durabilidad

4.5.1. Interpretación de resultados

Los resultados comparativos evidencian que las tejas de cerámica presentan mayores costos relacionados con transporte, instalación y requerimientos estructurales debido a su elevado peso y espesor. Aunque este material posee buena resistencia y durabilidad, su manipulación y colocación requieren mayor tiempo y mano de obra especializada, incrementando el costo general de construcción.

En el caso de fibrocemento, aunque presenta costos iniciales moderados, su comportamiento frente a humedad y exposición ambiental puede generar gastos adicionales relacionados con mantenimiento preventivo y correctivo durante el tiempo de servicio de la cubierta. Por otra parte, los materiales metálicos como el zinc presentan facilidad de instalación y bajo peso estructural; sin embargo, en zonas costeras pueden verse afectados por procesos de corrosión ocasionados por humedad y salinidad ambiental, lo que incrementa necesidades de mantenimiento y protección superficial a largo plazo.

Respecto al PVC, este material presenta ventajas relacionadas con ligereza, impermeabilidad y facilidad de instalación. Aunque tiene beneficios técnicos, el costo inicial de este material suele ser más alto que el de algunos sistemas de cubierta tradicionales, lo cual puede afectar la decisión de usarlo en ciertos proyectos de construcción.

Por otro lado, las tejas que están compuestas por láminas troqueladas de asfalto modificado con polímeros presentan una opción competitiva en términos económicos, pues logran equilibrar adecuadamente el costo de la inversión con propiedades de durabilidad y una vida útil favorable. Su peso intermedio contribuye a disminuir exigencias estructurales y facilita los procesos de transporte e instalación, permitiendo reducir tiempos de ejecución y costos asociados a mano de obra.

Asimismo, las propiedades de impermeabilidad y resistencia a la intemperie observadas durante los ensayos efectuados permiten disminuir gastos futuros relacionados con filtraciones, reparaciones y reemplazo prematuro de cubiertas. Esto representa un beneficio económico importante para propietarios y usuarios finales, debido a que contribuye a prolongar la vida útil del sistema constructivo y reducir costos de mantenimiento.

El desarrollo de las actividades de construcción se ve favorecido por la sencillez en la instalación y manipulación de las tejas asfálticas que han sido modificadas con polímeros. Esta propiedad ayuda a hacer más eficientes el uso de recursos y mejora la eficiencia en proyectos tanto comerciales como residenciales.

En términos generales, el estudio muestra que las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros son una opción económicamente factible para sistemas de cubierta, en particular en zonas costeras. Esto se debe a la adecuada combinación del costo de inversión, la durabilidad, lo que se requiere en cuanto a mantenimiento y un comportamiento sostenible frente a las condiciones ambientales.

4.6. ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD DESDE EL ASPECTO AMBIENTAL

El análisis ambiental se desarrolló con el propósito de evaluar la influencia que tiene el uso de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros sobre el consumo de recursos, la generación de residuos y el comportamiento del material durante su vida útil. Para ello, se consideraron los resultados obtenidos en los ensayos experimentales, la evaluación simplificada del ciclo de vida y la comparación con otros sistemas de cubierta utilizados en edificaciones costeras.

Los ensayos de absorción de agua, impermeabilidad y resistencia a la intemperie evidenciaron que las tejas evaluadas presentan un comportamiento favorable frente a la humedad y a las

condiciones ambientales propias de zonas costeras. La baja absorción de agua y la ausencia de filtraciones significativas contribuyen a conservar las propiedades funcionales del material durante los periodos prolongados de uso, reduciendo la necesidad de reemplazos prematuros y, por consiguiente, la generación de residuos asociados al mantenimiento frecuente de las cubiertas.

Desde la perspectiva ambiental, la mayor durabilidad observada en las tejas asfálticas modificadas con polímeros representa una ventaja importante frente a materiales que presentan un deterioro más acelerado ante la exposición continua a humedad, radiación solar y variaciones térmicas. Una vida útil más prolongada permite disminuir la frecuencia de sustitución de los elementos de cubierta y optimizar el aprovechamiento de los recursos empleados en su fabricación, transporte e instalación.

La evaluación simplificada del ciclo de vida permitió identificar que el principal beneficio ambiental de este material se concentra en las etapas de uso y mantenimiento. Durante estas fases, las tejas presentan menores requerimientos de reparación y conservación, lo que contribuye a reducir el consumo de materiales complementarios, energía y recursos destinados a actividades de mantenimiento correctivo.

Asimismo, la posibilidad de incorporar materiales asfálticos y poliméricos en procesos de reutilización o reciclaje representa un aspecto favorable dentro de una estrategia de construcción sostenible. Aunque la presente investigación no desarrolló ensayos específicos de reciclabilidad, la revisión técnica realizada indica que este tipo de materiales posee potencial para su aprovechamiento en aplicaciones relacionadas con productos asfálticos, contribuyendo a disminuir la disposición final de residuos de construcción.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten establecer que las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros presentan un comportamiento ambiental favorable, debido a su durabilidad, resistencia frente a condiciones climáticas adversas y menores necesidades de mantenimiento durante su vida útil. Estas características contribuyen a optimizar el uso de recursos y respaldan su consideración como una alternativa compatible con criterios de sostenibilidad ambiental en edificaciones ubicadas en zonas costeras.

Los resultados obtenidos en la evaluación de las tejas desde el ámbito ambiental se presentan en la tabla 20, permitiendo analizar la influencia de los materiales evaluados sobre aspectos

relacionados con durabilidad, generación de residuos, consumo de recursos y comportamiento durante su ciclo de vida.

Tabla 20

Resultados de sostenibilidad desde el aspecto ambiental

Criterio ambiental	Cerámica	Fibrocemento	PVC	Zinc	Teja asfáltica
Durabilidad frente a condiciones ambientales	Muy favorable	Moderado	Moderado	Favorable	Muy favorable
Resistencia a humedad y filtraciones	Favorable	Moderado	Favorable	Favorable	Muy favorable
Necesidad de reemplazo durante la vida útil	Moderado	Moderado	Moderado	Favorable	Muy favorable
Generación potencial de residuos por mantenimiento	Moderado	Desfavorable	Moderado	Favorable	Muy favorable
Consumo de recursos asociado al mantenimiento	Moderado	Desfavorable	Moderado	Favorable	Muy favorable
Potencial de aprovechamiento o reciclaje	Moderado	Limitado	Moderado	Muy favorable	Favorable
Comportamiento durante la etapa de uso del ciclo de vida	Favorable	Moderado	Moderado	Favorable	Muy favorable

4.6.1. Interpretación de resultados

Los resultados de la evaluación ambiental muestran que las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros presentan el comportamiento más favorable entre los materiales analizados. Su baja absorción de agua, adecuada impermeabilidad y estabilidad frente a la intemperie permiten reducir la frecuencia de mantenimiento y la necesidad de reemplazos prematuros, contribuyendo a disminuir el consumo de recursos y la generación de residuos durante su vida útil.

La cerámica también evidenció un desempeño ambiental favorable debido a su estabilidad frente a las condiciones climáticas; sin embargo, su mayor peso puede incrementar los recursos asociados al transporte y manipulación. En contraste, el fibrocemento presentó un comportamiento menos favorable por sus mayores requerimientos de mantenimiento y deterioro progresivo ante la exposición ambiental prolongada.

En el caso del PVC y el zinc, ambos materiales mostraron ventajas relacionadas con su impermeabilidad y menor peso; no obstante, el PVC presentó una estabilidad superficial moderada frente a la radiación solar, mientras que el zinc mostró indicios leves de oxidación durante la evaluación de intemperie.

En conjunto, los resultados permiten establecer que las tejas asfálticas modificadas con polímeros constituyen una alternativa ambientalmente favorable para sistemas de cubierta en edificaciones ubicadas en zonas costeras, debido a su durabilidad, resistencia frente a condiciones climáticas adversas y menores necesidades de mantenimiento a lo largo de su ciclo de vida.

4.7. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ENSAYOS

Con el objetivo de examinar de forma completa cómo se comportan los materiales empleados en sistemas de cubierta, se llevó a cabo una comparación de las propiedades físicas extraídas durante las pruebas experimentales de espesor, masa y absorción de agua.

Estos parámetros posibilitan el reconocimiento de las diferencias que tienen que ver con la estabilidad física, la resistencia, la reacción ante la humedad y las cargas estructurales producidas por cada material.

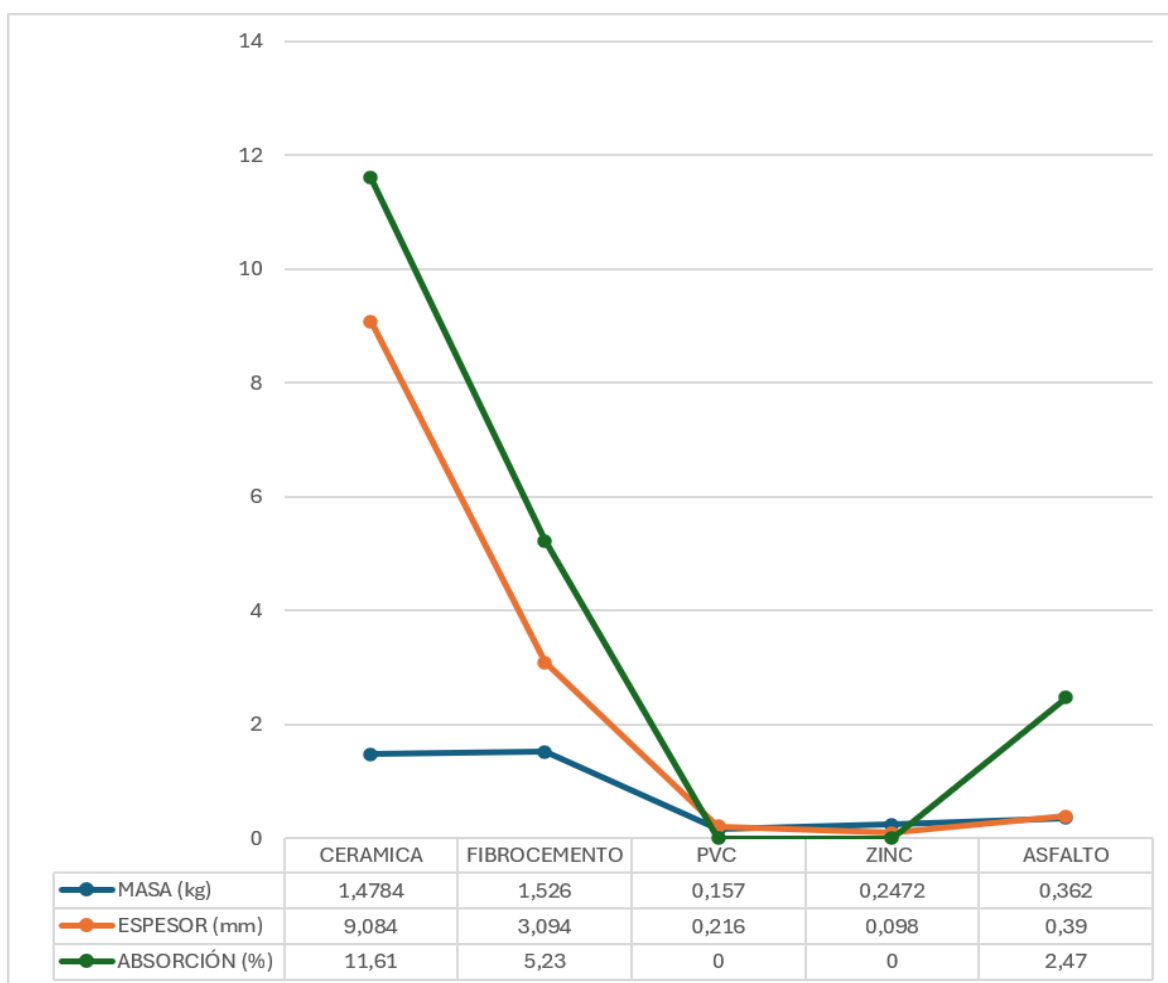
Además, la comparación facilita la correlación entre las propiedades analizadas y el funcionamiento de los materiales en procesos constructivos. El análisis simultaneo de los resultados ayuda a entender el comportamiento técnico de las tejas tradicionales comparado con las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros.

Asimismo, la evaluación comparativa posibilita reconocer propiedades vinculadas a la facilidad de construcción, a las necesidades estructurales y a la respuesta ante situaciones ambientales. Estos son elementos relevantes en proyectos de cubierta que se emplean en áreas expuestas a humedad, precipitación y cambios climáticos, como son las edificaciones costeras.

Para una mejor interpretación y análisis comparativo del comportamiento físico de los materiales evaluados durante los ensayos experimentales, se presenta a continuación el siguiente gráfico:

Figura 12

Comparación de los ensayos de absorción, espesor y masa de los materiales evaluados



Nota: Gráfica de autoría propia.

La gráfica comparativa hace posible determinar notables distinciones entre los materiales estudiados en cuanto a espesor, masa y absorción de agua, características que tienen un impacto directo sobre la funcionalidad de los sistemas de cubierta.

Los resultados nos indican que cada material tiene propiedades específicas en términos de peso, resistencia y capacidad de protección en condiciones ambientales definidas.

La cerámica muestra los valores más altos en cuanto a la absorción de agua, lo que indica una retención de humedad superior a la de los otros materiales estudiados. Por otro lado, las tejas asfálticas y el PVC tienen valores más bajo, que evidencia un mejor desempeño frente a la humedad constante y al ingreso del agua.

Además, los materiales evaluados muestran variaciones significativas en cuanto al grosor. Las tejas de cerámica tienen los espesores más altos, en tanto que el zinc y el PVC presentan valores menores. La gráfica muestra un comportamiento intermedio en las tejas asfálticas modificadas con polímeros, lo que posibilita mantener el balance entre estabilidad física y flexibilidad.

En referencia a la evaluación de los resultados de la masa, estos revelan que la cerámica y el fibrocemento tienen los valores más altos, mientras que el zinc y PVC son los que tienen pesos más bajos. Las tejas asfálticas tienen una masa moderada en relación con otros materiales analizados, lo que facilita los procesos de manipulación e instalación en los sistemas de cubierta.

Desde la perspectiva social, el gráfico muestra que en los materiales con capacidad de absorción de agua más baja pueden ayudar a optimizar las condiciones de protección en las edificaciones, sobre todo en áreas costeras sujetas a humedad constante. Igualmente, los materiales que pesan menos hacen más sencillos los procesos de instalación y construcción.

Los resultados desde el punto de vista económico evidencian que los materiales que tienen una masa y una absorción más baja pueden reducir las necesidades de mantenimiento y simplificar los procesos de construcción, lo cual contribuye a optimizar la utilización de recursos mientras se llevan a cabo proyectos de cubierta.

Con la finalidad de representar de manera cuantitativa las diferencias económicas entre las tejas tradicionales y las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros, se elaboró un organizador comparativo, considerando costos aproximados de

adquisición, instalación, mantenimiento y vida útil de los materiales utilizados en sistemas de cubierta. Se tomo en cuenta como referencia, valores aplicados al mercado nacional.

La tabla 21 posibilita el reconocimiento de las diferencias vinculadas a los gastos iniciales, al mantenimiento y a la vida útil de los materiales analizados, lo cual hace más sencilla la comparación del desempeño económico de cada sistema de cubierta. De igual manera se puede verificar los criterios relacionados con la sostenibilidad, considerando aspectos como la durabilidad, reducción de mantenimiento, optimización de recursos y la extensión de vida útil de los materiales. Estos factores contribuyen a disminuir la generación de residuos y la necesidad de reemplazar frecuentemente de cubierta, favoreciendo practicas constructivas más eficientes y sostenibles dentro del sector constructivo.

Tabla 21

Comparación económica entre tejas tradicionales y tejas asfálticas modificadas con polímeros

Tipo de material	Costo inicial (USD/m ²)	Costo de instalación (USD/m ²)	Costo de mantenimiento (USD/año)	Vida útil aproximada (años)	Costo total estimado a 30 años (USD/m ²)
Cerámica	25,00 – 35,00	8,00 - 12,00	2,00 -3,50	30-50	95,00- 152,50
Fibro cemento	12,00-18,00	5,00-7,00	1,50-2,50	20-30	60,00-92,50
Zinc	10,00-15,00	4,00-6,00	1,00-2,00	25-35	51,00-78,00
PVC	13,00-17,00	3,00-5,00	0,50-1,00	20-30	40,50-61,00
Asfáltica	11,00-16,00	4,00-6,00	0,80-1,50	25-40	49,00-73,50

4.8. MATRIZ MULTICRITERIO DE SOSTENIBILIDAD

Con el objetivo de presentar adecuadamente los resultados se aplicará el uso de matrices que nos permitan ponderar diferentes criterios y obtener una valoración integral de sostenibilidad de los materiales analizados. Para el efecto, se mostrarán de manera individual las

características de cada material y posteriormente se realizará una comparación global que permita identificar las ventajas y limitaciones de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificados con polímeros frente a otros sistemas de cubierta utilizados comúnmente en el sector de la construcción.

La aplicación de matrices multicriterio constituye una herramienta ampliamente utilizada en estudios de sostenibilidad, debido a que facilita la integración de variables técnicas, ambientales, económicas y sociales dentro de un mismo esquema de evaluación. Este procedimiento permite analizar simultáneamente diferentes factores que influyen en el desempeño de los materiales durante su vida útil, contribuyendo a una toma de decisiones más objetiva y fundamentada.

En la presente investigación, la evaluación multicriterio se desarrolló considerando los resultados de los diferentes ensayos de laboratorio, así como información técnica y bibliográfica relacionada con la durabilidad, mantenimiento, comportamiento ambiental, costos de implementación y condiciones de uso de los materiales de cubierta. Se propone así una evaluación completa que, además de comprobar el cumplimiento de la normativa vigente, incluya criterios enfocados en la sostenibilidad en el sector de la construcción.

El estudio del comportamiento de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros se hace más sencillo gracias a las matrices desarrolladas, las cuales lo analizan desde diferentes puntos de vista. Se tienen en cuenta aspectos como la factibilidad económica de su uso, los beneficios que pueden surgir para los usuarios y las construcciones, así como el cumplimiento de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063 y su reacción ante las condiciones medioambientales.

A continuación, se presentan las matrices de evaluación empleadas para determinar el nivel de sostenibilidad del material objeto de estudio, iniciando con la verificación del cumplimiento normativo y continuando con el análisis comparativo de desempeño técnico, impacto ambiental, ciclo de vida, viabilidad técnico-económica y sostenibilidad global.

4.8.1. Matriz de cumplimiento normativo NTE INEN 2063

La presente matriz resume el grado de cumplimiento de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros respecto a los parámetros evaluados durante la investigación.

Tabla 22*Matriz de cumplimiento normativo*

Parámetro evaluado	Resultado obtenido	Cumple Norma	Requisito/limite NTE INEN 2063
Dimensiones	922,93 cm	Sí	Dentro de las tolerancias establecidas
Espesor	0,39 mm	Sí	Uniformidad dimensional requerida por la norma
Masa	0,362 kg	Sí	Aplica característica física favorable
Absorción de agua	2,47%	Sí	≤ valor máximo permitido por la norma
Impermeabilidad	Sin filtraciones visibles	Sí	No debe presentar filtraciones durante el ensayo
Resistencia a la intemperie	Sin fisuras ni deformaciones durante 35 días	Sí	Conservación de estabilidad funcional durante la exposición evaluada

La matriz de cumplimiento normativo permitió comparar los resultados experimentales obtenidos con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2063. Los ensayos evidenciaron que las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros satisfacen los criterios técnicos relacionados con dimensiones, espesor, absorción de agua, impermeabilidad y el comportamiento frente a la intemperie bajo las condiciones evaluadas.

4.8.2. Matriz comparativa con materiales tradicionales

Con el propósito de analizar el comportamiento de las tejas asfálticas frente a otros materiales comúnmente utilizados en cubiertas, se realizó la siguiente comparación.

Tabla 23

Comparación técnica entre materiales de cubierta

Criterio	Cerámica	Fibrocemento	PVC	Zinc	Teja asfáltica
Peso	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Medio
Absorción de agua	Alta	Media	Nula	Baja	Baja
Impermeabilidad	Media	Media	Alta	Alta	Alta
Resistencia a la intemperie	Alta	Media	Media	Media	Alta
Facilidad de instalación	Baja	Media	Alta	Alta	Alta
Mantenimiento	Medio	Medio	Bajo	Medio	Bajo
Vida útil estimada	30-50 años	20-30 años	20-30 años	25-35 años	25-40 años

La comparación evidencia que las tejas asfálticas presentan un comportamiento equilibrado entre resistencia, impermeabilidad, peso y vida útil. Además, ofrecen ventajas relacionadas con facilidad de instalación y menores requerimientos de mantenimiento frente a varios materiales tradicionales.

4.8.3. Matriz de impacto ambiental

La evaluación ambiental fue desarrollada mediante una comparación cualitativa basada en información bibliográfica sobre materiales de cubierta y en los resultados experimentales obtenidos en la presente investigación.

Tabla 24

Matriz cualitativa comparativa de criterios ambientales

Criterio ambiental	Cerámica	Fibro cemento	PVC	Zinc	Teja asfáltica	Justificación
Consumo de materias primas	Medio	Medio	Alto	Alto	Medio	Basado en la cantidad de recursos industriales requeridos para su fabricación.
Consumo energético de fabricación	Alto	Medio	Alto	Alto	Medio	Considera procesos térmicos e industriales reportados en la bibliografía técnica.
Emisiones asociadas a producción	Medio	Medio	Alto	Alto	Medio	Relacionado con el uso de derivados del petróleo y proceso metalúrgicos.
Potencial de reciclaje	Bajo	Medio	Alto	Alto	Medio	Considera la posibilidad de reutilización o reciclaje reportada para cada material.

Generación de residuos	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Medio	Basado en la durabilidad observada y requerimientos de mantenimiento.
Durabilidad ambiental	Alta	Media	Alta	Media	Alta	Sustentado en los ensayos de impermeabilidad y resistencia a la intemperie realizados en la investigación.

Las valoraciones cualitativas que se asignaron en cada material se sustentan en antecedentes relacionados con el desempeño ambiental del material de cubierta. El consumo energético asociado a su fabricación, el potencial de reciclaje y la durabilidad de sistemas constructivos expuestos a las condiciones climáticas. Asimismo, la clasificación de las tejas asfálticas se complementó con los resultados experimentales que se obtuvo en los ensayos de absorción de agua, impermeabilidad y resistencia a la intemperie desarrollados en la presente investigación.

4.8.4. Matriz de ciclo de vida simplificada

Para completar la evaluación de sostenibilidad de las tejas utilizadas como sistema de cubierta, se creó una matriz simplificada del ciclo de vida. Esta matriz posibilita determinar cualitativamente como actúa cada material a lo largo de las etapas fundamentales que constituyen su existencia, desde la adquisición de materias primas hasta el final de su disposición.

Con este propósito, se definieron grados de impacto (bajo, medio y alto) teniendo en cuenta elementos vinculados al uso de recursos, los procedimientos de fabricación, el transporte, la facilidad de instalación, las necesidades de mantenimiento y el desecho de residuos al final de su vida útil.

Tabla 25*Matriz de ciclo de vida simplificada*

Etapa del ciclo de vida	Cerámica	Fibrocemento	PVC	Zinc	Teja asfáltica
Obtención de materias primas	Medio	Medio	Alto	Alto	Medio
Fabricación	Alto	Medio	Alto	Alto	Medio
Transporte	Alto	Medio	Bajo	Bajo	Medio
Instalación	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
Uso y mantenimiento	Medio	Medio	Bajo	Medio	Bajo
Disposición final	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Medio

Utilizar esta herramienta hace más fácil comparar el ciclo de vida de las tejas de PVC, zinc, cerámica, fibrocemento y las que se fabrican con láminas troqueladas de asfalto que han sido modificadas con polímeros. Así es posible identificar las etapas que tienen un efecto más significativo o menos durante el ciclo de vida de cada material.

Según la evaluación simplificada del ciclo de vida, las tejas que se fabrican con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros muestran un desempeño positivo durante los periodos de mantenimiento y uso. Esto se produce porque es resistente a la humedad, tiene un comportamiento apropiado de impermeabilidad y es estable ante las condiciones ambientales; estas características ayudan a extender la vida útil del sistema de cubierta.

4.8.5. Matriz de viabilidad técnico-económica

Se realizó una matriz de viabilidad técnico-económica para determinar si las tejas asfálticas modificadas con polímeros pueden ser utilizadas como sistema de cubierta. Los criterios considerados fueron la impermeabilidad, el costo por metro cuadrado aproximado, la resistencia a la intemperie, el mantenimiento y la durabilidad. Estos factores se evaluaron y sopesaron

utilizando una escala de calificación que facilitó la incorporación de variables económicas y técnicas con el fin de ofrecer un análisis integral del rendimiento del material y estudiar su uso como alternativa sostenible en construcciones ubicadas en áreas costeras.

Tabla 26

Matriz de viabilidad técnico-económica

Criterio	Ponderación (%)	Calificación (1-5)	Resultado
Costo aproximado por m2	20	4	0,80
Costo de instalación	15	4	0,60
Mantenimiento	15	5	0,75
Durabilidad	20	5	1,00
Impermeabilidad	15	5	0,75
Resistencia a la intemperie	15	5	0,75
Total	100	-	4,65/5

Los resultados indican que las tejas asfálticas modificadas con polímeros presentan una alta viabilidad técnico-económica, debido a que combinan un costo competitivo con una adecuada durabilidad y bajos requerimientos de mantenimiento.

4.8.6. Matriz general de sostenibilidad

Finalmente, se integraron los resultados ambientales, sociales y económicos para obtener una valoración global de sostenibilidad.

Tabla 27

Matriz general de sostenibilidad

Dimensión	Criterio evaluado	Base de análisis	Valoración
-----------	-------------------	------------------	------------

Ambiental	Absorción de agua	2,47%	Favorable
Ambiental	Resistencia a la intemperie	Comportamiento estable durante la exposición	Favorable
Ambiental	Vida útil	25-40 años (referencia técnica)	Favorable
Económica	Costo total estimado a 30 años	Análisis comparativo	Favorable
Económica	Requerimientos de mantenimiento	Bajo requerimientos de intervención	Favorable
Social	Condiciones de habitabilidad	Análisis cualitativo basado en impermeabilidad y durabilidad	Preliminar favorable
Social	Seguridad durante la instalación y uso	Análisis comparativo de peso y manipulación	Preliminar favorable
Social	Adaptación a condiciones costeras	Análisis técnico sustentado en los ensayos realizados	Preliminar favorable
Resultado global	Evaluación integral de sostenibilidad	Síntesis de resultados experimentales y análisis complementario	SOSTENIBLE

La evaluación integral indica que las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros presentan un comportamiento favorable desde las dimensiones ambiental, económica y social consideradas en la investigación. Los resultados experimentales y el análisis cualitativo realizado respaldan su potencial como alternativa compatible con criterios de construcción sostenible para cubiertas en edificaciones ubicadas en zonas costeras.

4.9. EVALUACIÓN DE OTRAS PROPIEDADES DE LAS TEJAS FABRICADAS CON LÁMINAS TROQUELADAS DE ASFALTO Y POLÍMEROS

Con la finalidad de complementar la evaluación experimental desarrollada en la presente investigación, se analizaron otras propiedades técnicas de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros que no fueron determinadas mediante los ensayos de laboratorio realizados. Estas propiedades fueron recopiladas a partir de literatura técnica especializada y especificaciones de fabricantes, permitiendo ampliar el análisis del comportamiento del material desde un enfoque mecánico, funcional y constructivo.

Las propiedades analizadas brindan información acerca de cómo funcionan las tejas y su desempeño mecánico en diferentes condiciones de servicio. La resistencia en términos de flexión, tracción, cizalla, al impacto, la elongación a la rotura, la estabilidad dimensional, la resistencia a las radiaciones ultravioletas (UV) y a temperaturas bajas posibilitan evaluar elementos vinculados con el desempeño del material para resistir esfuerzos, sostener su estabilidad y preservar un comportamiento apropiado durante su vida útil.

La información proporcionada por estas propiedades también permite relacionar el desempeño técnico del material con criterios de sostenibilidad. Un material que mantiene su estabilidad presenta buena resistencia mecánica y requiere menos intervenciones de mantenimiento puede prolongar su vida útil, reducir el consumo de recursos y disminuir la generación de residuos, aspectos que respaldan su aplicación sostenible en la construcción.

Tabla 28

Evaluación de otras propiedades de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros.

Propiedad		Unidad	Especificación
Resistencia a la tracción	Transversal	N/5 cm	>200
	Longitudinal	N/5 cm	> 120
Resistencia a la flexión		mm	≥ 30
Elongación a la rotura	Transversal	%	≥ 40

	Longitudinal	%	≥ 40
Estabilidad dimensional		%	0-0,5
Resistencia a la cizalla	Transversal	N/5 cm	>200
	Longitudinal	N/5 cm	>350
Resistencia a la radiación ultravioleta (UV)		horas	≥ 5000
Resistencia al impacto		mm	≥ 600
Flexibilidad a baja temperatura		°C	>-10

4.9.1. Interpretación de resultados

Las propiedades técnicas adicionales estudiadas muestran que las tejas elaboradas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros tienen un desempeño mecánico y funcional que respaldan los resultados de los diferentes ensayos experimentales. Gracias a su alta resistencia a la cizalla, a la tracción y a la elongación, el material es capaz de soportar esfuerzos mecánicos y deformaciones sin poner en riesgo su integridad, lo que mejora su rendimiento durante su vida útil.

Las especificaciones consultadas de la resistencia al impacto indica que, la flexibilidad a temperaturas bajas, la estabilidad dimensional y la resistencia a la radiación ultravioleta (UV) demuestran que el material se comporta apropiadamente bajo diversas condiciones de exposición. Estas propiedades son particularmente significativas para aplicaciones en áreas costeras, donde la radiación solar, la humedad y los cambios de temperatura pueden hacer que otros sistemas de cubierta se degraden más rápido. Además, promueven que sus atributos sean mantenidos a lo largo del servicio.

En general, las propiedades técnicas que se han examinado añaden información extra acerca del comportamiento del material a la evaluación realizada en este estudio. Dado que estas tejas son estables en términos de dimensionamiento, flexibles y resistentes a la radiación ultravioleta y al mismo tiempo poseen resistencia mecánica, su uso como sistema de cubierta está justificado porque mejora su durabilidad y mantiene su rendimiento apropiado en condiciones propias de zonas costeras. Estas características fortalecen su viabilidad como una alternativa competitiva para aplicaciones constructivas con enfoque sostenible.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

La presente investigación permitió evaluar ciertas propiedades físicas funcionales de las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros, así como desarrollar una valoración preliminar de sostenibilidad mediante información bibliográfica, económica y social complementaria. Con base en los resultados obtenidos, se establecen las siguientes conclusiones.

- Los ensayos de masa, espesor, dimensiones, absorción de agua, impermeabilidad y exposición natural a la intemperie evidenciaron un comportamiento técnico favorable de las tejas asfálticas modificadas con polímeros en comparación con otros materiales de cubierta analizados. En particular, el material presentó baja absorción de agua (2,47%) y ausencia de filtraciones visibles durante el ensayo de impermeabilidad, lo que nos indica una adecuada capacidad de protección frente a la humedad bajo las condiciones evaluadas.
- Durante los 35 días de exposición natural no se observaron fisuras ni deformaciones únicamente a un comportamiento superficial inicial frente a la humedad, la radiación solar y las variaciones térmicas, por lo que no permite establecer conclusiones definitivas sobre su durabilidad ni sobre su vida útil en las edificaciones ubicadas en zonas costeras.
- Debido a que no se ejecutaron todos los ensayos contemplados en la Norma NTE INEN 2063, no se incluyeron los numerales normativos aplicables, límites de aceptación, ni procedimientos completos de ensayos como los de tracción, flexibilidad, impacto ni estabilidad dimensional, por lo que la evaluación normativa obtenida corresponde únicamente a las propiedades analizadas mediante la investigación.
- Los resultados de la encuesta permitieron identificar una percepción generalmente favorable hacia las tejas asfálticas modificadas con polímeros, especialmente en relación con durabilidad, impermeabilidad y resistencia climática. Sin embargo, la encuesta midió únicamente opiniones de los participantes la cual no constituyen para demostrar mejoras de habitabilidad, confort térmico y sostenibilidad social del material.

- Finalmente, en términos generales, las tejas fabricadas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros pueden considerarse una alternativa potencial para sistemas de cubierta en edificaciones ubicadas en zonas costeras, siempre que el producto cuente con certificación técnica, se verifique su compatibilidad con las condiciones específicas del proyecto y se cumplan las instrucciones de instalación, uso y mantenimiento establecidas por el fabricante.

5.2. RECOMENDACIONES

Como resultado de la investigación realizada, se plantean las siguientes recomendaciones con el propósito de fortalecer el estudio y la aplicación de este tipo de materiales en futuras investigaciones y proyectos constructivos:

- Promover el uso de tejas asfálticas con láminas troqueladas de asfalto modificadas con polímeros como una alternativa potencial de cubiertas para edificaciones ubicadas en zonas costeras, siempre que el producto disponga de certificación técnica vigente, se verifique su compatibilidad con el sistema constructivo y se cumplan las especificaciones de instalación.
- Se sugiere que futuras investigaciones amplíen la evaluación experimental mediante la incorporación de otros contemplados en la Norma NTE INEN 2063, como resistencia a la tracción, estabilidad dimensional, flexibilidad a bajas temperaturas, resistencia a la radiación ultravioleta y comportamiento frente al fuego, con el propósito de obtener una caracterización técnica más completa del material.
- Efectuar análisis cuantitativos de ciclo de vida que permitan determinar indicadores ambientales como huella de carbono, consumo energético, emisiones de gases de efecto invernadero y generación de residuos, complementando la valoración ambiental preliminar desarrollada en esta investigación.
- Ampliar la evaluación del componente social mediante estudios que incorporen mediciones directas de confort térmico, aislamiento acústico, habitabilidad, seguridad y satisfacción en edificaciones reales, diferenciando claramente entre percepción de aceptación y desempeño social comprobado.
- Finalmente, se recomienda que las futuras investigaciones y posibles actualizaciones de la normativa relacionada con materiales de cubierta incorporen criterios de sostenibilidad ambiental, análisis de ciclo de reciclabilidad, de manera que la evaluación

de estos productos considere no solo sus propiedades técnicas inmediatas sino también su comportamiento dentro de una construcción sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, M. (17 de marzo de 2014). *Introducción a la construcción de techos-segunda parte*.
Obtenido de ASPHALT: The magazine of the asphalt institute:
<https://www.asphaltmagazine.com/roofing-101-part-two/>
- Arbulu, C. (2020). Métodos de investigación en la comunidad de ingeniería civil: Un deslinde con las investigaciones científicas y sociales. *Libro de ponencias: Primer Congreso Virtual Latinoamericano Mitos y Realidades de la Investigación Científica*. Perú: National University Of Saint Anthony the Abbot in Cuzco.
- Barbhuiya, S., & Bhusan, B. (2023). Evaluación del ciclo de vida de los materiales de construcción: Metodologías, aplicaciones y perspectivas futuras para la toma de decisiones sostenibles. *ELSEVIER: Estudio de caso en materiales de construcción*, 19.
- Barreto, N., Olmedo, K., & Ruíz, W. (2025). Cubiertas ecológicas y su impacto en el confort térmico en viviendas familiares. *Journal Scientific MQRInvestigar*, 9(4), 1-17. Obtenido de <https://www.investigarmqr.com/2025/index.php/mqr/article/view/1133/8689>
- Bedoya, C. (2011). *Construcción Sostenible: Para volver al camino*. Colombia: MARES Consultoría sostenible. Obtenido de <https://luiscalderonf.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/01/construccion-sostenible.pdf>
- Bobadilla, J., Tigre, J., Tesen, F., & Muñoz, S. (2022). Uso de polímeros en asfalto: Una revisión. *Revista Gaceta Técnica*, 23(1), 94-109. Obtenido de <https://revistas.uclave.org/index.php/gt/article/view/3719/2403>
- Bonilla, N. (1991). *Cubiertas. Bloque modular: Proceso de Construcción*. Publicaciones Digeneral.
- Bustos, H., Sosa, P., Rodríguez, N., & Calderón, J. (2018). Fundamentos micro y macroscópicos de la modificación del asfalto convencional con polímeros: Una

- revisión. *Inventum*, 13(24), 58-77. Obtenido de <https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/view/1686/1587>
- Carmo, D. e. (2025). Análisis del ciclo de vida (ACV) en materiales de construcción: Revisión. *Investigación en Agronomía*, 23(1), 293-321. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/392231735_Life_cycle_assessment_LCA_in_construction_materials_-_Review
- Casanova, W. (2017). *Determinación de una metodología para caracterizar asfaltos modificados con polímero usados en pavimentos flexibles*. Querétaro: Universidad autónoma de Querétaro. Obtenido de <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/1113/1/RI004212.pdf>
- Castro, J. (2002). *Los tratamientos superficiales bituminosos*. Costa Rica: Universidad Nacional de Materiales y Modelos Estructurales: Universidad de Costa Rica.
- Castro, J., Gómez, L., & Camargo, E. (2022). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75), 140-174. doi:<https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
- Corona, J., Granillo, E., Larios, E., & González, R. (2025). Materiales de construcción alternativos. En E. Granillo, E. Larios, & R. González, *Formación de jóvenes investigadores en ciencias de la ingeniería* (págs. 75-91). México: Entelequia Editores.
- Crespo, S. (2010). *Materiales de construcción para edificación y obra civil*. España: Editorial Club Universitario.
- Franco, J., & Cusme, C. (2022). La gestión integral de proyectos de construcción, basada en la sostenibilidad y la innovación. *South Florida Journal of Development*, 3(4), 5647-5663.
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. Obtenido de https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas Cuantitativa, Cualitativa y Mixta*. México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. Obtenido de <https://luisdoubtrng.school.blog/wp-content/uploads/2024/03/metodologia-de-la-investigacion-sampieri-1.pdf>

- Huapaya, C., & Ginocchio, J. (2018). *Guía de Investigación en Ciencias e Ingeniería: Ingeniería Civil*. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <https://cdn02.pucp.education/investigacion/2016/06/12164911/Guia-de-Investigacion-en-Ingenieria-Civil.pdf>
- Hurtado, J. (2000). *Metodología de la Investigación Holística*. Caracas: Fundación Sygal. Obtenido de <https://ayudacontextos.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/04/jacqueline-hurtado-de-barrera-metodologia-de-investigacion-holistica.pdf>
- Iles, E. (2026). *Análisis comparativo de la eficacia, viabilidad y procesos de instalación de los sistemas de impermeabilización con membrana líquida y membrana asfáltica (Chova) en la construcción civil en Quito, Ecuador (2025)*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Imptek. (2015). *Teja asfáltica Imptek*. Quito: Imptek: Innovación y bienestar. Obtenido de <https://ecuaroofting.com/wp-content/uploads/2021/04/Teja-Nacional.pdf>
- Instituto Athena. (2019). *Reducción del impact ambiental incorporado en los edificios: Opciones políticas e infraestructura técnica*. Obtenido de Athena Sustainable Materials Institute: <https://www.athenasmi.org/resources/publications/>
- Jwaida, Z. et al. (2023). El uso de polímeros de desecho en mezclas asfálticas: Análisis bibliométrico y revisión sistemática. *Journal of Composites Science*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2504-477X/7/10/415>
- Khan, J., Khan, V., & Husain, D. (2025). Construcción sostenible: Análisis del impacto ambiental de los materiales mediante el análisis de la huella ecológica. *Resultados en Ingeniería*, 27. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123025029950>
- León, E., Lizarbe, H., Ayala, R., & León, M. (2025). *Metodología científica aplicada a proyectos de investigación en Ingeniería Civil*. Brasil: ARCO Editores. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/395077391_Metodologia_Cientifica_Aplicada_a_Proyectos_de_Investigacion_en_Ingenieria_Civil
- Lizarraga, H. (2024). Evaluación de materiales sostenibles en la construcción de pavimento urbano. *Revista Científica Ciencia y Método*, 2(1), 41-54. Obtenido de <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v2/n1/30>

- López, P. (2011). *Comportamiento de tejas de cubierta tipo multicapa fabricadas con asfalto crudo y modificado cuando son sometidas a cargas constantes*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Manzano, S. (2016). *La cubierta de la arquitectura tradicional: lecciones de sostenibilidad*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/191b0804-2bb9-4d5f-9cb3-ddb1d56486e1/content>
- Marin, N., Arriola, G., Sotomayor, G., Correa, L., & Marín, R. (2025). *Metodología de la investigación aplicada a la ingeniería civil*. Perú: Universidad Señor de Sipán S.A.C.
- Marqués, R., & Salvador, C. (2000). El método de diseño y construcción de la habitación unifamiliar empezando por la cubierta. *Revista Latino-americana de Ambiente Construido y Sustentabilidades*, 1(1), 16-31.
- Martínez, C. (2017). *Revisión teórica de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros en Colombia*. Colombia: Universidad Santo Tomás. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/409500bf-3c5f-4bb5-ad73-4e615a87b9a2/content>
- Mendoza, J. (2020). Realidad y expectativa sobre la construcción sostenible en Ecuador. *Revista San Gregorio*, 197-209. Obtenido de <https://revista.sangregorio.edu.ec/index.php/REVISTASANGREGORIO/article/view/1116/14-JHON22>
- Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca MPCEIP. (2005). *Norma NTE INEN 2063: Productos derivados de Petróleo. Láminas de betún modificado con elastómeros*. Quito: Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca MPCEIP.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Quito: Registro Oficial Suplemento 983 del 12 de abril de 2017: MInisterio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Obtenido de <https://sustanciasyresiduos.ambiente.gob.ec/producto/codigo-organico-del-ambiente/>
- Miravete, A. (2021). *Los nuevos materiales de construcción*. Zaragoza: Editorial Reverté S.A.

- Montenegro, L. (16 de junio de 2021). *Teja asfáltica: Aislación térmica, cerámico, envolvente, sintético, vidrio*. Obtenido de MatLab: Laboratorio de materiales-Universidad Nacional de San Martín: <https://materialoteca.unsam.edu.ar/2021/06/16/teja-asfaltica/>
- Moreira, N., Delgado, K., & Lourido, M. (2026). Proyectos de construcción civil eficiente en la educación superior. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 9(17), 2697-3693. doi:<https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/441>
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2018). *Metodología de la Investigación: Cuantitativa - Cualitativa y redacción de la tesis* (Quinta Edición ed.). Perú: Ediciones de la U.
- ONU. (12 de septiembre de 2023). *Materiales de construcción y clima: Contruyendo un nuevo futuro*. Obtenido de Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente: <https://www.unep.org/resources/report/building-materials-and-climate-constructing-new-future>
- ONU. (25 de julio de 2025). *La iniciativa del ciclo de vida*. Obtenido de Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente: <https://www.unep.org/topics/finance-and-economic-transformations/driving-transformation-science-and-knowledge/life-cycle>
- Ortiz, E., & Macías, L. (2018). Análisis de las características y propiedades del asfalto convencional producido en la Refinería de Esmeraldas, para proponer alternativas de mejoramiento de las propiedades con polímeros. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*.
- Pérez, N., Sandoval, A., & Velasco, A. (2006). *Manual básico de prevención de fallos en la impermeabilización de cubiertas planas con materiales bituminosos*. Murcia: Comunidad básica de prevención de fallos en la impermeabilización de cubiertas planas con materiales bituminosos.
- Portero, A., Machado, R., & Mazón, D. (2010). Las cubiertas, ¿cubren? *Arquitectura y Urbanismo: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 31(2). Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376839859005>
- Proaño, C. (2024). Algunas consideraciones sobre un análisis de factibilidad para proyectos de obras civiles. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 6(3), 124-133.

- Reyes, F., Madrid, M., & Salas, S. (2007). Mezclas asfálticas modificadas con un eslatómero (caucho) y un plastómero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100). *Infraestructura Vial: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 25-34. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4782/478276555003.pdf>
- RMRC. (5 de julio de 2026). *Tejas asfálticas recicladas - Descripción del material*. Obtenido de Recycled Materials Resource Center: <https://rmrc.wisc.edu/ug-mat-roofing-shingle-scrap/>
- Román, K. (2026). *Análisis comparativo del comportamiento mecánico y el desempeño de mezclas asfálticas en frío elaboradas con: emulsión asfáltica no polimerizada y polimerizada con SBS*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador UIDE.
- Samaniego, J. (2021). El desarrollo sustentable en Ecuador: Estrategias desde el sector de la construcción. *Revista RIEMAT*, 6(2), 1-8. Obtenido de <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/download/4019/4113/15801>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2005). *Productos derivados del petróleo*. Quito.
- Vargas, A., & Bedoya, C. (2024). *Factores críticos de éxito en la gestión de proyectos de construcción sostenible*. Bogotá: Universidad EAN. Obtenido de <https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/a1507b77-b52e-4638-87e3-6ed3509a53cc/content>
- Vásquez, A., Guanuchi, L., Cahuana, R., Vera, R., & Holgado, J. (2023). *Métodos de investigación científica*. Perú: Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C.
- Viscaíno, P., Maldonado, I., & Cedeño, R. (2023). Metodología de la investigación científica: Guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4). doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658
- Zavala, C., Lino, V., Cordero, M., & Sornoza, D. (2024). El rol de la ingeniería civil en el desarrollo sostenible: Tendencias y desafíos. *Revista Alcance*, 7(1), 1-13. Obtenido de <https://alcance.unesum.edu.ec/index.php/alcance/article/view/57/64>

ANEXOS

Anexo 1

Tabla de cálculo de ensayo de masa

TEJA	MUESTRA	PESO (Kg)
CERAMICA	1	1,472
	2	1,474
	3	1,465
	4	1,49
	5	1,447
FIBROCEMENTO	1	1,516
	2	1,512
	3	1,529
	4	1,526
	5	1,547
PVC	1	0,159
	2	0,158
	3	0,158
	4	0,153
	5	0,157
ZINC	1	0,246
	2	0,248
	3	0,248
	4	0,249
	5	0,245
ASFALTO	1	0,36
	2	0,364
	3	0,364
	4	0,369
	5	0,353

Anexo 2

Tabla de cálculo de ensayo de dimensiones

TEJA	MUESTRA	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ANCHO SUP.(cm)	ANCHO INF. (cm)	ESPESOR (mm)	ESPESOR (cm)	AREA (cm2)	VOLUMEN (cm3)
CERAMICA	1	31	15	16,5	13,9	13,07	1,307	468,1	611,8067
	2	30,5	14,9	16,1	13,5	13,09	1,309	452,925	592,878825
	3	30,7	15,6	17,3	13,9	13,08	1,308	478,92	626,42736
	4	31,5	15,2	17,2	13,9	13,07	1,307	484,3125	632,9964375
	5	30	14,8	17,2	13,8	13,1	1,31	454,5	595,395
FIBROCEMENTO	1	34,5	31	—	—	3,09	0,309	1069,5	330,4755
	2	34,5	31	—	—	3,08	0,308	1069,5	329,406
	3	34,8	31	—	—	3,09	0,309	1078,8	333,3492
	4	34,8	30,5	—	—	3,1	0,31	1061,4	329,034
	5	35	30	—	—	3,11	0,311	1050	326,55
PVC	1	30,7	30	—	—	0,21	0,021	921	19,341
	2	30,5	30,3	—	—	0,22	0,022	924,15	20,3313
	3	30,1	30	—	—	0,22	0,022	903	19,866
	4	30,3	30,1	—	—	0,21	0,021	912,03	19,15263
	5	30,5	30,4	—	—	0,22	0,022	927,2	20,3984
ZINC	1	30,5	30	—	—	0,1	0,01	915	9,15
	2	30,7	30	—	—	0,1	0,01	921	9,21
	3	30,5	30,1	—	—	0,1	0,01	918,05	9,1805
	4	30,4	30	—	—	0,09	0,009	912	8,208
	5	30	30	—	—	0,1	0,01	900	9
ASFALTO	1	30,5	30,3	—	—	0,39	0,039	924,15	36,04185
	2	30,6	30,5	—	—	0,39	0,039	933,3	36,3987
	3	30,5	30,4	—	—	0,39	0,039	927,2	36,1608
	4	30,5	30	—	—	0,38	0,038	915	34,77
	5	30,5	30	—	—	0,4	0,04	915	36,6

Anexo 3

Tabla de cálculo de ensayo de absorción de agua

TEJA	MUESTRA	PESO SECO (Kg)	PESO SSS (Kg)	% ABS	% PROMEDIO
CERAMICA	2	1,474	1,62	9,905	11,61
	3	1,465	1,66	13,311	
FIBROCEMENTO	2	1,512	1,6	5,820	5,23
	3	1,529	1,6	4,644	
PVC	2	0,158	0,158	0,000	0,00
	3	0,158	0,158	0,000	
ZINC	2	0,248	0,248	0,000	0,00
	3	0,248	0,248	0,000	
ASFALTO	2	0,364	0,372	2,198	2,47
	3	0,364	0,374	2,747	

Anexo 4

Tabla del promedio de peso de las tejas empleadas

TEJA	PESO (Kg)
CERAMICA	1,4696
FIBROCEMENTO	1,526
PVC	0,157
ZINC	0,2472
ASFALTO	0,362

Anexo 5

Tabla del promedio de espesor de las tejas empleadas

TEJA	ESPESOR (mm)
CERAMICA	13,082
FIBROCEMENTO	3,094
PVC	0,216
ZINC	0,098
ASFALTO	0,39

Anexo 6

Tabla correspondiente al promedio de dimensiones de las tejas empleadas durante los ensayos experimentales

TEJA	DIMENSIONES (cm2)
CERAMICA	467,7515
FIBROCEMENTO	1065,84
PVC	917,476
ZINC	913,21
ASFALTO	922,93

Anexo 7

Preparación de equipo utilizado para el ensayo de absorción de agua



Anexo 8

Verificación de ausencia de filtraciones en el ensayo de impermeabilidad, realizada mediante la inspección visual de la superficie inferior de las muestras



Anexo 9

Permanencia de agua sobre la superficie de la teja durante el desarrollo del ensayo de impermeabilidad



Anexo 10

Verificación del estado físico de las tejas a los 7 días del ensayo de resistencia a la intemperie



Anexo 11

Verificación del estado físico de las tejas a los 14 días del ensayo de resistencia a la intemperie



Anexo 12

Verificación de las tejas a los 21 días del ensayo de resistencia a la intemperie



Anexo 13

Verificación de las tejas a los 35 días del ensayo de resistencia a la intemperie

