



# Tejidos compuestos: estudio tipológico - exploratorio para estructuras tensadas permanentes en Ecuador

## Composite fabrics: typological - exploratory study for permanent tensile structures in Ecuador

**ANDREA GOYES-BALLADARES**   
Universidad Técnica de Ambato, Ecuador  
ac.goyes@uta.edu.ec

**DIEGO BETANCOURT-CHÁVEZ**   
Universidad Técnica de Ambato, Ecuador  
dbetancourt@uta.edu.ec

**ELIZABETH MORALES-URRUTIA**   
Universidad Técnica de Ambato, Ecuador  
ek.morales@uta.edu.ec

**JUAN PAREDES-CHICAIZA**   
Universidad Técnica de Ambato, Ecuador  
juan.paredes@uta.edu.ec

**RESUMEN** Las estructuras tensadas representan una notable evolución de los materiales de construcción, desde su construcción incipiente mediante telas elaboradas con fibras naturales hasta tejidos desarrollados con fibras sintéticas de altas prestaciones, que muestran la transformación de la ingeniería y el diseño de nuevos materiales. El propósito de este documento es explorar la utilización de tejidos compuestos en sistemas estructurales tensados de carácter permanente en Ecuador. Se lleva a cabo una investigación exploratoria de carácter descriptivo, que identifica los tipos de aplicación mediante una clasificación sistemática. Los resultados obtenidos se centran en las características de uso de las estructuras tensadas, región de construcción y detalle de las características técnicas, mecánicas y físicas, desde el enfoque de elemento estructural en sistemas tensados.

**ABSTRACT** Tensile structures represent a notable evolution of construction materials, from their incipient construction using fabrics made with natural fibers to fabrics developed with high-performance synthetic fibers, which show the transformation of engineering and the design of new materials. The purpose of this document is to explore the use of composite fabrics in permanent tensile structural systems in Ecuador. Exploratory descriptive research is carried out, which identifies the types of application through a systematic classification. The results obtained focus on the characteristics of the use of tensile structures, construction region and detail of the technical, mechanical and physical characteristics, from the structural element approach in tensioned systems.

**Received:** 04/03/2024  
**Revised:** 27/05/2024  
**Accepted:** 30/05/2024  
**Published:** 31/07/2024

**PALABRAS CLAVE** tensoestructuras, tejidos compuestos, estructuras livianas, tecnologías de la construcción

**KEYWORDS** tensile structures, composite fabrics, light weight structures, construction technologies



**Cómo citar este artículo/How to cite this article:** Goyes-Balladares, A., Betancourt-Chávez, D., Morales-Urrutia E. y Paredes-Chicaiza, J. (2024). Tejidos compuestos: estudio tipológico - exploratorio para estructuras tensadas permanentes en Ecuador. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 13(26), 123-132. <https://doi.org/10.18537/est.v013.n026.a08>

## 1. Introducción

Los tejidos compuestos son actualmente el material de construcción más liviano que existe y representan la mejor alternativa para crear estructuras espaciales ligeras con una manifestación visual de carácter minimalista (Milosevic et al., 2013). Se trata de un tejido conformado por hilos en el sentido longitudinal/urdimbre/wrap y en sentido transversal/trama/fill, que forma una malla bidireccional ortogonal, que se entrelazan en dos direcciones mutuamente perpendiculares ( $0^\circ$  y  $90^\circ$ ) (São João et al., 2016). Los hilos que constituyen el tejido están compuestos por varios filamentos entorchados, formando un torón. La disposición de estos torones determina si la trama es simple o doble, y está a su vez puede ser abierta o cerrada, dependiendo de los espacios entre los hilos al formar la malla (Carranza y Taco, 2011). Los materiales con los que se fabrican estos hilos de alta resistencia (Corazza, 2006) es la poliamida, el poliéster (PES), la fibra de vidrio y la aramida (Santomauro, 2008), adicionalmente, también se encuentra el politetrafluoroetileno (PTFE) (American Society of Civil Engineers, 2017).

Los tejidos son recubiertos con capas de cloruro de polivinilo (PVC), PTFE, poliolefinas y silicón (American Society of Civil Engineers, 2017). Con el fin de mejorar la durabilidad y autolimpieza de los materiales poliméricos se utilizan capas superiores de acrílico, fluoruro de polivinilideno (PVDF) y fluoruro de polivinilo (PVF) (Zhang et al., 2012). La combinación de recubrimientos poliméricos innovadores con fibras sintéticas de alta resistencia conforma un material con funciones estructurales (Antona, 2015). Este material exhibe propiedades como alta resistencia mecánica, hidrofobicidad, protección contra incendios y radiación solar, regulación climática, menores gastos de mantenimiento, viabilidad de instalación y desmantelamiento, capacidad para soportar cargas y el propio peso, así como también la resistencia al desgarro y proliferación de hongos (Hadvani y Patel, 2022a; Monjo-Carrió y Tejera, 2011). Se trata de un material que responde eficientemente a los requerimientos de coberturas de áreas de considerable extensión debido a su ligereza y costo (Cerdá, 2019), en comparación con otros sistemas estructurales como los tipo cáscaras de hormigón.

El comportamiento mecánico de los tejidos compuestos depende del tipo de fibras, diámetro de los hilos, geometría del tejido, la trama y espaciado del mismo (Beccarelli, 2015; Schlaich et al., 1990; Tolani et al., 2016; Zhang et al., 2012), de los procesos a los cuales ha sido sometida, el material de recubrimiento, los tratamientos mecánicos que ha recibido, la cantidad de humedad, densidad de fibras por unidad de volumen y de la temperatura (Tolani et al., 2016). El recubrimiento es unido a las fibras de tejidos a altas temperaturas a través de una unión química y mecánica, influyendo directamente en la rigidez cortante del conjunto (Schlaich et al., 1990). El principio básico de la materialidad es que son prácticamente inextensibles (Aguirregabiria, 2019). Se presenta el comportamiento de un material complejo,

no lineal, histérico y anisotrópico (Bridgens et al., 2004), capaz de soportar cargas únicamente en tensión (Berger, 1999; Hadvani y Patel, 2022b; Kamal, 2020). Por definición una estructura de tejidos compuestos, al igual que las membranas, desarrolla solamente fuerzas en su plano, sin o con insignificantes momentos flectores, eliminando las compresiones. Si son posibles tracciones y compresiones se llaman láminas (Schlaich et al., 1990).

Debido a su pequeño grosor, una estructura tensada no puede resistir la presión, es por eso, que se estabilizan mediante fuerzas de pre-esfuerzo en tensión (Valdés et al., 2009). Estas estructuras experimentan tensiones iniciales e, incluso después de someterse a cargas de servicio adicionales, logran mantener su estabilidad (Schlaich et al., 1990). Es importante mencionar que esto se realiza en las dos direcciones pues, cuando la tensión de urdimbre es menor que la tensión de trama, la tensión negativa en la dirección de la urdimbre puede reducir la eficiencia de uso del material (Zhang et al., 2012). De manera general, aquellas membranas con mayor capacidad de tracción serán más propensas al desgarro, lo que está directamente relacionado con la resistencia de una unidad de anchura y la densidad de hilos en la misma y de la temporalidad de las cargas (Cerdá, 2019). El factor de seguridad para estructuras tensadas es mayor que para estructuras tradicionales debido a la falta de confiabilidad del proceso de producción del material compuesto, el montaje de la estructura y sus conexiones; generalmente, tiene un valor de 4 a 7 (Gosling et al., 2013). Los diseñadores deben tener en cuenta las condiciones locales, como el clima, la exposición al viento, la nieve, y otros factores ambientales que pueden influir en el diseño y el comportamiento de la estructura (British Standards Institution, 2023).

Entre las principales particularidades de los tejidos compuestos en su aplicación arquitectónica está la relación directa entre tensión y forma (Rivas, 2018). La forma de una estructura tensada se convierte en la característica más importante tanto en un sentido arquitectónico como estructural (Milosevic et al., 2013). El textil optimiza el comportamiento de la estructura por ser ligera y flexible (Mubashra et al., 2021), incorporando nuevas posibilidades geométricas. La arquitectura utilizó textiles hace milenios, es una de las primeras formas de construcción que se fabricó de forma regular y generalizada, reconocida desde el acto primario de levantar una carpa (Knippers et al., 2011). No obstante, en la actualidad representa una de las formas de construcción más avanzadas e innovadoras, que continúa desarrollándose y puede adaptarse a estructuras permanentes con vida útil similar a la de los edificios construidos con materiales mucho más pesados (Textile Institute, 2015). Independientemente del sistema estructural, los textiles tensados en arquitectura tienen características formales pronunciadas que las diferencian de otros sistemas constructivos (Ambroziak y Kłowski, 2017; Lin y Roithmayr, 2015). Es notable el interés creciente de estos materiales en el ámbito

arquitectónico, debido a su rendimiento y formas complejas (Blonder et al, 2019) que se pueden lograr con las tecnologías recientes y avances significativos en cuanto a la regulación y codificación de su construcción (Beton, 2016).

Las estructuras tensadas permanentes entraron en la industria de la construcción con luces excepcionalmente grandes, cambiando drásticamente la forma en que se conceptualiza la construcción de edificaciones permanentes (Kamal, 2020), teniendo a la vez la función de estructura y revestimiento (Bridgens et al, 2004). Un ejemplo es el Aeropuerto Internacional de Denver (Estados Unidos) terminado en 1994. Este proyecto se consolidó como una estructura pública cerrada con una cubierta de tela, destacando en aquella época las características y potencialidades de las estructuras tensadas. En comparación con otros sistemas constructivos de cubierta, demostró su eficiencia al requerir menos tiempo de construcción, proporcionar protección durante la construcción de espacios interiores y tener un peso con apenas una décima parte de los sistemas tradicionales. Esto no solo reduce el costo de elementos de soporte y cimentación, sino que también disminuye el uso de equipos mecánicos y sistema de drenaje (Berger, 1999), llegando a reducir el costo entre un 50% a 60% (Tolani et al., 2016). Asimismo, el Estadio Olímpico de Londres 2012, cuya cubierta extensible permitió utilizar menos de la mitad del acero requerido que estadios comparables, redujo significativamente el impacto ambiental y se convirtió en uno de los estadios olímpicos más livianos construidos. Este diseño innovador no solo redujo el presupuesto de ejecución, sino que también minimizó el consumo de electricidad gracias a su naturaleza traslúcida, mejorando así el rendimiento energético del edificio (Lin y Roithmayr, 2015). Por tanto, se trata de un sistema estructural para la cubierta de grandes luces más eficiente, debido a su naturaleza liviana, translúcida y flexible que permite lograr una amplia gama de formas dinámica; y rentable debido a la reducción de costos de la construcción por la reducción de acero y rapidez de ejecución, minimización del consumo energético y mantenimiento mínimo (Bridgens et al, 2004; Hadvani y Patel, 2022a; Tolani et al, 2016).

Se habla de sistemas capaces de cubrir grandes luces (Bridgens et al, 2004; Hadvani y Patel, 2022a; Ivanova, 2022; Kamal, 2020; Lin y Roithmayr, 2015), permitiendo suponer espacios libres sin necesidad de soporte intermedios, menor material y generar esfuerzos de menor magnitud en las estructuras de soporte. Son aplicados en edificios con soluciones volumétrico-espaciales complejas, con mayor frecuencia en cubiertas (Hadvani y Patel, 2022a), que combinan elementos tensores de acero para crear soluciones únicas y eficaces para estructuras públicas, industriales y agrícolas (Ivanova, 2022). Los tejidos compuestos conjuntamente con la estructura de soporte pueden alcanzar distancias desde los 3 a 20 metros hasta luces de 200 metros (Kamal, 2020), con pesos muy liviano, siendo poco afectadas por el impacto de la aceleración del suelo en caso de movimientos sísmicos (Tolani et al, 2016).

En la actualidad existen varias tecnologías desarrolladas para mejorar las prestaciones de las membranas, garantizando una resistencia excepcional, estabilidad dimensional y ligereza en el material (Serge Ferrari, 2023). Este enfoque resulta en compuestos más estables al reducir significativamente las disparidades entre la urdimbre y la trama, logrando una rigidez consistente y equilibrada en toda la tela (Forster y Mollaert, 2004). Se elimina la deformación por carga, lo que contribuye a prolongar la vida útil del material (Zhang et al., 2012).

Bajo este contexto, el presente estudio proporciona una visión integral de las aplicaciones de las estructuras permanentes de tejidos compuestos tensados en Ecuador. Explora el tipo de aplicación a nivel de uso y región de implantación. Se brinda un análisis descriptivo de las propiedades técnicas, mecánicas y físicas, a fin de comprender sus características como elemento estructural. Finalmente, se pretende contribuir significativamente a la comprensión del conocimiento y del avance tecnológico en el campo de las estructuras tensadas de cubierta en el contexto ecuatoriano.

## 2. Método

Este estudio exploratorio-descriptivo, con un enfoque mixto, recoge datos exclusivamente sobre estructuras tensionadas de tejidos compuestos, implementadas por empresas especializadas en Ecuador. Los objetos de estudio son proyectos que hayan pasado por un proceso de diseño de la forma y dimensionamiento de la estructura de soporte bajo parámetros de estabilidad estructural y que respondan a la situación sísmica del país.

| Tipo | Nombre                          | Descriptores  |
|------|---------------------------------|---|
| a    | Cubiertas industriales          | Estas cubiertas están diseñadas para áreas dedicadas a la producción, fabricación y distribución de diversos productos.   |
| b    | Cubiertas deportivas            | Destinadas a áreas donde se practican diversos deportes, incluyendo canchas y piscinas.   |
| c    | Cubiertas educativas            | Estas cubiertas se encuentran en centros educativos, tanto públicos como privados, y excluyen áreas deportivas.   |
| d    | Cubiertas educativas/deportivas | Instaladas en centros educativos públicos o privado, en áreas exclusivamente deportivas.  |
| e    | Cubiertas de plazas y parques   | Destinadas a cubrir plazas públicas y áreas en parques que no están destinadas a actividades deportivas.  |
| f    | Aplicación en fachadas          | Edificaciones que apliquen los tejidos compuestos en fachadas.  |
| g    | Elementos de sombra             | Comprende cubiertas destinadas a proporcionar sombra en diversas estructuras, como graderías, mobiliario urbano y terrazas, ya sean públicas o privadas.  |
| h    | Conchas acústica                | Cubiertas instaladas en conchas acústicas para proyectos públicos o privados, diseñadas para mejorar la calidad acústica y proteger contra las condiciones climáticas durante eventos y presentaciones. |

Tabla 1: Tipos de aplicación

En la etapa inicial, se llevó a cabo una exploración de empresas especializadas en el país por medio del motor de búsqueda Google. Una vez identificadas se procedió a contactar con ellas para realizar una entrevista selectiva para conformar la muestra. (Tolani et al., 2016) menciona que el diseño de sistemas tensados se basa en las propiedades del material y su comportamiento ante las cargas, por lo cual se requiere la participación de especialistas para la búsqueda de la forma, análisis estático y análisis dinámico. Bajo este contexto, la recolección de información y parámetros de selección fue enfocada en las siguientes variables: existencia de un proceso de diseño arquitectónico formal y estructural sismorresistente realizado por un equipo interdisciplinar; así como una base de datos sobre los proyectos realizados y catálogos técnicos de materiales empleados.

A continuación, se procedió con la clasificación tipológica de acuerdo con las características de aplicación:

En esta fase del análisis, se estableció que los proyectos deben ser clasificados exclusivamente dentro de una categoría específica. La Tabla 1 muestra la clasificación de las 8 tipologías, identificadas con las letras de la 'a' a la 'h'. Cada tipo incluye un descriptor basado en las características de aplicación, permitiendo diferenciar entre cubiertas industriales, deportivas, educativas, deportivas/educativas, de plazas y parques, aplicaciones en fachadas, elementos de sombra y conchas acústicas. Además, se categorizó cada proyecto según su ubicación geográfica: costa, sierra, amazonía e insular.

A partir de los catálogos proporcionados por los fabricantes de tejidos compuestos empleados en los proyectos, se llevó a cabo la caracterización técnica de las mismas bajo los siguientes parámetros: propiedades físicas correspondientes al peso, espesor y estabilidad dimensional; propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, resistencia al desgarre y adhesión; y propiedades ópticas y solares tal como la reflectancia de luz visible, transmisión de luz visible, transmisión ultravioleta e índice de reflectancia solar.

Los valores recopilados de los catálogos fueron registrados de forma sistematizada en una matriz de recolección de datos. Posteriormente, se procedió con el cálculo de la media de dichos valores, permitiendo una síntesis representativa de las propiedades analizadas.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Proyecto por región

Se registró un total de 107 proyectos construidos en el Ecuador, distribuidos en diferentes regiones del país. El 42,5% de estos proyectos se ubican en la región sierra, el 37,9% en la región costa, el 18,4% en la región amazónica y un 1,1% en la región insular (Figura 1).

Es notable que aproximadamente la mitad de los proyectos se encuentran en la región sierra, caracterizada por temperaturas entre los 15°C a 24°C. Seguidamente de la región costa, en donde las temperaturas oscilan entre 22°C a 31°C. En la región amazónica, las temperaturas registradas son de 22°C a 28°C, mientras que en la región insular de 21°C a 32°C.

La diversidad geográfica del Ecuador, evidenciada por sus variadas condiciones climáticas, resalta la versatilidad de los tejidos compuestos en todas sus regiones. Estos materiales, provenientes de diferentes fabricantes, se utilizan como elementos estructurales y cumplen con los estándares internacionales de calidad. De acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas en el catálogo de la Empresa Estructuras Tensadas de Ecuador, las membranas se pueden utilizar en ambientes con temperaturas desde -30°C hasta 70°C, en cumplimiento con la normativa internacional del Instituto Alemán de Normalización DIN EN 1876:2, la cual describe el método y parámetros para determinar las propiedades bajo temperatura de tejido de recubiertos (Estructuras Tensadas, 2024).

### 3.2. Proyecto por tipo de aplicación y área promedio de construcción

La clasificación sistemática y tipológica ha permitido identificar las principales aplicaciones de membranas en proyectos de tensoestructuras en Ecuador (Figura 2). Se destacan 39 proyectos de elementos de sombra, con un área de cobertura promedio de 399m<sup>2</sup>. Estas estructuras están construidas principalmente en espacios de alimentación, estacionamientos, pasillos, paradas de transporte público, terrazas, graderías y como mobiliario urbano.

En la categoría de cubiertas en centros educativos, se han identificado 15 proyectos, implementados en áreas de sombra y descanso, con un área promedio de 325m<sup>2</sup>. Además, se registraron 15 aplicaciones en cubiertas deportivas, que cubren un promedio de 791m<sup>2</sup>, abarcando todo tipo de canchas para actividades físicas, incluidas piscinas. La categoría de cubiertas educativas/deportivas, correspondiente a 13 proyectos, comprende exclusivamente instalaciones en centros educativos públicos y privados, con un área promedio de 469m<sup>2</sup>.

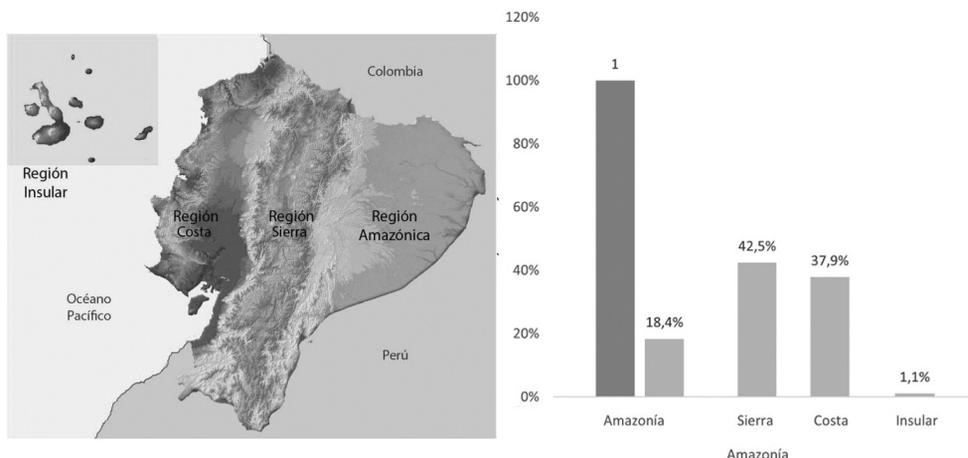
Se identificaron 13 cubiertas industriales, instaladas específicamente en líneas de producción y distribución de diversos productos, cumpliendo con los requerimientos de temperatura, luz y altura, y con un área promedio de 1490m<sup>2</sup>. Asimismo, se encontraron 7 cubiertas para plazas y parques, con un área promedio de 1970m<sup>2</sup>.

En la categoría de aplicación en fachadas, se registraron tres proyectos, con áreas de cobertura de 155m<sup>2</sup>. Finalmente, en la categoría de conchas acústicas, se contabilizaron dos proyectos, construidos principalmente en el ámbito público, con áreas promedio de 313m<sup>2</sup>.

El análisis tipológico muestra que la principal aplicación de las estructuras permanentes de membranas tensadas es en la categoría de elementos de sombra. Le siguen las cubiertas aplicadas en contextos educativos, cubiertas deportivas y cubiertas educativas/deportivas. Posteriormente se encuentran las cubiertas industriales, cubiertas de plazas y parques, aplicaciones en fachada y conchas acústicas. La presencia significativa de elementos de sombra a partir de sistemas tensados con tejidos compuestos, muestra la incursión de nuevas aplicaciones en el contexto pues, la más conocida a nivel internacional es en estadios (Tolani et al., 2016), es decir, en áreas deportivas. Desde la perspectiva constructiva se revela una notable jerarquía correspondiente al área promedio de aplicación. Las cubiertas en plazas y parques lideran la extensión, seguidas por las cubiertas industriales, cubiertas deportivas, cubiertas educativas/deportivas, cubiertas educativas, elementos de sombra y conchas acústicas. De manera interesante, las aplicaciones en fachadas presentan menor área promedio de aplicación de los tejidos compuestos.

La Figura 3 muestra fotografías de proyectos clasificados según la tipología de aplicación de tejidos compuestos en sistemas estructurales tensados. La imagen a) ilustra una cubierta industrial diseñada para una bodega de productos alimenticios en la región costa. La imagen b) corresponde a una cubierta deportiva construida para el Guayaquil Tennis Club en Samborondón, también en la región costa. La imagen c) presenta una cubierta educativa instalada en el Colegio Intisana de Quito, en la región Sierra. La imagen d) muestra una cubierta educativa/deportiva ubicada en el colegio Martim Cereré, también en la región Sierra. La imagen e) representa una cubierta diseñada para la Plaza Cívica Joya de los Sachas, en la región amazónica. La imagen f) ilustra la fachada del Lounge de la Universidad Espíritu Santo en Samborondón, en la región costa. La imagen g) muestra elementos de sombra ubicados como mobiliario urbano en Ambato, en la región Sierra.

Figura 1: Estructuras de membrana tensada por región en Ecuador



Finalmente, la imagen h) presenta una concha acústica construida para el Ágora de Yachay, en la región amazónica.

### 3.3. Propiedades técnicas, mecánicas y físicas

Las propiedades técnicas de los tejidos compuestos estudiados corresponden a tipos de hilo de poliéster de alta tenacidad (PES HT), los tipos de superficies evidenciadas en los catálogos de los proveedores corresponde a PVC, PTFE, PVDF, el peso se encuentra en el rango de 900 g/sqm a 1050 g/sqm y el espesor de las membranas se encuentra entre 0,72 mm a 1,14 mm.

En cuanto a las propiedades mecánicas las principales proporcionadas por los fabricantes son: la resistencia a la tracción, resistencia al desgarre y la adhesión. Para la resistencia la tracción se presenta dos valores trama/urdiembre pues es esforzado en los dos sentidos y cada uno de ellos tiene su propia resistencia, los valores característicos de 420/400 a 1000/800 daN/5cm. De mismo la resistencia al desgarre es representada con dos valores 120/110 a 160/140 da N/5cm. La resistencia a la adhesión entre las capas que conforman el compuesto se encuentra entre 11 a 15 da n/5cm.

Las propiedades físicas se encuentran clasificadas en base a la estabilidad dimensional, comportamiento ante el fuego y características ópticas y solares. La estabilidad dimensional caracterizada por la elongación es menor a 1% o 1.2%. Todos los tejidos compuestos son clasificadas como el tipo B1 según la DIN 4102-1. La reflectancia a luz visible, que se refiere a la cantidad de luz visible que una superficie refleja, existe un rango de 84% al 94%. La transmitancia de la luz visible, como la cantidad de luz que puede pasar a través de un material y puede ser percibida por el ojo humano, oscila entre el 5% al 9%. La transmisión ultravioleta de todos los tejidos compuestos es de 0% y el índice de reflectancia solar, como la capacidad de un material para reflejar la radiación solar incidente en lugar de absorberla, se encuentra entre el 85% al 95%.

En la Tabla 2 se presentan de manera concisa los valores característicos de las propiedades técnicas, mecánicas y físicas de las membranas utilizadas en los proyectos analizados y clasificadas anteriormente. En cuanto al peso y espesor, se evidencia la reducción muy significativa de la carga muerta de la estructura y por ende de las dimensiones del sistema de soporte y cimentación. El sistema tensado con base de tejidos compuestos representa la mejor opción para cubrir grandes luces, debido a su ligereza y flexibilidad alcanzan la eficiencia estructural, menos peso y mayor área de cobertura. La rentabilidad se logra debido al menor tiempo de instalación y menor costos de transporte. Los tejidos compuestos requieren un mantenimiento mínimo en comparación con sistemas estructurales convencionales como el acero. Se cumple con estándares de resistencia a rayos UV, humedad y a variaciones de temperatura, el material posee una garantía de fabricantes con promedio de 15 años.

Las propiedades mecánicas exhiben un material con prestaciones estructurales competitivas en el mercado, al funcionar como revestimiento, proporciona cobertura inmediata después de su instalación, convirtiéndose en un sistema de rápida construcción lo cual repercute directamente en el ámbito económico. El rendimiento térmico permanece estable a lo largo del tiempo, el comportamiento mecánico presenta igual resistencia antes y después del envejecimiento (São João et al, 2016).

Las propiedades físicas en lo referente a estabilidad dimensional y comportamiento ante el fuego muestran características propias de un material sobresaliente que compite directamente con los materiales tradicionales.

Las propiedades ópticas y solares contribuyen significativamente a la eficiencia energética del proyecto, incidiendo directamente en una disminución de consumo de eléctrico. Estas características, además de una destacada adaptabilidad a diversos planteamientos formales, muestran a las estructuras de membrana tensada como una solución versátil, rentable y ambientalmente amigable.

Al abordar el tema de las estructuras permanentes, resulta fundamental mencionar la vida útil para la cual se diseñan las membranas. De acuerdo con las especificaciones de los fabricantes de las membranas empleadas en los proyectos analizados, la vida útil que se espera es mayor a 30 años, lo cual va a depender del mantenimiento y de las características climáticas de la región de implantación.

Finalmente, la Tabla 2 exhibe que los tejidos compuestos poseen una clasificación de acuerdo con su comportamiento ante el fuego. No obstante, no debe interpretarse que se debe cumplir los mismos estándares que los materiales convencionales como el acero y el hormigón, pues el descenso de resistencia en el tiempo debido a la presencia de fuego resulta menos aplicable. Si bien es evidente que debe ser un material inflamable, resistentes al fuego durante un tiempo considerable para la evacuación de las personas hacia el exterior, tomando especial consideración en el humo y las gotas ardientes que se pueden generar (Monjo-Carrió y Tejera, 2011).

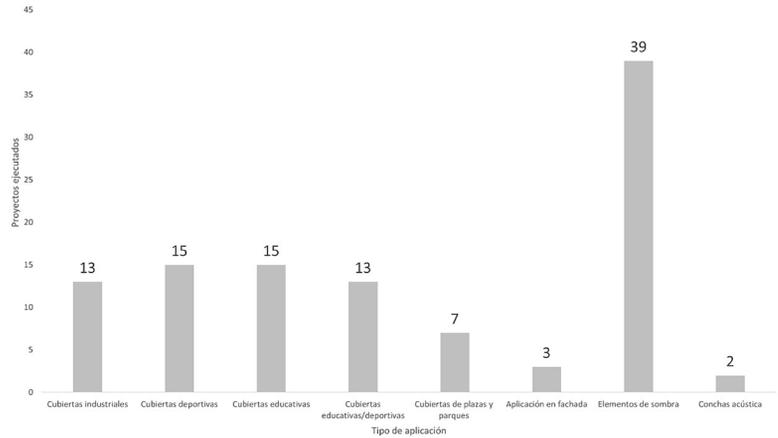


Figura 2: Estructuras de membrana tensada por tipo en Ecuador

|                              |                                   | Características             | Tipo/Valor                   |                 |                 |
|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------|
|                              | Propiedades técnicas              | Tipo de hilo                | PES High Tenacity            |                 |                 |
|                              |                                   | Superficie de cobertura     | PVC, PTFE, PVDF              |                 |                 |
|                              |                                   | Peso                        | 900 g/sqm                    |                 |                 |
|                              |                                   | Espesor                     | 1050 g/sqm                   |                 |                 |
|                              |                                   | Propiedades mecánicas       | Resistencia a la tracción    |                 | 0,72 mm         |
|                              |                                   |                             |                              |                 | 0,78 mm         |
|                              |                                   |                             |                              |                 | 1,02 mm         |
|                              |                                   |                             |                              |                 | 1,14 mm         |
|                              |                                   |                             |                              |                 | 430/430 daN/5cm |
|                              |                                   |                             |                              | 560/560 daN/5cm |                 |
|                              |                                   | 800/700 daN/5cm             |                              |                 |                 |
|                              |                                   | 1000/800 daN/5cm            |                              |                 |                 |
|                              |                                   | 420/400 daN/5cm             |                              |                 |                 |
| Propiedades mecánicas        | Resistencia al desgarre           |                             | 55/50 daN                    |                 |                 |
|                              |                                   |                             | 80/65daN                     |                 |                 |
|                              |                                   |                             | 120/110 daN                  |                 |                 |
|                              |                                   |                             | 160/140 daN                  |                 |                 |
|                              |                                   | Adhesión                    |                              | 11 daN/5cm      |                 |
|                              | 12 daN/5cm                        |                             |                              |                 |                 |
|                              | 13 daN/5cm                        |                             |                              |                 |                 |
| Estabilidad dimensional      | Elongación                        | <1,2% / <1,2%               |                              |                 |                 |
|                              | Elongación residual               | <1% / <1%                   |                              |                 |                 |
| Comportamiento ante el fuego |                                   | <0,5 %/ <0,5%               |                              |                 |                 |
|                              |                                   | <0,4 %/ <0,4%               |                              |                 |                 |
| Propiedades físicas          | Características ópticas y solares | Reflectancia de luz visible | B1/DIN 4102-1                |                 |                 |
|                              |                                   |                             |                              | 94%             |                 |
|                              |                                   |                             |                              | 84%             |                 |
|                              |                                   |                             |                              | 85%             |                 |
|                              |                                   |                             |                              | 90%             |                 |
|                              |                                   |                             |                              | 91%             |                 |
|                              |                                   |                             |                              | 87%             |                 |
|                              |                                   |                             |                              | 92%             |                 |
|                              |                                   |                             |                              | 94%             |                 |
|                              |                                   |                             | Transmitancia de luz visible |                 | 5,5%            |
|                              | 8%                                |                             |                              |                 |                 |
|                              | 7,5%                              |                             |                              |                 |                 |
|                              | 5%                                |                             |                              |                 |                 |
|                              | 4%                                |                             |                              |                 |                 |
| Transmitancia ultravioleta   |                                   | 9%                          |                              |                 |                 |
|                              |                                   | 6%                          |                              |                 |                 |
|                              |                                   | 0%                          |                              |                 |                 |
| Índice de reflectancia solar |                                   | SRI > 85%                   |                              |                 |                 |
|                              |                                   | SRI > 95%                   |                              |                 |                 |
|                              |                                   | SRI > 99%                   |                              |                 |                 |
| Garantía                     |                                   | Aproximadamente 15 años     |                              |                 |                 |
| Vida útil                    |                                   | Más de 30 años              |                              |                 |                 |

Tabla 2: Propiedades técnicas, mecánicas y físicas de tejidos compuestos empleados en estructuras permanentes en Ecuador



Figura 3: Estructuras de membrana tensada permanente en Ecuador a) Cubierta industrial. b) Cubierta deportiva. c) Cubierta educación. d) Cubierta educativa/deportiva. e) Cubierta de plazas. f) Aplicación en fachada. g) Elementos de sombra. h) Concha acústica. Tenzo (2024)

## 4. Conclusiones

Los sistemas de tejidos compuestos tensados representan la mejor alternativa para la construcción de cubiertas, debido a su capacidad de alcanzar grandes luces. Su aplicación destaca especialmente en poder lograr formas que resultan inalcanzables con materiales convencionales, proporcionando a los diseñadores el poder experimentar con la forma.

En el contexto ecuatoriano, estos sistemas se encuentran en una fase inicial de adopción, principalmente a través de proyectos de construcción de cubiertas del tipo arquitectónicas en la región sierra. A diferencia de proyectos, en el contexto internacional, con una magnitud representativa. Es importante mencionar la ausencia de una normativa nacional que establezca parámetros de diseño estructural y de las características óptimas de los tejidos compuestos para ser aplicados en sistemas estructurales permanentes.

Aunque representa una opción económicamente viable, es importante destacar que su aplicación se limita a sistemas solicitados exclusivamente a esfuerzo de tensión. En los casos donde los proyectos requieran responder a otros tipos de esfuerzos, se hace necesario otras soluciones constructivas más apropiadas.

Desde la perspectiva del diseño y construcción de proyectos que involucren cubiertas tensadas, se resalta la importancia de un equipo interdisciplinar en el proceso de diseño y ejecución, en el cual se requiere al menos un arquitecto, un ingeniero civil, un ingeniero mecánico y un ingeniero textil.

Los tejidos compuestos más ampliamente empleados en el ámbito son aquellos fabricados a partir de hilos de PES de alta tenacidad y revestidos de PVC. No obstante, todas las posibles variaciones de composición existentes en el mercado se encuentran desarrolladas con tecnología que les permite desempeñarse adecuadamente en cualquier condición climática del Ecuador.

Debido al potencial de los tejidos compuestos tensados de cubierta para generar geometrías complejas, que en ciertos casos se acerca a lo plástico, es de crucial importancia asignar cuidado al cálculo estructural, especialmente a lo referente a la carga de viento, considerandos los efectos tanto de sotavento y barlovento.

Los tejidos compuestos aplicados en cubierta son parte de los sistemas con capacidad de permitir el paso de la luz hacia el interior en diferentes porcentajes. Sin embargo, este atributo no debe ser considerado de forma aislada, ya que está directamente relacionado con las implicaciones a nivel de confort térmico. En ese sentido, entre más alta sea la transmisión de luz hacia el interior, más alta es la probabilidad de que se pueda producir situaciones de efecto invernadero no deseadas. Visto desde otra perspectiva, la traslucidez depende del tipo de acabado que posea el tejido, algunos de ellos como los de silicón tiende a ensuciarse más fácil que los

de acrílicos, siendo la capa de suciedad la que puede alterar la traslucidez en el espacio.

Los tejidos compuestos contribuyen a la concepción de estructuras livianas que combinan membranas de alta resistencia con sistemas de soporte de acero, logrando estabilidad mediante la distribución uniforme de las cargas en toda la superficie. Estas estructuras son versátiles y pueden adaptarse a diversas formas y tamaños, respondiendo al diseño morfológico que busca estabilizar la forma con la menor cantidad de soportes posible. El proceso de diseño de estas estructuras se fundamenta en la fase de "encuentro de la forma", que integra criterios tanto de diseño formal como de estabilidad estructural. A partir de la forma se establece el patronaje del tejido, se dimensiona la estructura de soporte y se establece los mecanismos de transferencia de solicitaciones. Se trata de un sistema notablemente ligero, debido a la cantidad de material que requiere, lo que evidentemente resulta en un sistema más económico en comparación con sistemas más robustos. Al utilizar menor cantidad de acero, implica menor costo de mantenimiento ante la prevención de procesos de corrosión y se centra más en la limpieza del material tensado. Por lo que son más económicos de mantener.

## 5. Agradecimientos

Este artículo se deriva del proyecto de investigación titulado "Instrucciones Técnicas para Materiales Textiles Utilizados en Estructuras de Superficie a Tensión", aprobado mediante la resolución No. UTA-CONIN-2023-0092-R y UTA-CONIN-2023-0093-R por la DIDE de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

**Conflict of Interests.** The authors declare no conflict of interests.

© **Copyright:** Andrea Goyes-Balladares, Diego Betancourt-Chávez, Elizabeth Morales-Urrutia y Juan Paredes-Chicaiza, 2024.

© **Copyright of the edition:** *Estoa*, 2024.

## 6. Referencias bibliográficas

- Aguirregabiria, B. L. (2019). *Materiales 2: Arquitectura Textil*. <http://oa.upm.es/57155/>
- Ambroziak, A., y Kłosowski, P. (2017). Mechanical properties of Preconstraint 1202 S2 based on uniaxial tensile and creep tests. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 36(4), 254–270. <https://doi.org/10.1177/0731684416682604>
- American Society of Civil Engineers. (2017). Tensile membrane structures. In *Tensile Membrane Structures ASCE/SEI 55-16*. American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784414378>
- Antona, C. (2015). *Estudio sobre la arquitectura textil [Bachelor's thesis, Universidad de Alicante]*. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/49689>
- Beccarelli, P. (2015). The design, analysis and construction of tensile fabric structures. In *Biaxial Testing for Fabrics and Foils* (Vol. 20, pp. 9–33). PoliMI SpringerBriefs. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-02228-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-02228-4_2)
- Bedon, C. (2016). Review on the use of FRP composites for façades and building skins. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(3), 713–723. <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2016.713.723>
- Berger, H. (1999). Form and function of tensile structures for permanent buildings. *Engineering Structures*, 21(8), 669–679. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(98\)00022-4](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(98)00022-4)
- Blonder, A., Latteur, P., y Grobman, Y. J. (2019). Introducing Fabric Materiality in architectural fibre composites. *Textile Intersections*, September, 0–10.
- Bridgens, B. N., Gosling, P. D., y Birchall, M. J. S. (2004). Tensile fabric structures: Concepts, practice y developments. *Structural Engineer*, 82(14), 21–27.
- British Standards Institution. (2023). *Design of tensioned membrane structures. PD CEN/TS 19102:2023*.
- Carranza, F., y Taco, J. (2011). *Cálculo y diseño estructural para la cubierta del Mercado Central de la parroquia de Píntag en base a tenso-estructura con el uso de Bambú Gigante (Dendrocálamus Asper) [Bachelor's thesis, Escuela Politécnica del Ejército]*. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/3175/1/T-ESPE-031072.pdf>
- Cerdá, M. (2019). *Membranas Para Estructuras Superficiales Tensadas (Trabajo final de grado. Universidad Politécnica de Valencia)*. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/115286/memoria\\_20451381.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/115286/memoria_20451381.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Corazza, C. (2006). *Mechanical characterization of technical textiles for the screen-printing: experimental tests and numerical analysis (Tesis doctoral, Politecnico di Milano)*. Estructuras Tensadas. (2024). *Technical specifications*. Architectural Membranes. <https://estructurastensadas.com/>
- Forster, B., y Mollaert, M. (2004). *European design guide for tensile surface structures* (TensiNet (ed.)).
- Gosling, P. D., Bridgens, B. N., Albrecht, A., Alpermann, H., Angeleri, A., Barnes, M., Bartle, N., Canobbio, R., Dieringer, F., Gellin, S., Lewis, W. J., Mageau, N., Mahadevan, R., Marion, J.-M., Marsden, P., Milligan, E., Phang, Y. P., Sahlin, K., Stimpfle, B., ... Uhlemann, J. (2013). Analysis and design of membrane structures: Results of a round robin exercise. *Engineering Structures*, 48, 313–328. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.10.008>
- Hadvani, D., y Patel, V. R. (2022a). Comparisons of Tensile Structure with Conventional Steel Structure. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 2(9), 109–115. <https://doi.org/10.48175/ijarsct-5307>
- Hadvani, D., y Patel, V. R. (2022b). Tensile Roof Structure. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 630–635. <https://doi.org/10.48175/ijarsct-5084>
- Ivanova, L. (2022). Tensile fabric structures. world construction experience and prospects. *Прикладная Геометрия и Инженерная Графика*, 101, 96–107. <https://doi.org/10.32347/0131-579x.202110196-107>
- Kamal, M. A. (2020). An investigation into tensile structure system: construction morphology and architectural interventions. *Journal of Building Materials and Structures*, 7(2), 236–254. <https://doi.org/10.34118/jbms.v7i2.776>
- Knippers, J., Cremers, J., Gabler, M., y Lienhard, J. (2011). *Construction Manual for Polymers + Membranes: Materials/Semi-finished Products/Form Finding/Design* (Birkhauser Verlag AG (ed.)).
- Lin, E. S., y Roithmayr, R. (2015). Building Information Modeling: Next steps for tensile membrane architecture. *VII International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures*, 93–104. <http://www.tensileevolution.com/†http://www.tensileevolution.com/>
- Milosevic, V., Igic, T., y Kostic, D. (2013). Tensile structures as the most advanced lightweight structures. *Facta Universitatis - Series: Architecture and Civil Engineering*, 11(3), 269–284. <https://doi.org/10.2298/fuace1303269m>
- Monjo-Carrió, J., y Tejera, J. (2011). The use of textile materials for architectural membranes. In *Fibrous and Composite Materials for Civil Engineering Applications* (Vol. 1). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857095583.3.325>
- Mubashra, A., Qamber, S. A., y Madaan, N. (2021). Architetiles : Design Multifunctional State. *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, 15(8), 26–40. [https://www.ijicc.net/images/Vol\\_15/Iss\\_8/15767\\_Mubashra\\_2021\\_E1\\_R.pdf](https://www.ijicc.net/images/Vol_15/Iss_8/15767_Mubashra_2021_E1_R.pdf)
- Rivas, C. (2018). *Matices tensados, evolucion y nuevas aplicaciones de las estructuras tensadas [Bachelor's thesis, Universidad Politécnica de Madrid]*. [Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/51881/>
- Santomauro, R. (2008). *tensoestructuras-uruguay.pdf* (Mastergraf (ed.)). <https://laotracedra.files.wordpress.com/2016/06/tensoestructuras-uruguay.pdf>
- São João, L., Carvalho, R., y Figueiro, R. (2016). A Study on the Durability Properties of Textile Membranes for Architectural Purposes. *Procedia Engineering*, 155, 230–237. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.024>
- Schlauch, J., Bergermann, R., y Sobek, W. (1990). Membranas. *Revista Digital Del Cedex*, 75(33). <http://tiposde.org/blog/informatica/33-tipos-de-antivirus/>
- Tenzo. (2024). *Cubiertas sin límites*. Proyectos Realizados. <https://www.tenzo.ec/>
- Textile Institute. (2015). *Fabric Structures in Architecture* (J. I. de Llorens (ed.)). Woodhead Publishing Limited.
- Tolani, A., Patil, G., Patil, A., Vadalkar, V., y Barbude, P. (2016). Advantages of Tensile Structures Over Other Space Frame Structures. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 05(05), 568–575. <https://doi.org/10.15623/ijret.2016.0505106>
- Valdés, J. G., Miquel, J., y Oñate, E. (2009). Nonlinear finite element analysis of orthotropic and prestressed membrane structures. *Finite Elements in Analysis and Design*, 45(6–7), 395–405. <https://doi.org/10.1016/j.finel.2008.11.008>
- Zhang, Y., Zhang, Q., y Lv, H. (2012). Mechanical properties of polyvinylchloride-coated fabrics processed with Preconstraint® technology. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(23), 1670–1684. <https://doi.org/10.1177/0731684412459898>