

# Aplicación de la seda de araña en disipador de energía de impacto

## Application of spider silk as impact energy dissipator

Daniel Cooban<sup>1</sup>, Dayberto Labastid<sup>1</sup>, Haxel Ríos<sup>1</sup>, Teresín Almanza<sup>1</sup> & Nacarí Marín<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Licenciatura en Ingeniería Naval – Facultad de Ingeniería Mecánica - Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup> Docente - Facultad de Ingeniería Mecánica– Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** Motivados por el alto nivel de resistencia, tenacidad e histéresis que presenta la seda de araña y su capacidad de adaptación en diversas aplicaciones, en este artículo se propone utilizar este material para la fabricación de los guardarraíles. El guardarraíl es un disipador de energía de impacto que es utilizado como elemento de protección de seguridad vial pasiva. Actualmente se utiliza acero galvanizado para la fabricación de los guardarraíles, debido a su alta resistencia, sin embargo, también es cuestionable por su alta rigidez. En este sentido, se propone reemplazarlo con un material construido a base de tela de araña, con mayor flexibilidad y menor dureza para garantizar la protección vial. Para asegurar la durabilidad de la estructura y protegerla de condiciones climáticas adversas, se propone revestirla con un recubrimiento de caucho etileno propileno dieno. Los análisis comparativos se harán con la ayuda del *software* de ingeniería ANSYS.

**Palabras claves** Guardarraíl, seda de araña, *nephila Clavipes*, caucho etileno propileno dieno (EPDM).

**Abstract** Motivated by the high level of strength, toughness and hysteresis of spider silk and its ability to adapt in various applications, this article intends to use this material for the manufacture of the guardrail. The guardrail is a sink impact energy which is used as a protective passive road safety. Galvanized steel is currently used to manufacture the guardrail, due to their high strength, but is questionable for its high stiffness. In this sense, it is proposed to replace it with a material constructed of spider silk, with greater flexibility and lower hardness to ensure road safety. To ensure the durability of the structure and protect it from adverse weather conditions, it is proposed coating it with a coating of rubber Ethylene Propylene Diene. Comparative analyzes will be made with the help of ANSYS engineering software.

**Keywords** Guardrail, spider silk, *Nephila clavipes*, ethylene propylene diene rubber.

\*Corresponding author: nacari.marin@utp.ac.pa

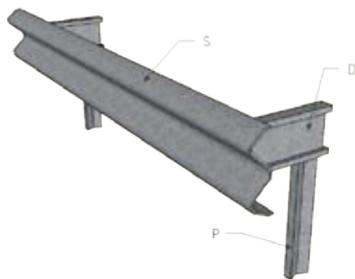
## 1. Introducción

En el mundo de las fibras naturales, la seda de araña ha sido reconocida como una fibra “maravillosa” debido a su combinación única de alta resistencia y alargamiento de rotura. En las investigaciones de Zemlin, J. C, 2011 y en Ko, Frank, 1977, se indica que la seda de araña tiene una resistencia tan alta como 1,75 GPa a un alargamiento a la rotura de más del 26% [1-2].

Con una tenacidad tres veces mayor que la de la aramida y que la de las fibras industriales, la seda de araña continúa atrayendo la atención de los científicos de fibras y aficionados [3-9].

Una barrera de metal o guardarraíl es un elemento de protección que se coloca a los lados de la vía, para separar vías de sentido contrario, o en tramos peligrosos para impedir que los vehículos se salgan de la ruta o puedan chocar contra otras estructuras u objetos más destructivos que la misma barrera.

De este modo, su función (idealmente) es absorber el impacto del vehículo, deformándose y devolviendo el vehículo nuevamente a la vía (ver figura 1).



**Figura 1.** Guardarraíl actual. Material constituyente: acero galvanizado.

Según registros actuales, en la mayoría de los accidentes, dependiendo del ángulo de impacto, estas barreras llegan a atravesar la carrocería del automóvil produciendo gravísimas lesiones a las personas que van a bordo.

En este trabajo de investigación se propone la utilización de un material desarrollado con capas de caucho y tela de seda de araña para reemplazar el material utilizado actualmente en los guardarraíles, el acero galvanizado.

Este acero presenta las siguientes propiedades: módulo de elasticidad 193-200 GPa, resistencia a la tensión 215 MPa, esfuerzo último 505 MPa, módulo de cortante 86 GPa.

Al combinar un material (tela de araña) que se estira dos veces más que el nylon, es ocho veces más fuerte que el acero y puede absorber diez veces más energía que el Kevlar, podemos reducir el índice de mortalidad debido a accidentes de automóviles que colisionan contra el guardarraíl.

Entre los muchos tipos de seda que se han caracterizado hasta el momento, las variedades más importantes incluyen la fibroína de capullos de seda del gusano de seda, *Bombyx mori* y la seda dragalina (*dragline silk*) de la araña *Nephila clavipes*.

La dragalina ha sido aplicada para el diseño de textiles en la fabricación de ropa y también se quiere utilizar para reemplazar el Kevlar en los chalecos antibalas. [10]

Al impactar la seda dragalina, la mayor parte de la energía se disipa en forma de calor. Esto se debe a una propiedad de suma importancia de la seda de araña, la histéresis, que es la relación entre la energía disipada y la energía absorbida. Esta relación indica que un porcentaje de la energía absorbida es disipada en forma de calor como consecuencia de la fricción interna del material. Es por ello que hemos decidido aprovecharla para reemplazar al acero galvanizado de los guardarraíles.

Ensayos realizados en investigaciones anteriores muestran claramente que la seda de araña presenta un comportamiento viscoelástico. [11] De modo que exhibe propiedades tanto elásticas como viscosas ante una deformación.

### 1.1 Proceso de manufactura de la seda

En este tipo de estructura, se utiliza el proceso de ensamblado textil, en el que los hilos de trama y de urdimbre no se entrecruzan formando ligamentos. Las fibras paralelas se hallan superpuestas unas a otras con diferentes orientaciones. Al tener esta forma se presenta

mejores propiedades que los fieltros y que los tejidos, por encontrarse el hilo trabajando completamente alineado con el sentido del esfuerzo. Son los ensamblados el tipo de estructura textil más utilizados en piezas de altos requerimientos estructurales. [12]

## 2. Materiales y métodos de unión

La seda de araña producida por la especie *Nephila clavipes* es el material principal del compuesto sugerido, cuenta con un esfuerzo de tensión de 1.1 GPa, histéresis de 65%, módulo de Young de 10 GPa, tenacidad de 160MJ/m<sup>3</sup>, límite elástico de 200-800 MPa y una deformación unitaria de 0.27. [12]

Para asegurar el óptimo rendimiento y durabilidad de la seda de araña en la aplicación en cuestión, se utiliza el caucho de Etileno Propileno Dieno (EPDM) como recubrimiento, protegiéndola así de condiciones climáticas como la humedad que incidan en su pronta degradación.

Este caucho es un termopolímero elastómero que tiene buena resistencia a la abrasión y al desgaste. Presenta una densidad de 870 kg/m<sup>3</sup>, una dureza Shore A entre 30 y 95, resistencia a la tracción de 7 a 21 MPa, elongación entre 100 a 600% y buena resistencia al desgarrar. [13 - 14]

El material propuesto está compuesto de una primera capa de caucho Etileno Propileno Dieno (EPDM) de 2mm de espesor, le siguen 4 capas de seda de araña con un espesor de 2mm cada una. El compuesto culmina con una capa de caucho de 2mm de espesor.

### 2.1 Uniones de los materiales utilizados

Para la adhesión de la seda de araña con el caucho, separación de superficies se utiliza el pegamento Resorcinol Formaldehído látex.

El Resorcinol Formaldehído látex es utilizado para la adhesión de cualquier tipo de textil con el caucho natural o con el de Etileno Propileno Dieno. [15]

La estructura cuenta con una capa de caucho Etileno Propileno Dieno (parte frontal), cuatro

capas de seda de araña y nuevamente una última capa de caucho (parte posterior).

Se toma el caucho, se le añade el pegamento de Resorcinol Formaldehído látex y se procede con la colocación de la capa de tela de seda de araña. Nuevamente se coloca el pegamento sobre la seda, para adherir la capa final de caucho. Se deja secar por un tiempo determinando a temperatura ambiente.

## 3. Análisis del material y comparación de resultados

La comparación de la eficiencia del guardarraíl fabricado con el material propuesto, se lleva a cabo con el material con el que actualmente es fabricado, el acero galvanizado, esto con ayuda del *software* ANSYS.

Para la simulación se asignó un automóvil de 2000kg, el cual impacta con la viga riel a una velocidad crítica de 120km/h (ver figuras 2 y 3).

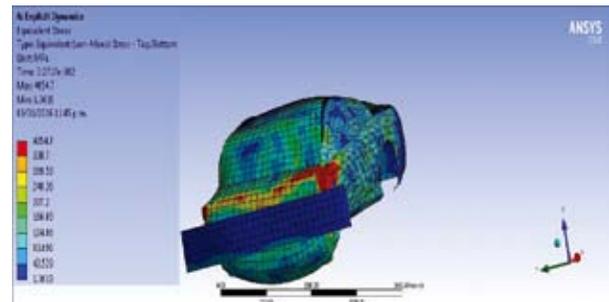


Figura 2. Esfuerzo.

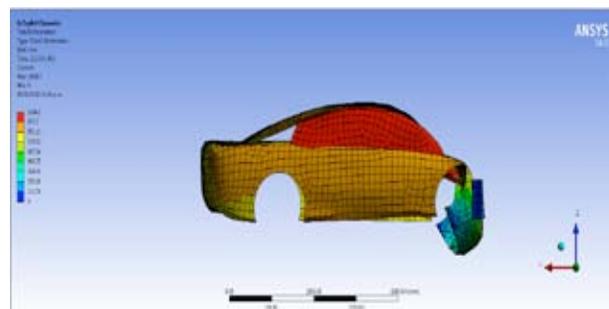


Figura 3. Deformación en milímetros.

### 3.1 Comparación del guardarraíl de acero con el guardarraíl utilizando seda de araña

Simulación empleando acero galvanizado 40mm espesor.

Se puede observar que la viga riel de acero galvanizado se mantiene rígida sin presentar mayor deformación ni concentración de esfuerzos, mientras que la carrocería del automóvil sí presenta gran deformación y concentración de esfuerzos alcanzando valores de 4 850 MPa.

Se observa que el coche al impactar con el guardarraíl de acero galvanizado, absorbe gran parte de la energía de impacto, lo que se ve en las tonalidades rojas en el vehículo, las deformaciones están por el orden de 1000mm (ver figuras 4 y 5).

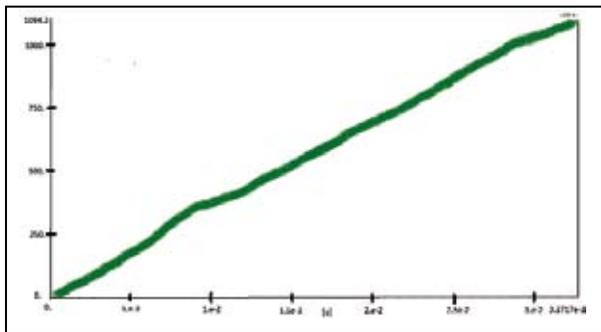


Figura 4. Gráfico de la deformación vs tiempo.

La gráfica muestra la variación de la deformación respecto al tiempo.

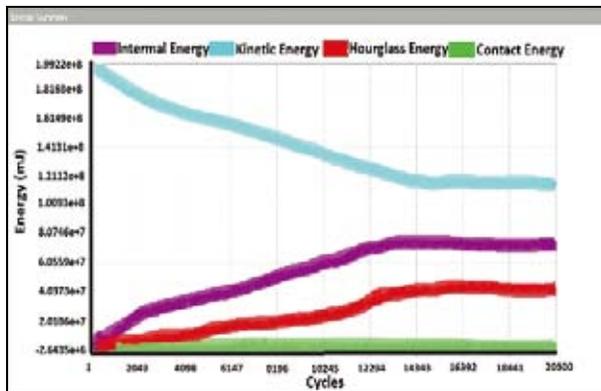


Figura 5. Gráficas de resúmenes de energía.

La figura muestra el comportamiento de las energías del sistema, tanto el guardarraíl como el automóvil, la curva celeste denota la energía cinética que viene decayendo, la curva violeta denota la energía interna que se ve va

aumentando. Vemos que estas curvas no se intersectan, por lo que el material no absorbe en energía interna toda la energía cinética.

### 3.2 Simulación empleando seda de araña

En las figuras 6 y 7 se presentan las imágenes obtenidas, en donde se observa que el esfuerzo en la viga riel de seda de araña sobrepasa por poco su límite de esfuerzo último (1.1 GPa), pero se nota los esfuerzos se concentran más en la lámina de seda de araña que en el vehículo.

Vemos que con un mayor espesor la distribución del esfuerzo hace que el guardarraíl se mantenga íntegro sin sobrepasar su límite elástico.

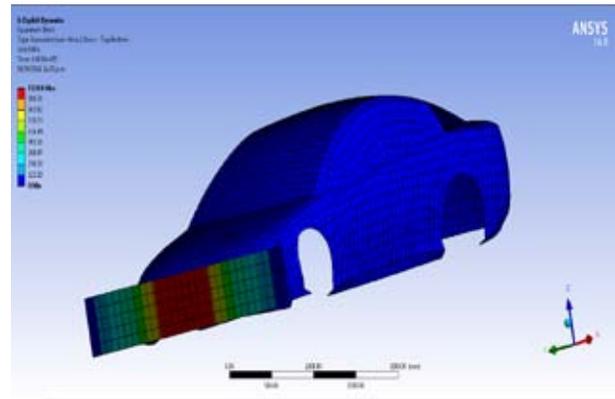


Figura 6. Esfuerzo para espesor de 2mm (una lámina).

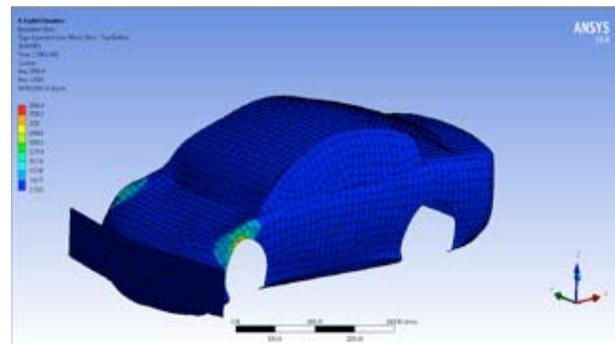
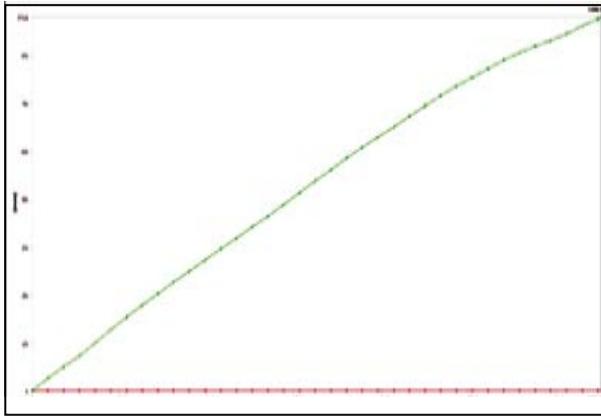


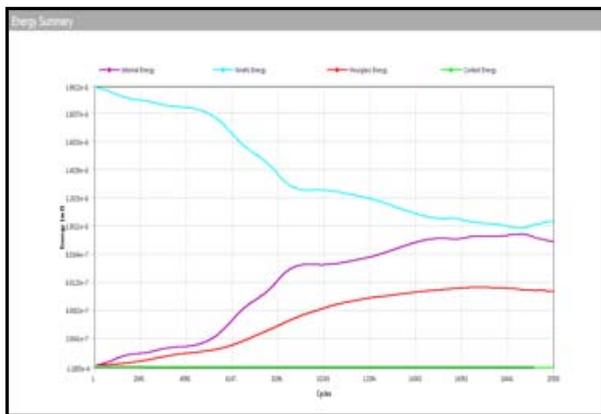
Figura 7. Esfuerzo para espesor de 40mm.

En las figuras 8 y 9 se presentan las gráficas de las deformaciones y de las energías.



**Figura 8.** Gráfico de la deformación en milímetro vs tiempo.

Se observa que la máxima deformación está en el orden de los 975mm.



**Figura 9.** Gráfico de resúmenes de energía.

Se puede apreciar para este caso que la curva de energía cinética y la curva de energía interna de deformación casi que intersectan lo que devela una buena absorción de energía cinética por parte del material de seda de araña.

#### 4. Discusiones y recomendaciones

Mediante el desarrollo de la propuesta se logró evaluar y comparar el comportamiento teórico, simulado mediante ANSYS, para el caso del guardarraíl diseñado a base de seda de araña y del guardarraíl convencional construido con acero galvanizado.

Por lo visto en el texto se puede notar que el guardarraíl diseñado a base de seda de araña resulta teóricamente, más eficiente en la absorción de energía de impacto que el guardarraíl convencional construido con acero galvanizado.

El diseño propuesto presentaría algunas ventajas como menos peso, facilidad de manejo, estructuras flexibles y con buena resistencia.

Estudios posteriores podrían basarse en la optimización de la forma geométrica de la viga carril, de modo que se pueda aprovechar al máximo sus valiosas propiedades. También se podrían llevar a cabo estudios pertinentes sobre la ubicación estratégica de los pilotes de apoyo para viga carril propuesta así como la longitud apropiada.

#### Agradecimientos

Agradecemos a todos los profesores que han formado parte de nuestro desarrollo intelectual. A los profesores: Mg. Jovanny Díaz, Dr. Dimas Portillo, Dr. Alexis Tejedor y Mg. Carlos Plazaola, por brindarnos sus conocimientos en algunos conceptos necesarios para el desarrollo de esta investigación.

#### REFERENCIAS

- [1] Zemlin, J. C., A Study of the Mechanical Behavior of Spider Silks, U. S. *Army Natick Report AD 333*, 19.
- [2] Ko, Frank, Nonlinear Viscoelasticity of Aramid Fibers, *Ph. D Thesis*, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Ga, 1977.
- [3] Witt, P. N., C. F. Reed, and D. B. Peakall, A Spider's Web: *Problems in Regulatory Biology*, Springer-Verlag, New York, 19b.
- [4] Friedrich, V. L. Jr., and R. M. Langer, Fine Structure of Cribellate Spider Silk, *Am. Zoologist*, 9, 91 (1969).
- [5] Peakall, D. B., Synthesis of Silk, Mechanism and Location, *Am. Zoologist*, 9, 71(1969).
- [6] Lucas, F., J. T. B. Shaw, and S. G. Smith, Comparative Studies of Fibroins: I. The Amino Acid Composition of Various Fibroins and Its Significance in Relation to Their Crystal Structure and Taxonomy, *J. of Molecular Biology*, 2, 339(1960).
- [7] Warwicker, J. O., Comparative Studies of Fibroins, *J. Molecular Biology*, 2, 350(1960).

- [8] Marples, B. J., The Spinnerets and Epiandrous Glands of Spiders, *J. Linnean Soc. (Zoology)*, 46, 209(1967).
- [9] Wilson, R. S., The Structure of the Dragline Control Valves in the Garden Spiders, *Quart. J. Micr. Sci.*, 104, 549(1962).
- [10] Centre de Documentació I Museu Textil de Terrassa. El Teixit. Barcelona, edición de la Diputació de Barcelona, Servei de Cultura.
- [11] Jorge Alencastre. *Tesis Doctoral*, “Caracterización de las Propiedades Dinámicas de la Seda de Araña”, Universidad Politécnica de Madrid, 2015.
- [12] Capart, Ludovic. Artículo “RTM ligh”. Barcelona, 16ª Jornadas de Materiales Compuestos/plásticos reforzados, 2002.
- [13] Cunliff, P. M., Fossey, S. A., Auerbach, A., Song, J. W., Kaplan, D., Adams, W., Eby, D. and Vezie, D. (1994). Mechanical and thermal properties of dragline silk from *Nephila clavipes*. *Polymers Adv. Technol.* 5, 401–410.
- [14] H. Ikeda, K. Katayama, M. Hibino and Y. Okado, *US Patent Appln*, 2002/0,074,050 (2002).
- [15] T. Takada, K. Ishida, Y. Hineno and I. Yoshida, *US Patent*, 6,361,462 (2002).
- [16] H. Hasaka, K. Takano and T. Kinoshita, *US Patent Appln*, 2001/0,034,282 (2001).
- [17] Navarro, Carlos, Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras, Paneles de Sandwich.