

Desafiando la gravedad

Andrea Michelle González Muñoz¹, Felipe de Jesús Cerda Hernández¹, Edgar Merino González¹, Luis Enrique Rodríguez Ramírez¹

¹ Ciencia Desde Cero

Resumen

La tensegridad es el principio bajo el que se sustentan aquellas estructuras cuya forma se debe exclusivamente al equilibrio entre la compresión y la tensión de sus elementos, por lo que su estabilidad no depende de la acción de ninguna fuerza externa, ni siquiera de la gravedad. En este taller se exploran estos conceptos mediante la construcción de una estructura conocida como icosaedro tensegrítico.

Tipo de público

Estudiantes				
Preescolar	Primaria	Secundaria	Bachillerato	
	X	X	X	
Otros sectores				
Familias	Jóvenes adultos	Adultos mayores	Madres de familia	Otro (especificar)
X	X			
¿La actividad ofrece ajustes para trabajar con un enfoque inclusivo? Especificar casos				
No				

Área de la ciencia: Física
Ingeniería
Arte

Conceptos clave: Estructura
Tensegridad
Compresión
Tensión
Gravedad

Objetivo (s)

- Conocer qué es la tensegridad y sus aplicaciones en el arte.

- Comprender los conceptos de comprensión, tensión y equilibrio.
- Construir una estructura tensegrática.
- Asombrarse con las cualidades de estas estructuras.
- Experimentar un acercamiento a la ciencia a través del arte.

Tipo de actividad: Taller.

Duración sugerida: 30 a 40 minutos.

Material	
Grupal	<p>Prototipo del producto final terminado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 12 abatelenguas de colores (de preferencia, dos de cada color). • 18 ligas del No. 18. • 1 cuchara de metal. • 1 lápiz. <p>Material para acompañar las instrucciones de la actividad manual:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 12 abatelenguas de colores (de preferencia, dos de cada color). • 18 ligas del No. 18. • 1 cuchara de metal. • 1 lápiz. <p>Ilustraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Imagen impresa de la escultura <i>Gleichgewicht Konstruktion</i>. • Imagen impresa de Richard Buckminster Fuller. • Imagen impresa de una rueda de bicicleta. • Imagen impresa de un icosaedro tensegrático. • Imagen impresa de la escultura <i>Needle Tower</i> de K. D. Snelson. • Imagen impresa de la escultura <i>Rainbow arch</i> de K. D. Snelson. • Imagen impresa del domo del museo <i>La Biosphère</i> en Canadá. • Imagen impresa del puente <i>Kurilpa</i> en Australia. • Imagen impresa de los fullerenos. • Imagen impresa de los <i>Biotensegrity models</i> de Tom Flemons. • Imagen impresa del <i>Super Ball Bot</i> de la NASA.
Por participante	<ul style="list-style-type: none"> • 12 abatelenguas de colores (de preferencia, dos de cada color). • 18 ligas del No. 18. • 1 cuchara de metal. • 1 lápiz.
Requerimientos técnicos	
<ul style="list-style-type: none"> • Mesa de trabajo. 	

- Sillas.

Factores de riesgo

- Recibir un ligazo si se suelta o se rompe una liga tensada.
- Astillarse los dedos al manipular los abatelenguas de madera.

Marco teórico

El término tensegridad fue acuñado en la década de 1960 por el diseñador y arquitecto estadounidense Richard Buckminster Fuller, como una contracción de las palabras en inglés *tensional integrity* (integridad tensional); sin embargo, a pesar de contar con una patente de 1962, otros dos personajes reclaman la autoría de este principio arquitectónico y escultórico: el arquitecto e ingeniero francés David Georges Emmerich, con una patente de 1964, y el escultor estadounidense Kenneth Duane Snelson, con una patente de 1965. No obstante, el propio Emmerich ha evidenciado que el primer prototipo de un sistema tensegrítico fue creado por el artista letón Karl Johansson en 1920: una escultura a la que nombró en alemán *Gleichgewicht konstruktion* (Construcción de equilibrio), que posteriormente fue rebautizada como Simplex (**Figura 1**).

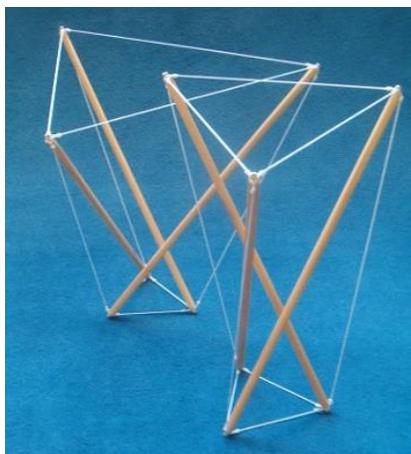


Figura 1 *Gleichgewicht konstruktion* o Simplex

Una estructura es la disposición de elementos que conforman un todo y cuya relación entre sí posibilita su funcionamiento como una sola cosa. Una estructura tensegrítica se compone de elementos rígidos (barras o vigas) unidos por elementos flexibles (cables o cuerdas). Los componentes rígidos comprimen la estructura, mientras que los componentes flexibles la tensionan. Se dice que un objeto está comprimido o se encuentra bajo compresión cuando se le aplican pares de fuerzas iguales y opuestas con la finalidad de reducir su tamaño. Por el contrario, un objeto está tensionado o se encuentra bajo tensión cuando estos pares de fuerzas buscan estirarlo o extenderlo. El equilibrio entre compresión y tensión mantiene la forma de una estructura tensegrítica, cuya estabilidad es independiente de la acción de cualquier fuerza externa, tal como la gravedad.

La gravedad es una fuerza de atracción mutua entre todos los objetos masivos. Por extensión, este término también se emplea para nombrar a la atracción dominante que ejerce la Tierra

sobre cualquier objeto próximo de menor masa. Precisamente, el peso de un cuerpo es una medida de la fuerza que atrae su masa hacia nuestro planeta. La acción de la gravedad es una cuestión fundamental para la arquitectura y la escultura tradicionales, pues las estructuras se mantienen erguidas debido a la distribución del peso de sus elementos cuando son colocados unos sobre otros, como sucede en un dintel o un arco.

En contraparte, la estabilidad de las estructuras tensegríticas proviene de un equilibrio interno generado por la tensión multidireccional de cada uno de sus componentes. Por ejemplo, pensemos en una rueda de radios, como las de las bicicletas: aunque la intuición nos dice que los radios mantienen la forma de la rueda porque “empujan” el rin hacia afuera, en realidad son cables que ejercen tensión hacia el centro de la circunferencia, en diferentes direcciones y en sentidos opuestos, lo que evita la deformación de la rueda al aplicarle peso. En este caso, el rin es el elemento rígido o de compresión.

Para clasificar las estructuras tensegríticas se han propuesto dos nomenclaturas. La primera, por Williamson y Whitehouse (2000), considera el número de elementos bajo compresión (N), el número de componentes bajo tensión (S), la disposición de la estructura en plantas o pisos (M) y el número de barras por planta (P_M). En esta nomenclatura, toda estructura se expresa como $(N,S;P_M)$. Por ejemplo, el Simplex se escribe $(3,9;3)$ (**Figura 2**).

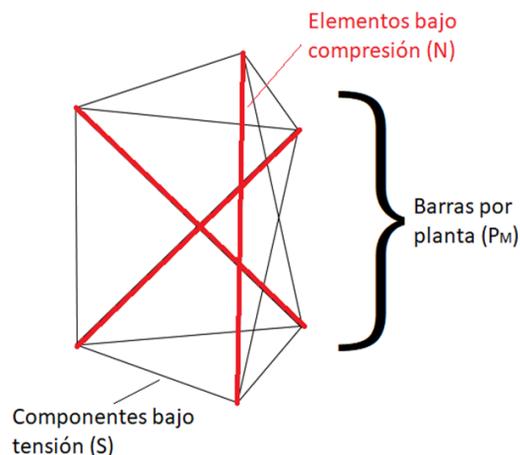


Figura 2 Elementos de la nomenclatura de Williamson y Whitehouse

La segunda nomenclatura, propuesta por Motro (2004), considera el número de vértices o nodos (n), elementos comprimidos (S), elementos tensionados (C); si la estructura es regular (R) (lados iguales y ángulos iguales) o irregular (I) (lados y ángulos distintos), y si se puede inscribir en una esfera (SS). En esta nomenclatura, Simplex se denomina $n_6-S_3-C_9-R-SS$ (**Figura 3**).

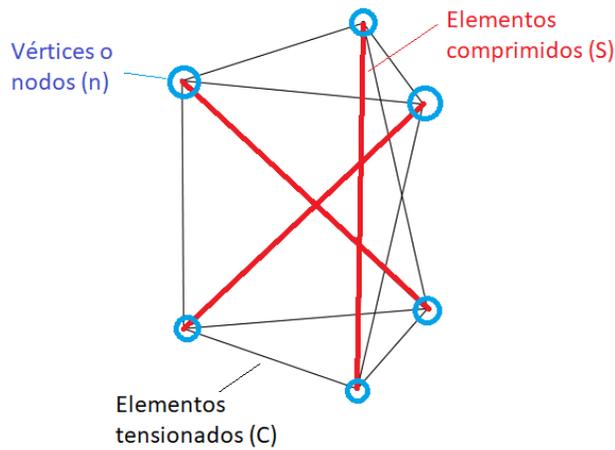


Figura 3 Elementos de la nomenclatura de Motro

En este taller se elabora una estructura formada por seis barras y 24 cables (**Figura 4**). Esta estructura tensegrítica lleva por nombre icosaedro, como el poliedro regular que posee 12 vértices y 20 caras triangulares. En este caso, los extremos de las barras definen los 12 vértices, mientras que los cables delimitan ocho triángulos equiláteros y seis rombos (formados por dos triángulos equiláteros cada uno), lo que hace un total de 20 caras triangulares. El icosaedro tensegrítico se identifica como (6,24;6) en la clasificación de Williamson y Whitehouse, y como n12-S6-C24-R-SS en la clasificación de Motro.

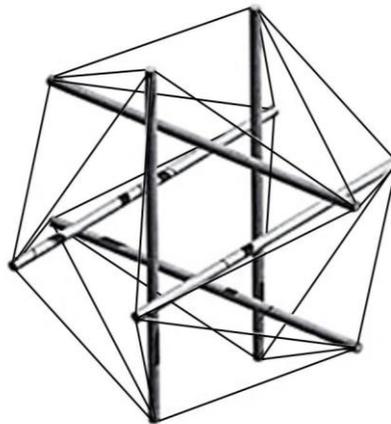


Figura 4 Icosaedro tensegrítico

Flujo de la actividad

El tallerista pregunta a los participantes si alguna vez han escuchado el término tensegridad o con qué palabras lo relacionan. Posteriormente, les explica que se trata del principio en el que se basa la construcción de ciertas estructuras, formadas por dos tipos de elementos: componentes bajo compresión (barras o vigas) unidos solamente por componentes bajo tensión (cables o cuerdas). A partir de ejemplos de la vida cotidiana, el expositor ilustra los conceptos de compresión (amasar plastilina), tensión (jalar una cuerda) y equilibrio (sube y

baja). Se pide al público que aporte otros ejemplos conocidos de estos conceptos. El tallerista explica que, gracias al equilibrio entre la compresión y la tensión de sus elementos, las estructuras tensegríticas obtienen su forma y mantienen su estabilidad sin depender de alguna fuerza externa, como la gravedad, para sostener sus partes.

En seguida, se cuenta el origen de este principio estructural, iniciando por el Simplex, la primera estructura tensegrítica de la que se tiene registro, diseñada en 1920 por el artista letón Karl Johansson, un excombatiente de la Primera Guerra Mundial. Después, se explica el origen de la palabra tensegridad, acuñada por el diseñador y arquitecto estadounidense Richard Buckminster Fuller en la década de 1960. Se expone la controversia que hay entre éste, el arquitecto e ingeniero francés David Georges Emmerich y el escultor estadounidense Kenneth Duane Snelson por la invención de la tensegridad.

El tallerista presenta algunos ejemplos del uso y las aplicaciones de estructuras tensegríticas en la vida cotidiana (las ruedas de las bicicletas, **Figura 5.a**), la escultura (las piezas *Needle Tower*, **Figura 5.b**, y *Rainbow Arch*, **Figura 5.c**, de Kenneth Duane Snelson), la arquitectura (el domo del museo *La Biosphère* en Montreal, Canadá, **Figura 5.d**, y el puente *Kurilpa* en Queensland, Australia, **Figura 5.e**), la ciencia (las moléculas orgánicas llamadas fullerenos, en honor a Richard Buckminster Fuller, **Figura 5.f**, así como los *Biotensegrity Models* de Tom Flemons para visualizar la mecánica del cuerpo humano, **Figura 5.g**) y la tecnología (el robot *Super Ball Bot*, un icosaedro tensegrítico diseñado por la NASA para misiones interplanetarias, **Figura 5.h**). Se pide a los participantes que mencionen otros ejemplos, si los conocen.

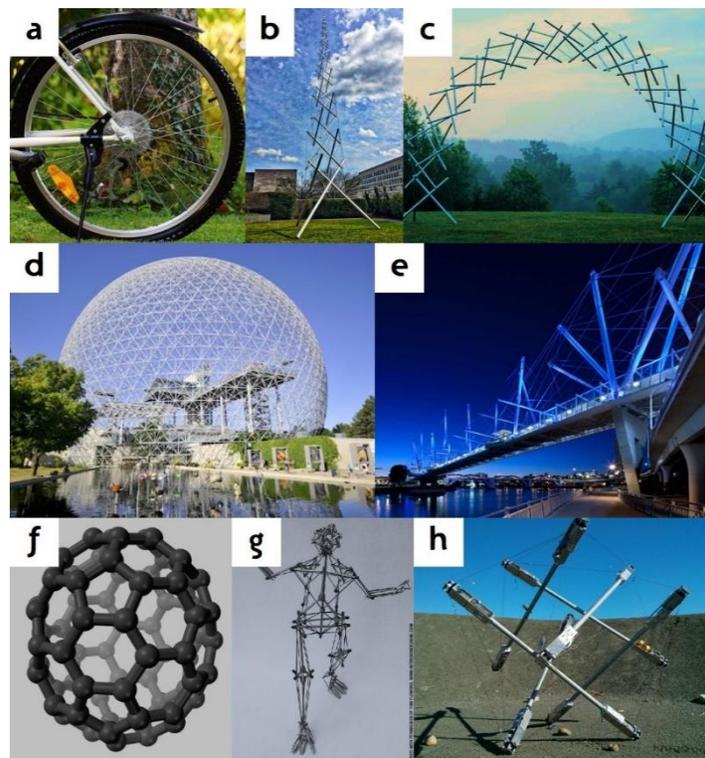
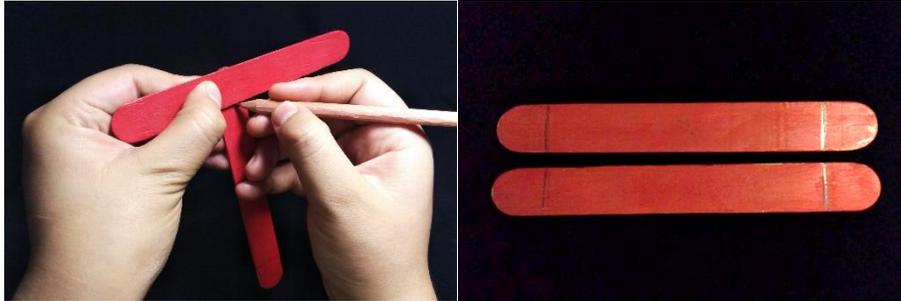


Figura 5 Usos y aplicaciones de la tensegridad

Una vez abordado el contenido científico, el tallerista guía al público en la elaboración de un icosaedro tensegrítico por medio de las siguientes instrucciones:

1. Formar una letra “T” con dos abatelenguas y marcar con el lápiz la medida del horizontal sobre el vertical. Repetir este paso con los dos extremos de todos los abatelenguas.



2. Poner un abatelenguas encima de otro, con las marcas de lápiz hacia el exterior. Enrollar una liga en cada extremo del par, sobre las marcas de lápiz, para mantenerlo junto.



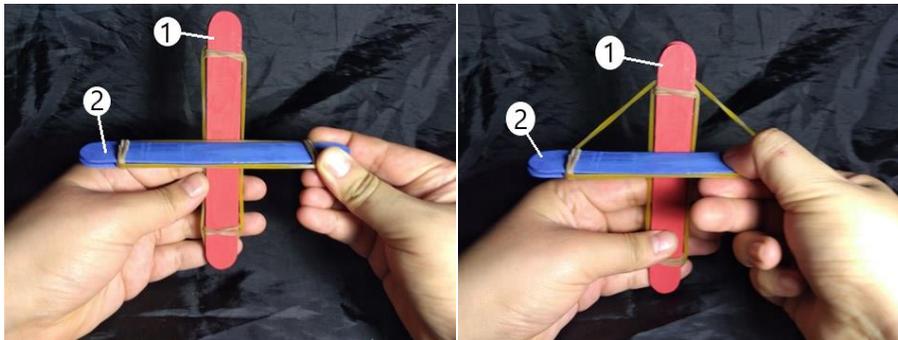
3. Usar la cuchara de metal para separar ligeramente los bordes de un extremo del par de abatelenguas e introducir el extremo de una liga en esta separación. Del mismo modo, meter el otro extremo de la liga en los bordes opuestos de los abatelenguas.



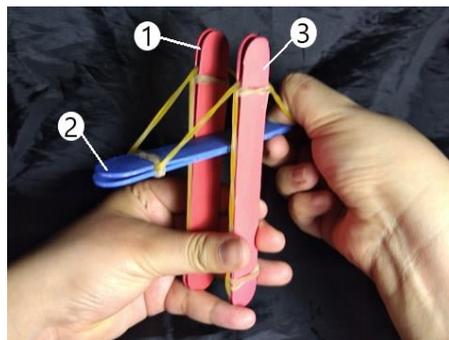
4. Repetir los pasos 1 al 3 con el resto de los abatelenguas, para tener seis pares. Usar el lápiz para enumerar las piezas resultantes, del uno al seis, por ambos lados.



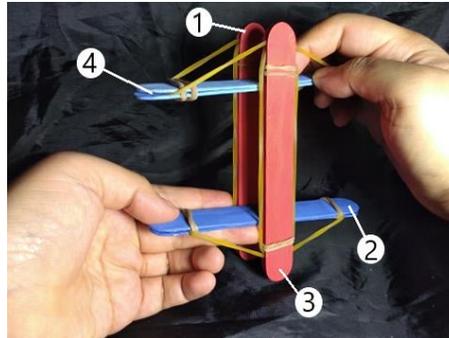
5. Tomar dos piezas y colocarlas en cruz: (1) en posición vertical con su cara plana hacia el participante y (2) en posición horizontal con su cara plana hacia el suelo. Sujetar un tramo de liga que cuelga de la pieza (2) e introducirlo entre los abatelenguas del borde superior de la pieza (1).



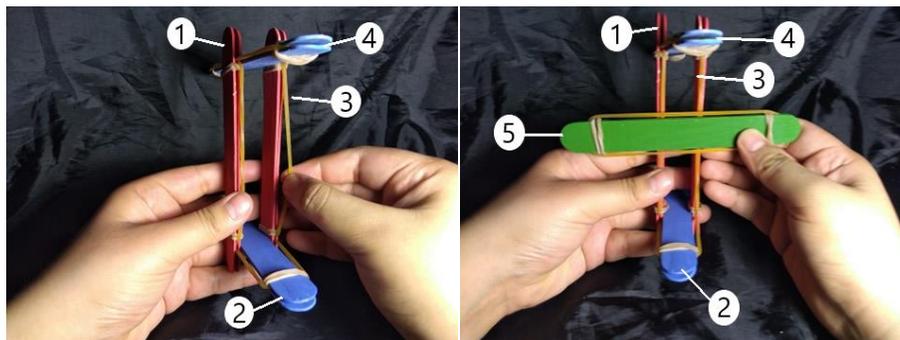
6. Colocar la pieza (3) de forma paralela a la pieza (1), con la pieza (2) entre ambas. Sujetar el tramo libre de la liga de la pieza (2) e introducirlo entre los abatelenguas del borde superior de la pieza (3).



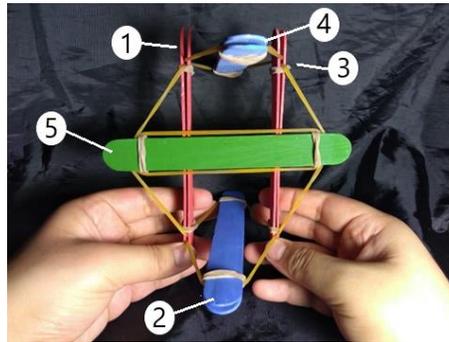
7. Con cuidado, poner la figura de cabeza y colocar la pieza (4) entre las piezas (1) y (3), de forma paralela a la pieza (2). Introducir los tramos de liga de pieza (4) entre los abatelenguas de los bordes superiores de las piezas (1) and (3). La figura que se forma se asemeja a una letra “I” cuando se le ve de frente.



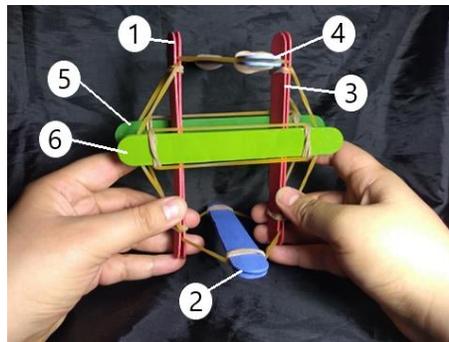
8. Sostener la figura como se muestra a continuación. Tomar la pieza (5) y colocarla de forma perpendicular tanto a las piezas verticales como a las horizontales. De este modo, las piezas (1) y (3) apuntan en la dirección arriba-abajo, las piezas (2) y (4) apuntan en la dirección adelante-atrás y la pieza (5) apunta en la dirección derecha-izquierda.



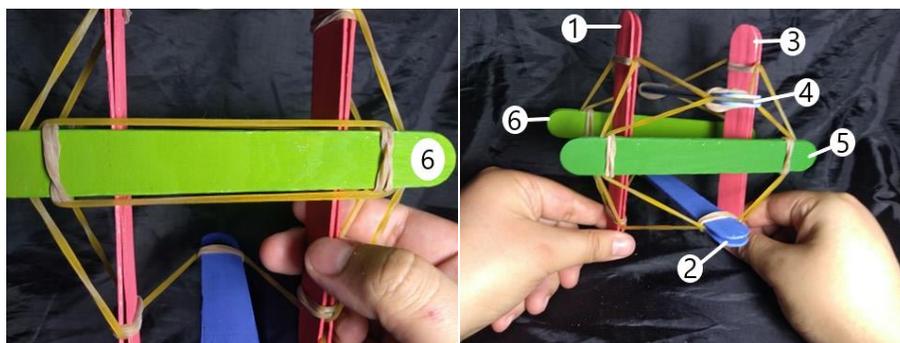
9. Observar que a los costados de las piezas (1) y (3) sobresalen los tramos de las ligas colocadas en el paso 3. Introducir el tramo de liga de la pieza (1) entre los abatelenguas del borde izquierdo de la pieza (5). Introducir el tramo de liga de la pieza (3) entre los abatelenguas del borde derecho de la pieza (5).



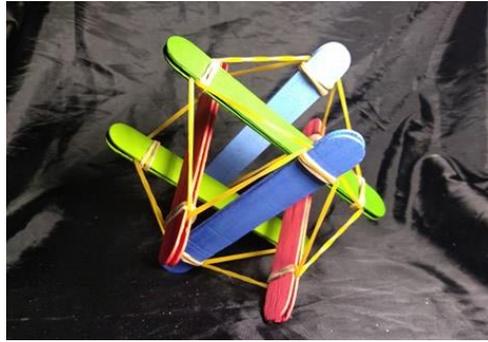
10. Tomar la pieza (6) y repetir el paso anterior en el lado opuesto de la figura. Se puede pedir ayuda de otra persona para sostener la figura y evitar que se desarme.



11. Observar que a los costados de las piezas (5) y (6) sobresalen los tramos de las ligas colocadas en el paso 3. Introducirlos entre los bordes de las piezas (2) y (4) de la misma forma en que se hizo con las piezas anteriores.



12. ¡Listo, la escultura está terminada! Los participantes pueden intentar compactarla con sus manos y sentir cómo la tensión de las ligas evita que pierda su forma.



Para terminar, el tallerista puede retar a los participantes a dejar caer su icosaedro tensegrítico desde lo más alto que puedan levantar su brazo, para mostrar que el equilibrio entre tensión y compresión permite que la escultura mantenga o recupere su forma, a pesar del impacto. Precisamente, esto es lo que se espera en los aterrizajes de las misiones interplanetarias del *Super Ball Bot* de la NASA.

Bibliografía

Beneytez, R. y Manuel, V. (2014). Tensegridad como crítica al abuso de las formas estables. *ARQ* (Santiago), (87), 22-33. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962014000200004>

Burkhardt, R. (2008). *A practical guide to tensegrity design*. Cambridge. https://www.angelfire.com/ma4/bob_wb/tenseg.pdf

Gómez, V. (2007). *Tensegridad: estructuras tensegríticas en ciencia y arte*. Universidad de Cantabria. <https://www.editorialuc.es/libro/tensegridad-estructuras-tensegriticas-en-ciencia-y-arte-0>

Hall, L. (7 de agosto de 2017). *Tensegrity Robot: Child's Play or Space Tech?* NASA. <https://www.nasa.gov/content/super-ball-bot>

Sienra, R. (7 de enero de 2021). *Ocho estructuras y edificios que utilizan la tensegridad para desafiar la gravedad*. My Modern Met en español. <https://mymodernmet.com/es/tensegridad-arquitectura/>

Tang, R. (2018). *Tensegridad y Arquitectura*. Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/51843/1/TFG_Tang_Ruichenop.pdf