

Origami matemático y sus aplicaciones en la ingeniería

Ing. Adán Castillo Peña*, Dra. Haydey Álvarez Allende, M. en C. Erick Nadir Grijalva Reyna.

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua, * Estudiante de la Maestría en Ciencias Básicas de la UACH. FINGUACH Año 5, Núm. 15, Marzo - Mayo 2018

El origami es un arte de origen japonés de doblar papel. La palabra origami está formada por los términos *ori* que significa doblar y por *gami* que significa papel. Anteriormente se asociaba con la cultura japonesa pero ahora se usa el término para denotar cualquier doblez de papel independientemente del origen. Este tipo de arte ha existido desde hace muchos años, en Japón el registro más antiguo que se tiene de la existencia del origami es un poema escrito por Ihara Saikaku en 1680 en el que menciona diseños de mariposas usados en bodas. Es sólo en tiempos recientes que avances en diferentes áreas como ciencias de la computación, teoría de números y geometría computacional han permitido que las estructuras creadas por medio del origami vayan más allá del arte.

Cuando se utilizan métodos computacionales o un análisis matemático para generar el origami se le designa como origami matemático, lo importante de éste último es que permite diseñar estructuras nuevas que tienen aplicación en la ingeniería. El primero en proponer la ingeniería del origami fue Taketoshi Najima y desde entonces las aplicaciones que ha tenido el origami en la ingeniería han aumentado considerablemente. En el origami tradicional no se permite hacer cortes a la hoja de papel, el *kirigami* es una variación del origami que sí incluye cortes en el papel. Muchas veces el *kirigami* proporciona una ventaja en la manufactura de las estructuras lo cual hace que sea adecuado para la ingeniería.

Origami matemático

En 1992 el matemático Miaki Huzita publicó una lista de todas las posibles operaciones que se pueden hacer cuando se dobla papel, tiempo después Koshiro Hatori encontró otra operación. A esta lista se le conoce como los axiomas del origami, también se le conoce como los axiomas de Huzita-Hatori. Los axiomas son: a) dados dos puntos P y Q se puede doblar el papel, formando una línea que los conecte; b) dados dos puntos P y Q se puede doblar el papel de tal forma que P quede situado sobre Q; c) dadas dos rectas r y s se puede hacer un pliegue de tal forma que r quede sobre s; d) dado un punto P y una recta r se puede realizar un doblez perpendicular a r que pasa por P; e) dada una recta r y dos puntos P y Q se puede realizar un doblez que posicione a Q sobre r y el doblez va a pasar sobre P; f) da-

dos dos puntos P y Q y dos rectas r y s se puede hacer un doblez que sitúe a P sobre la línea r y a Q sobre s; g) dado un punto P y dos líneas r y s se puede realizar un doblez perpendicular a r que posicione a P sobre s. Estas operaciones describen dobleces básicos y proporcionan la base para el origami matemático. Lo interesante de estos axiomas aparte de que nos permiten formar cualquier polígono regular, es que también se pueden usar para resolver ecuaciones cuadráticas, cúbicas, cuárticas, encontrar raíces cúbicas, entre otras cosas.

En ciertas ramas del diseño de estructuras hechas con base a los axiomas para origami se pone especial interés en generar diseños que cambien de manera considerable cuando se comprime o cuando se alarga la estructura. Un diseño de este tipo se llama planamente doblable; que un diseño sea planamente doblable significa que se puede doblar hasta un solo plano cuyo grosor está determinado por el material.



Figura 1. Aquí se aprecia un diseño planamente doblable. Se puede ver el patrón de pliegues, su forma comprimida y su forma extendida.

Para llegar a un diseño de ese tipo se hacen dobleces de acuerdo a un patrón de pliegues en la hoja, en este patrón se van a encontrar las que se conocen como crestas y valles. El punto donde se intersectan los pliegues se le conoce como vértice.

Hay dos teoremas que dicen cómo formar patrones que dan lugar a un diseño planamente doblable, el teorema de Kawasaki y el teorema de Maekawa. El teorema de Kawasaki dice que en cualquier vértice la suma de los ángulos pares y los ángulos impares es la misma y las dos sumas son iguales a 180 grados.

El teorema de Maekawa dice que el número de crestas y valles siempre difiere en dos. Estos teoremas son condiciones suficientes para que el patrón de pliegues dé lugar a una estructura planamente doblable. Este tipo de estructuras son las más usadas en la ingeniería.

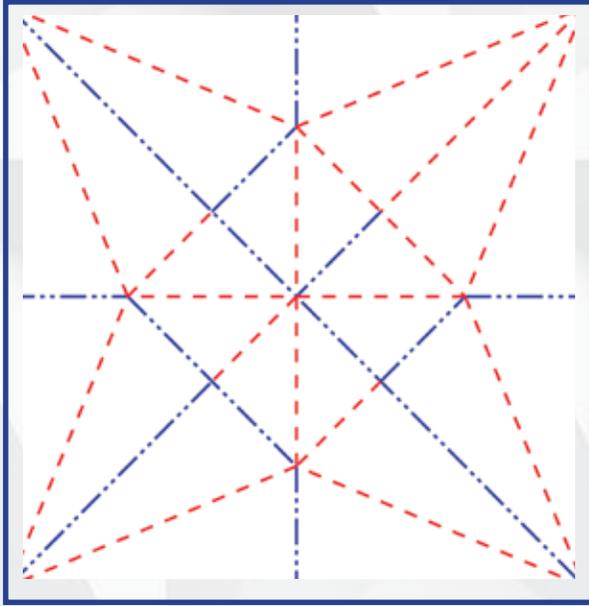


Figura 2. Aquí se muestra el teorema de Maekawa, las crestas (líneas azules) y los valles (rojas) siempre difieren en dos. Imagen extraída de *Wikipedia* creada por el usuario Dmcq.

Origami en la ingeniería

Las estructuras hechas con base al origami han encontrado aplicación en varias ramas de la ingeniería, entre ellas en la ingeniería mecánica, en la robótica así como en dispositivos médicos. Una rama del origami que está directamente relacionada con la ingeniería es el origami rígido, en donde los pliegues se consideran como bisagras que juntan dos superficies planas y rígidas como una hoja de metal. El pliegue de Miura es un ejemplo de ello, este método inventado por el astrofísico Koryo Miura sirve para doblar una superficie plana en una de área más pequeña. Este método se ha usado en el programa espacial japonés para doblar arreglos de módulos solares antes de mandarlos al espacio y que se desplieguen estando allá. Esto con la finalidad de que sean más fáciles de transportar.

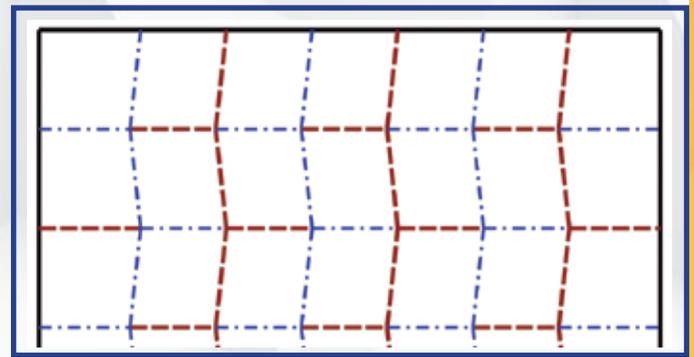
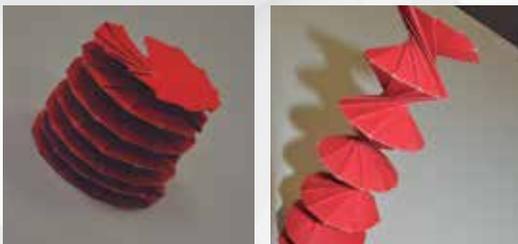


Figura 3. Patrón de pliegues para el doblado de Miura. Las líneas sólidas indican crestas y las punteadas valles. Imagen obtenida de Evans *et al.*

Entre las aplicaciones se ha encontrado que cuando se le introduce un resorte a estructuras muy parecidas a la mostrada en la Figura 1 entre el estado doblado y el inicial, éste sirve como un aislante de vibraciones que no transmite oscilaciones al otro lado de la estructura. También en el diseño de las bolsas de aire se ha hecho uso del origami; el físico americano Robert Lang ha aplicado origami para resolver el problema de doblar bolsas de aire para disminuir su espacio de almacenamiento. Otra aplicación de las estructuras hechas con base de origami en los automóviles es en la creación de absorbentes de energía en autos de pasajeros que protegen a estos en caso de algún choque.

Como se puede ver el arte del origami no sirve nada más para crear estructuras bonitas, sino que se ha basado en las matemáticas para tener aplicaciones en la ingeniería. Estas aplicaciones surgen del comportamiento de las estructuras cuando se comprimen o despliegan. Entre las aplicaciones se encuentran estructuras para minimizar el espacio de almacenamiento, aislar vibraciones, absorber energía, entre otras.

Referencias:

- Evans, T. Lang, R. Magleby, S. Howell, L (2015). Rigid foldable origami gadgets and tessellations. *Royal Society Open Science*.
- Ishida, S., Hagiwara, I. Introduction to mathematical origami and origami engineering.
- Legner, P. Mathematical origami.
- Turner, N., Goodwine, B., Sen, M. A review of origami and its applications in mechanical.
- Nishiyama, Y. (2012). Miura folding: applying origami to space exploration. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 79(2), 269-279.
- Lang, R. (2004-2017). Airbag Folding. Recuperado de <http://www.langorigami.com/article/airbag-folding>
- Hatori, K. History of Origami. Recuperado de <http://www.origami.ousaan.com/library/historye.html>