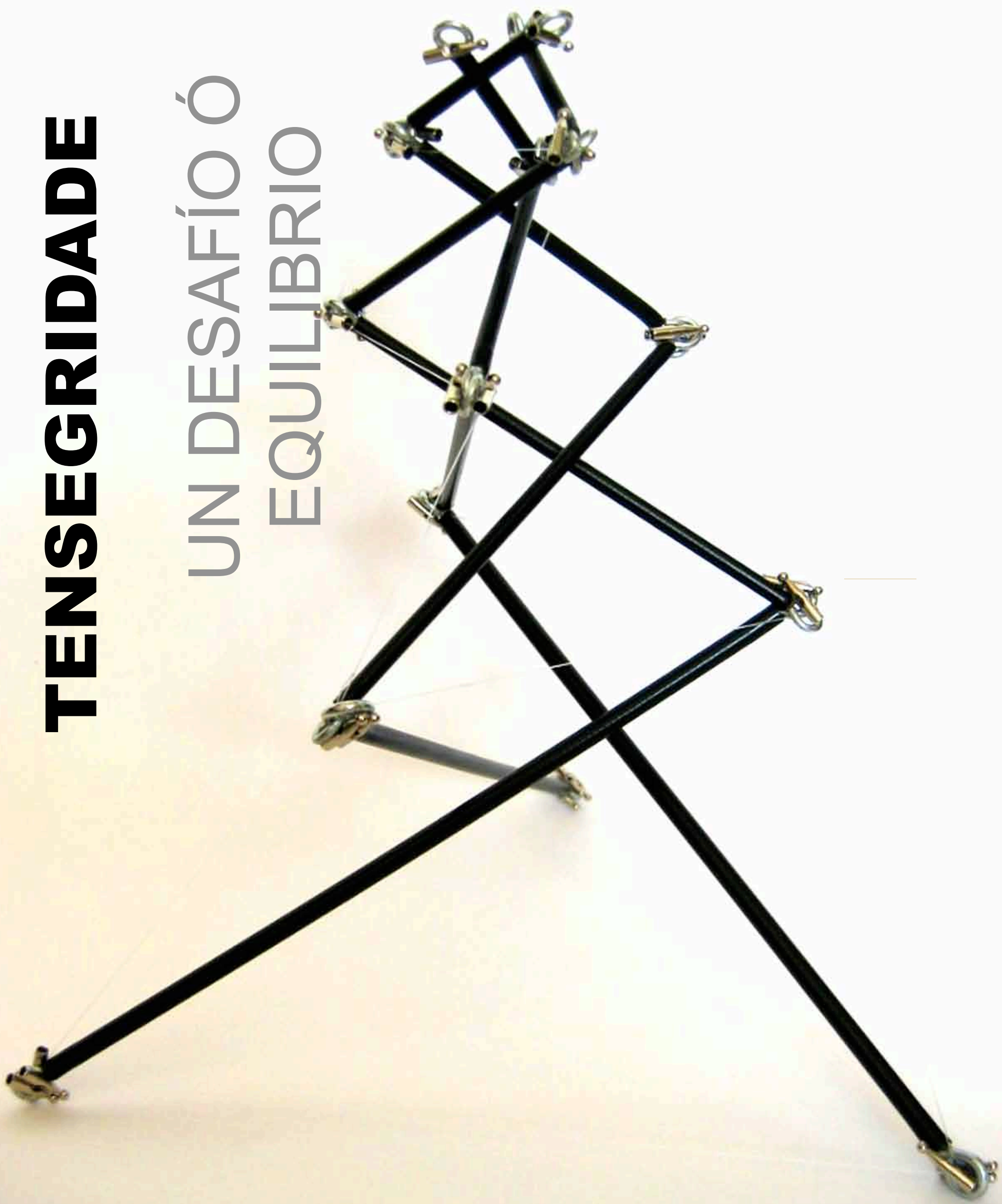
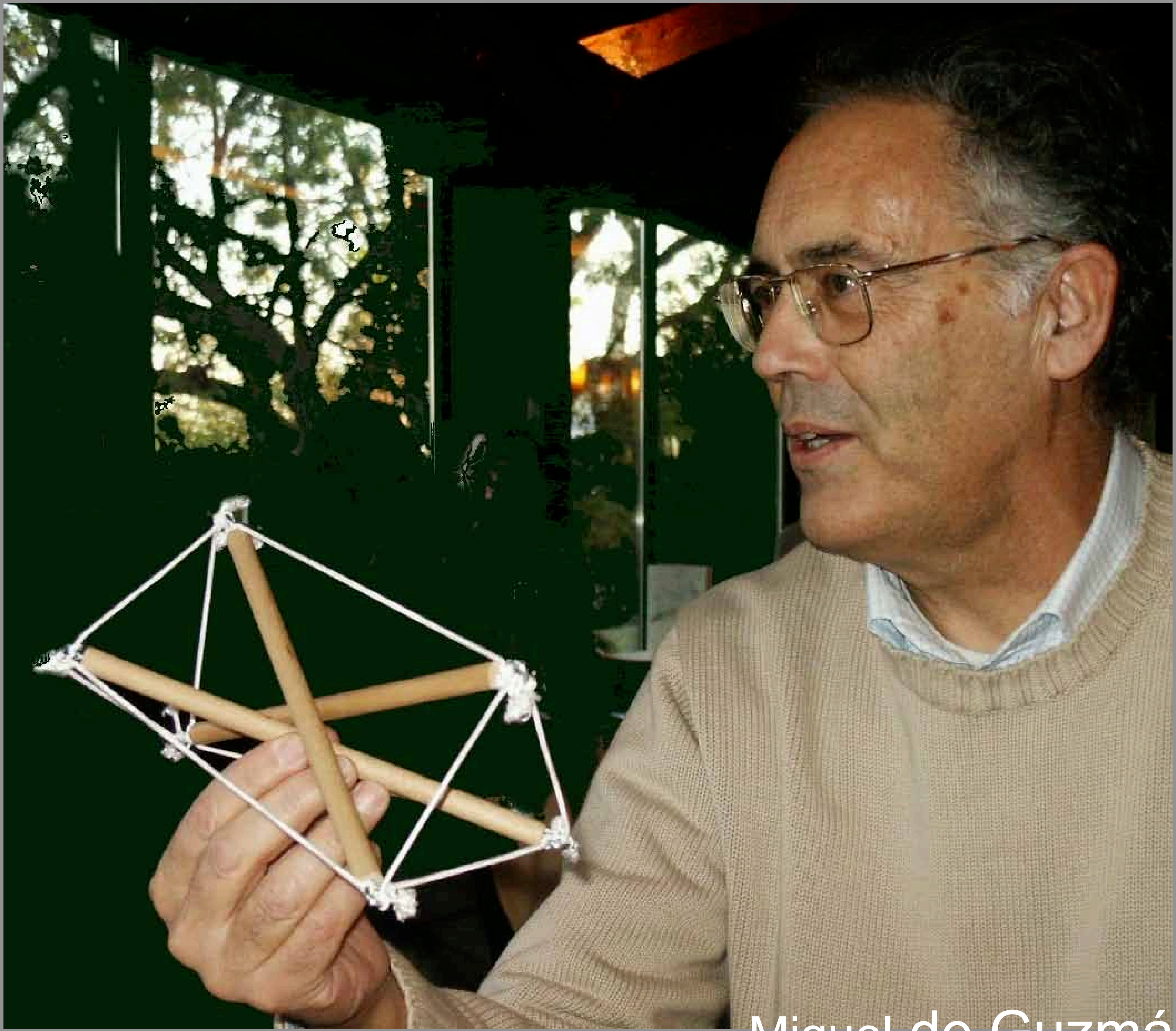
TENSEGRIDADE

UN DESAFÍO Ó EQUILIBRIO



Covadonga Rodriguez-

Santiago, 20 de marzo de 2006



Miguel de Guzmán

Tensegridad. De la escultura a la célula

Tensegrity. From the Sculpture to the Cell

Miguel de Guzmán

Resumen

Las configuraciones espaciales conocidas como "estructuras de tensegridad" aparecieron hace más de 50 años en las esculturas de Kenneth Snelson. Sus propiedades matemáticas son interesantes desde diferentes puntos de vista y presentan un buen número de problemas aún sin resolver. Sus aplicaciones al diseño en arquitectura e ingeniería parecen ser muy amplias. Investigaciones recientes sobre la estructura del citoesqueleto y otros campos biológicos y médicos sugieren que tales estructuras pueden constituir una pista importante para explicar la arquitectura de la vida. El artículo que sigue resume algunos aspectos de este campo aparentemente tan fértil.

TENSEGRIDADE

UN DESAFÍO Ó EQUILIBRIO

1. Tensegridade: orixe, definicións, aplicacións

2. Unha proposta para o estudio xeométrico da tensegridade

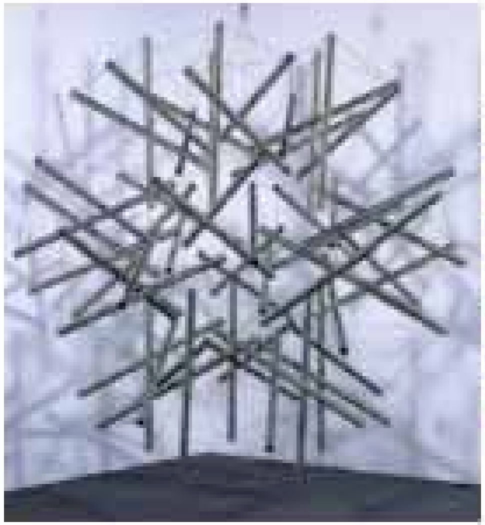
3. Pequeno obradoiro de construcción de tensegridades

1. Tensegridade: orixe, definicións, aplicacións

"TENSEGRIDAD"

Un palabro impronunciable, un libro indiscutible

Por Jorge Alcalde



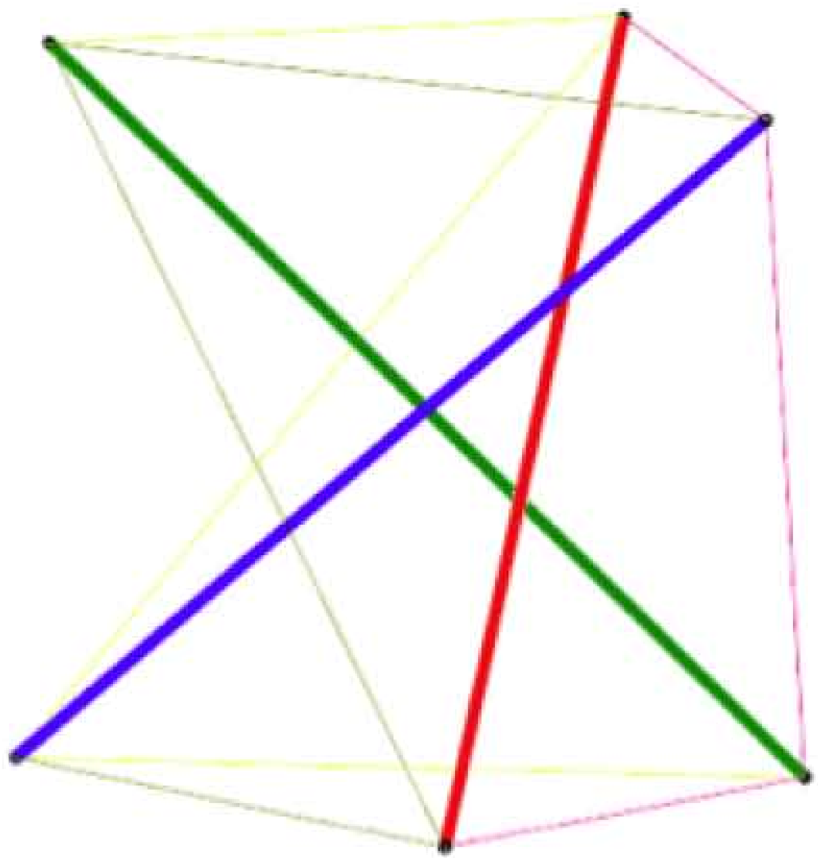
Existen conceptos científicos cuya sola mención los convierte en material difícilmente vendible para la divulgación. Son palabras o, más propiamente, "palabros" con un glamour mediático cercano al cero. Es lo que tiene la ciencia: que se construye sobre la base de una jerga, un lenguaje técnico, una imaginería a la que pocos tienen acceso y que suele cerrar la puerta de golpe en las narices del gran público. Uno de esos palabros es (agárrense) el de "tensegridad".

¿Qué demonios será eso de tensegridad?, se preguntará el lector con toda razón. ¿Para qué quiero saber yo nada de tensegridades? ¿Qué interés ofrece a un ciudadano de a pie saber mucho sobre la tensegridad? Es más, ¿cómo se pronuncia esto?

www.libros.libertaddigital.com , novembro 2005

0 2 1 2 2 2 3 2

ELEMENTO SIMPLE DE TENSEGRIDAD: El prisma triangular oblicuo



ESTRUCTURAS DE TENSEGRIDADE

(*Fuller*)
Illas de compresión nun océano de tensión

(*Snelson*)
Elementos extendidos, separados uns doutros, en tensión ou en compresión formando un enreixado no que os elementos en compresión permanecen separados entre eles e os elementos en tensión están conectados formando una rede en continua tensión.

(Anthony Pugh)
Conxunto de compoñentes en discontinua compresión interactuando cun conxunto de compoñentes en continua tensión para definir un volume estable no espacio.

(René Motro)
Sistema estable, nun estado de equilibrio propio, formado por un conxunto discontinuo de compoñentes en compresión dentro dun conxunto continuo de compoñentes en tensión.

(*Miguel de Guzmán*)

Consideramos unha configuración xeométrica constituida por un número finito de puntos no espacio, non catro nun plano, e por uns cantos segmentos que unen estes puntos.
Esta configuración admite unha estructura de tensegridade cando é posible asignar a cada punto da configuración, vectores en dirección de cada un dos segmentos da configuración que concurren nel de tal forma que:

- **a resultante dos vectores asignados a cada punto é nula**
- **para cada segmento da configuración a suma dos dous vectores asignados aos seus extremos é cero.**

Extraído de :
http://usuarios.bitmailer.com/mdeguzman/tensegridad/mdeguzmangeomtenseg2004/seminario021203.html

“ **Explorando la definición**
La definición no es trivial ni vacía.
Cuatro puntos en el espacio que no están en un plano y los segmentos que unen cada punto a los otros tres constituyen una configuración de puntos y segmentos que **no** admite una estructura de tensegridad no trivial.
Análogamente en el plano para tres puntos no en línea recta y los segmentos que une cada uno a los otros dos **no** admite una estructura de tensegridad no trivial.
Sin embargo,
Cinco puntos en el espacio, no cuatro en un plano, y los segmentos que unen cada uno a los otros cuatro constituyen una configuración que **siempre admite una estructura de tensegridad.**
Análogamente, en el plano, cuatro puntos y los segmentos que unen cada punto a los otros tres es una configuración que **siempre admite una estructura de tensegridad.**
Demostración no trivial. En el plano es esencialmente equivalente al teorema de Ceva.
Estas estructuras de tensegridad son **mínimas** (mínimo número de puntos en la configuración) y podemos llamarlas **átomos de tensegridad.”**

Teorema :
(de construcción dunha tensegridade dados os puntos da súa configuración)

Dados un número finito de puntos (non catro nun plano) é posible construir unha estructura de tensegridade que teña os puntos dados como puntos da súa configuración e por segmentos algúns dos que unen os puntos dados.

Teorema

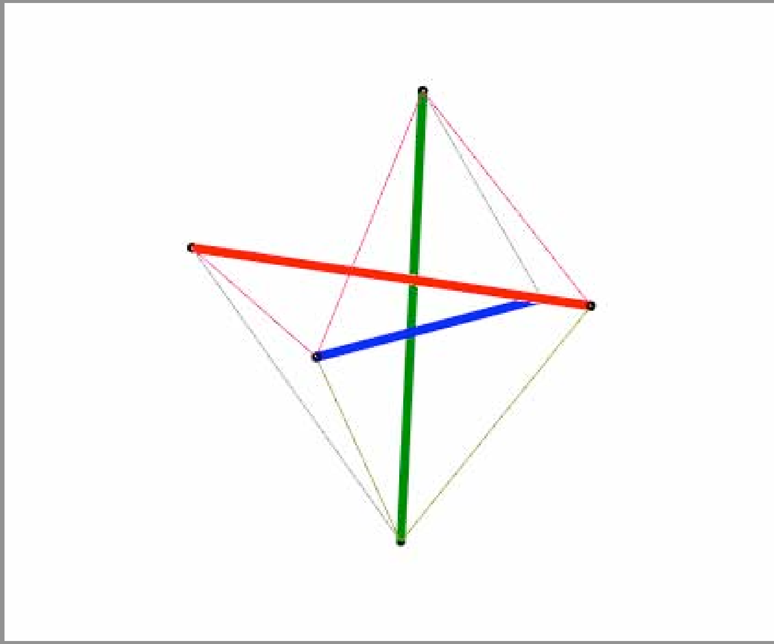
Consideramos os puntos 1,2,3,4,5 no espacio (non catro nun plano) e o punto 6 e a configuración formada por estes seis puntos e os segmentos sinalados enriba.
Considérase o hiperboloide (reglado) que pasa por 1,2,4,5, 6 e é tanxente no 1 ó plano 124, é tanxente en 2 ó plano 245, tanxente en 4 ó plano 451 e tanxente en 5 ó plano 512.

Entón a configuración inicial admite unha estructura de tensegridade si e soio si o punto 3 se atopa en dito hiperboloide (regrado).

2. Unha proposta para o estudio xeométrico da tensegridade

UNHA TENSEGRIDADE SIMPLE: A TENSEGRIDADE CANÓNICA

É a formada por tres barras da mesma lonxitude, l, perpendiculares entre si e situadas cada unha a unha mesma distancia,d, das demáis



$(B1x, B1y, B1z), (B2x, B2y, B2z), (B3x, B3y, B3z), (L1x, L1y, L1z), (L2x, L2y, L2z), (L3x, L3y, L3z)$

$$\left[x(l,d) := \sqrt{\left(\frac{l}{2}-\frac{d}{2}\right)^2 + d^2 + \left(\frac{l}{2}+\frac{d}{2}\right)^2}\right] \qquad x(l,d) := \sqrt{\frac{l^2 + 3\cdot d^2}{2}}$$

de forma análoga:

$$x'(l,d) := \sqrt{\left(\frac{l}{2}-\frac{d}{2}\right)^2 + d^2 + \left(\frac{l}{2}-\frac{d}{2}\right)^2} \qquad x'(l,d) := \sqrt{\frac{l^2 + 3\cdot d^2 - 2l\cdot d}{2}}$$

La longitud total de los tendones será :

$$L(l,d) := 6x + 3x' \qquad L(l,d) := 6\cdot\sqrt{\frac{l^2 + 3\cdot d^2}{2}} + 3\cdot\sqrt{\frac{l^2 + 3\cdot d^2 - 2l\cdot d}{2}}$$

Así si $l := 20$ y $d := 4$ se tiene

$x(l,d) = 14.97$ $x'(l,d) = 12$ $L(l,d) = 125.8$

O si $l := 12$ y $d := 3$ entonces

$x(l,d) = 9.25$ $x'(l,d) = 7.036$ $L(l,d) = 76.587$

Ecuación de la tensegridad canónica

A partir de (i): $x(l,d) := \sqrt{\dfrac{l^2 + 3\cdot d^2}{2}}$ podemos escribir:

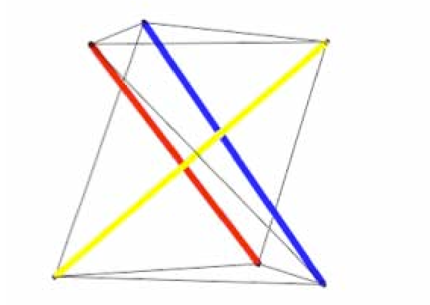
$$x := x(l,d)$$

$$l^2 + 3\cdot d^2 - 2\cdot x^2 = 0$$

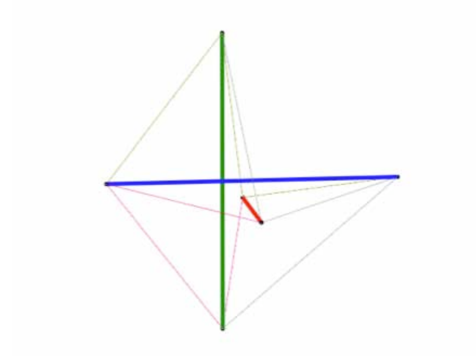
que será la ecuación de la tensegridad canónica

un problema

TENSEGRIDADE SIMPLE



TENSEGRIDADE CANÓNICA



DADA UNHA TENSEGRIDADE SIMPLE CUALQUERA, SE A LONXITUDE TOTAL DOS SEUS TENDÓNS É L, ¿EXISTE SEMPRE UNHA TENSEGRIDADE CANÓNICA QUE TEÑA ESA MISMA LONXITUDE DE TENDÓNS?

$$L = 6 \cdot \sqrt{\frac{l^2 + 3 \cdot d^2}{2}} + 3 \cdot \sqrt{\frac{l^2 + 3 \cdot d^2 - 2\, l \cdot d}{2}}$$

Trátase de expresar d en función de L e l

Resultado de Constante Prieto

Para que unha tensegridade simple poda transformarse en canónica é necesario que:

$$\frac{L}{l} > 3\sqrt{2}$$

Aproximadamente $\frac{L}{l} > 4{,}24$

$$\frac{x'}{x} > \sqrt{1-\frac{1}{\sqrt{3}}}$$

Aproximadamente $\frac{x'}{x} > 0{,}65$

Resultado de José Deus

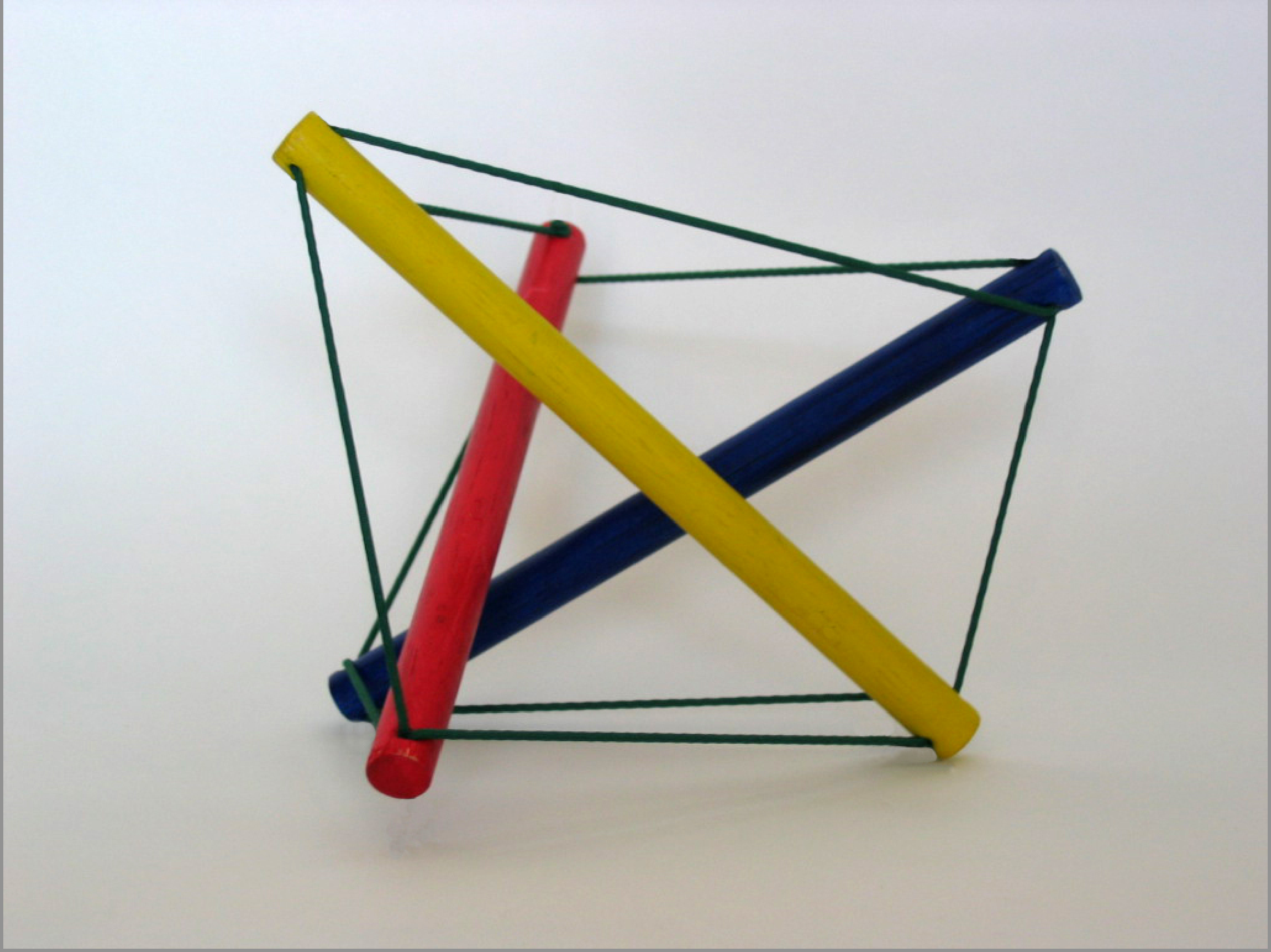
Para que unha tensegridade simple poda transformarse en canónica é suficiente que d sexa a solución da ecuación:

$$d^4 + \frac{4}{9}\cdot d^3 + \left(\frac{29}{2} - \frac{5L^2}{3l^2}\right)\cdot\frac{4}{81}\cdot l^2\cdot d^2 + \left(\frac{2L^2}{9l^2} + 3\right)\cdot\frac{4}{81}\cdot l^3\cdot d + \left(\frac{l^4}{9} - \frac{20L^2l^2}{729} + \frac{4L^4}{81^2}\right) = 0$$

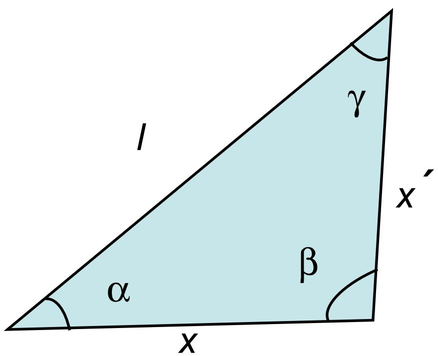
$$d^4 + a\cdot d^3 + b\cdot d^2 + c\cdot d + f = 0$$

$$onde\left\{a = \frac{4}{9}\ ,\ b = \left(\frac{29}{2} - \frac{5L^2}{3l^2}\right)\cdot\frac{4}{81}\cdot l^2,\ c = \left(\frac{2L^2}{9l^2} + 3\right)\cdot\frac{4}{81}\cdot l^3\ ,\ f = \left(\frac{l^4}{9} - \frac{20L^2l^2}{729} + \frac{4L^4}{81^2}\right)\right\}$$

Outros resultados



Novas consideracións sobre o problema



Tendo en conta que $\gamma = \pi - (\alpha + \beta)$

aplicando o teorema do seno:

$$x = \frac{l \cdot sen(\alpha + \beta)}{sen\beta} \qquad x' = \frac{l \cdot sen\alpha}{sen\beta} \qquad (*)$$

Nunha tensegridade canónica suponse que

$$l^2 + 3d^2 - 2x^2 = 0 \Rightarrow d^2 = \frac{2x^2 - l^2}{3}$$

Sustituindo x

$$d = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\left(\frac{2sen^2(\alpha + \beta)}{sen^2\beta} \right) - 1} \qquad (**)$$

Nesta expresión pódese observar que partindo dos datos dun triángulo podemos obter a medida que dá a tridimensionalidade a unha tensegridade canónica, é dicir, a distancia entre cada dúas barras.

Miguel de Guzmán, Tensegridad. De la escultura a la célula, Ars Medica. Revista de Humanidades 2002; 2, 166-176

www.kennethsnelson.net

Valentín Gómez Jáuregui. *Tensegrity structures and their application to architecture*. Submitted to the School od Architecture, Queen´s University, Belfast

Anthony Pugh. *An introduction to tensegrity*. University of California Press, Berkeley, CA, USA,1976.

René Motro, *Tensegrity. Structural Systems for the Future* (Kogan Page Science, London, 2003)