Un paseo por la obra de Santiago Calatrava, guiado por una geómetra

por

Olga Gil Medrano, Universitat de València

El presente texto es un resumen de la conferencia que impartí el 17 de Marzo de 2010. Con ella pretendía mostrar a la audiencia cómo la tesis doctoral de Santiago Calatrava, trabajo con una fuerte inspiración matemática, es la clave para entender la obra posterior de este arquitecto.

La geometría, por un lado, y la arquitectura y escultura, por otro, son dos formas de modelar el espacio y es fácil descubrir en muchas ocasiones que es en la naturaleza donde se encuentra la fuente de inspiración de ambas. Sin embargo, el acercamiento en general suele ser diferente ya que también son diferentes los objetivos. Comprender y hacer modelos, el de las matemáticas, mientras que estimular estados de ánimo es el del arte.

Pongamos como ejemplo la escultura de A. Alfaro mostrada a la derecha que está situada en una avenida de la cuidad de Valencia. Este escultor experimenta con barras de diversos materiales y de forma intuitiva ha creado un sinfín de series escultóricas con esta idea.

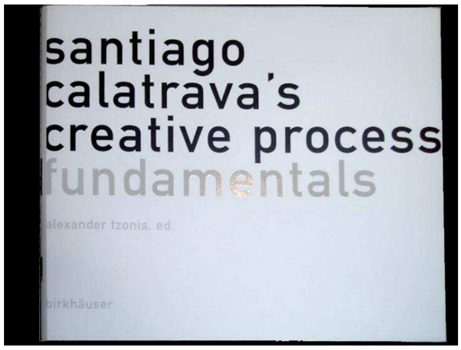
Un matemático al observarla no puede evitar percibir de inmediato que la escultura sugiere una superficie y que ésta es un paraboloide hiperbólico con ecuación $z = x^2 - y^2$. Y, cómo no, su construcción le recuerda de inmediato que se trata de una superficie reglada que puede ser parametrizada como $(u, 0, u^2)+v(1, 1, 2u)$.

Con toda probabilidad, este contenido matemático está lejos de haber tenido alguna importancia para el escultor. Pero esto no es siempre así y hay obras en las que las consideraciones de tipo matemático están presentes en un estadio muy temprano del proceso creativo.

Este es el caso de la obra de Santiago Calatrava que vista en perspectiva se antoja organizada a modo de proyecto de experimentación e investigación, de evolución y desarrollo de unas ideas nucleares. Esto se revela nítidamente a la vista de la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia y mucho más si se ha podido seguir

durante décadas el largo camino para pasar de los bocetos a la realidad, de esta obra que mantiene, a pesar de la grandiosidad de sus construcciones, un marcado aspecto escultórico. En la imagen se ve el estado del proyecto en los alrededores del año 2000 cuando se habían construido ya el Hemisferic, el Umbracle y el Museo de las Ciencias Príncipe Felipe.

Un ingrediente en la base del proceso creativo de Santiago Calatrava es el interés por dos problemas teóricos: representar el movimiento de estructuras complejas y representar superficies curvadas con formas complicadas. Los estudios abstractos necesarios para resolverlos son el tema de su Tesis Doctoral.



Tras haber terminado los estudios de Arquitectura y de Bellas Artes en Valencia, el artista se desplazó a la Escuela Técnica Superior de Zurich para realizar estudios de ingeniería. Fue en la ETH donde escribió su Tesis Doctoral en 1981 con el título *Sobre la plegabilidad de las estructuras.* El trabajo, que puede leerse en el primer volumen de la obra cuya portada reproducimos a la derecha, en palabras del propio autor *describe los principios geométricos que se aplican a la construcción de armazones plegables. Su objetivo es formular las relaciones geométricas e investigar de manera sistemática tanto estas relaciones como las aplicaciones a las estructuras compuestas por barras y articulaciones para obtener estructuras plegables.*

Una condición necesaria para que un armazón sea plegable es que la estructura sea inestable, definiéndose como tal aquella en la que se tenga entre el número de barras y el de conexiones (o entre el de aristas y vértices con terminología matemática) la desigualdad:

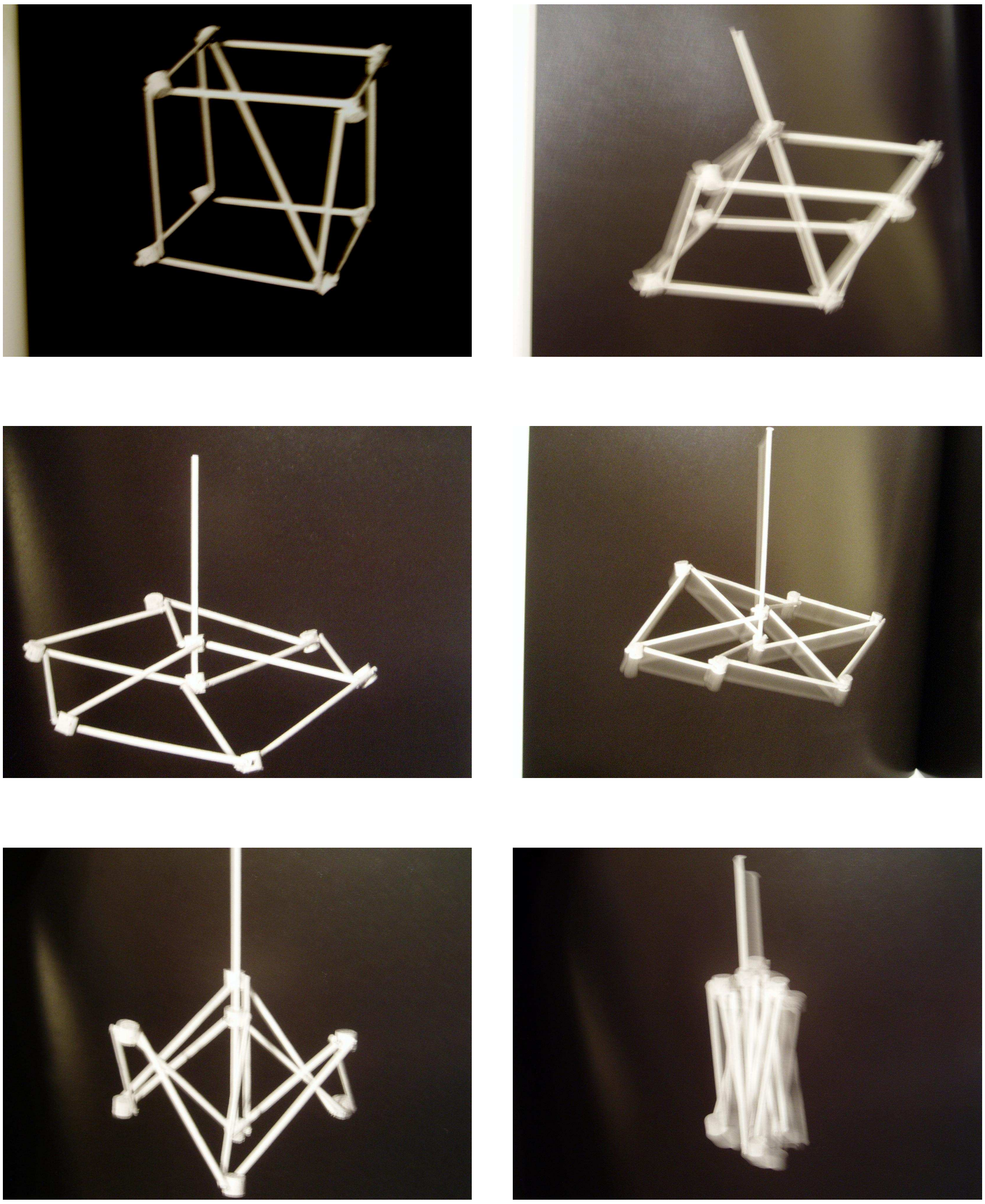
$$barras < 3\ conexiones - 6.$$

Como ejemplo, podemos considerar el armazón de los poliedros regulares: octaedro y hexaedro.

Octaedro y hexaedro

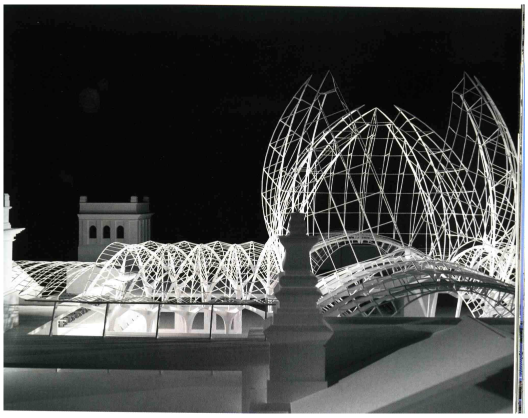
Octaedro:	**Cubo**:
Conexiones = 6	Conexiones = 8
Barras = 12	Barras=12
3(6) -6 = 12	3(8) -6 = 18
ESTABLE	INESTABLE (faltan 6 barras)

Así, el armazón en forma de hexaedro cumple la condición necesaria para poder ser plegado. Calatrava nos da en su Tesis un ejemplo de la forma en la que se puede proceder a través de la secuencia de fotografías siguiente:



Nota: La diagonal del cubo sólo se utiliza como guía para visualizar mejor el plegamiento y no pertenece al armazón.

Es fácil ver el nexo entre los estudios teóricos de plegamientos de piezas geométricas básicas que se recogen en su trabajo doctoral y las maquetas de edificios con partes móviles o plegables, como las cubiertas del Reichstag en Berlín (siguiente página arriba) o la del Milvaukee Art Museum (siguiente página abajo).

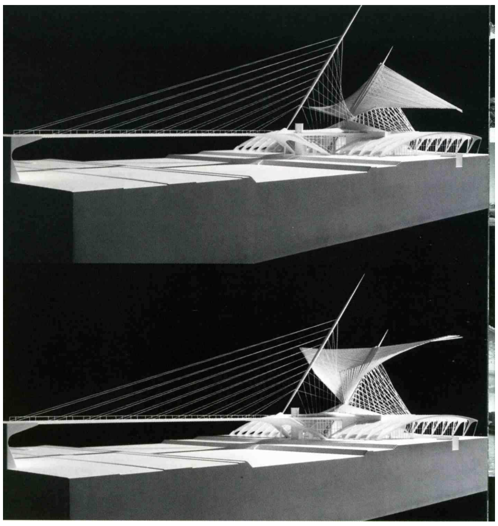


Aunque la primera no llegó a construirse sí lo hizo la segunda. En ella se observa otro de los elementos geométricos básicos de las obras de Calatrava, muy especialmente en aquellas que contienen elementos móviles. Se trata de la profusión de superficies regladas. Recordemos que las superficies regladas son aquellas que admiten una parametrización de la forma

$$X(u,v) = c(u) + vb(u)$$

donde c y b son dos curvas que se denominan *curva directriz* y *curva generatriz*, respectivamente. De esta forma, los elementos móviles, que adoptan la forma de superficies regladas en todas las fases de su movimiento, se describen como una familia uniparamétrica de superficies

$$X_t(u,v) = c_t(u) + vb_t(u)$$



donde tanto la curva directriz como la generatriz podrían variar.

En el ejemplo que vemos arriba, la curva directriz es fija y se trata de un segmento de recta. Este es también el caso de las paredes laterales de las puertas de la estación de metro Alameda en Valencia, que pueden verse en la galería de fotos de la siguiente página. En este caso no es difícil escribir las ecuaciones concretas. Cuando la puerta está cerrada, queda toda ella en el plano horizontal siendo:

Parametrización puerta cerrada: $(u,0,0) + v(1, 2(1-u/5), 0)$.

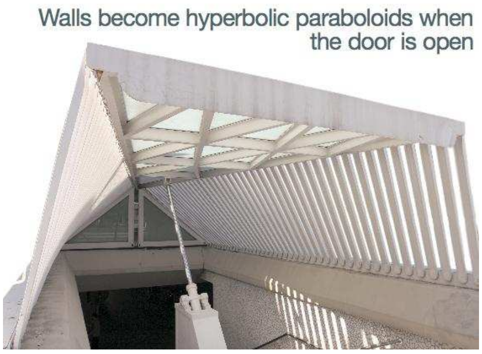
Cuando está completamente abierta las barras están sobre un paraboloide hiperbólico:

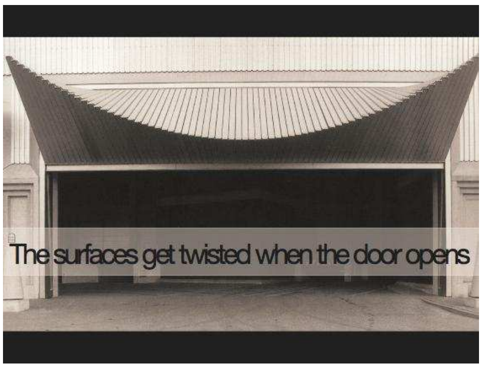
Parametrización puerta abierta: $(u,0,0) + v(0, 2(1-u/5), 1)$.

Durante el proceso de apertura la recta directriz se mantiene constante mientras que la generatriz, que también es en este caso una recta, va realizando un giro:

Parametrización puerta durante la apertura: $(u,0,0) + v(cost, 2(1-u/5), sent)$.

En el portón que puede verse también en esta página, que se pliega a lo largo de una catenaria, tanto la directriz como la generatriz van cambiando durante el proceso.





Agradecimientos. A Raúl Ibáñez y a Marta Macho les agradezco doblemente: como conferenciante, por su amable invitación y por la oportunidad de participar por segunda vez en estos paseos; como matemático, por el enorme esfuerzo que están haciendo para sacar adelante durante años y años esta actividad que tanto fomenta el aprecio y contribuye a la difusión de las matemáticas. A Guillermo Peñafort, compañero de departamento, por la galería de imágenes de la página siguiente, las más bonitas, sin duda, de la presentación y de este texto.

Bibliografía

[1] S. Calatrava, *Conversations with Students*, The MIT Lectures Princeton Architectural Press, 2002.
[2] *S. Calatrava* (página web),
http://www.calatrava.com/
[3] *Ciudad de las Artes y las Ciencias* (página web),
http://www.cac.es
[4] O. Gil Medrano, *Un món a la butxaca: La geometria plegable de Santiago Calatrava*, Mètode (Universitat de València), número 37, 42-49, 2003.
http://www.uv.es/metode/numero37/42_37.htm
[5] L. Lefaivre y A. Tzonis (Edición y notas), *Santiago Calatrava's Creative Process. Part I: Fundamentals. Part II: Sketchbooks*, Birkhäuser Publishers for Architecture, 2001.
[6] M. Levin, *Santiago Calatrava–Art Works: Laboratory of Ideas, Forms and Structures*, Birkhäuser, 2003.
[7] *Métode* (Anuario 2004, y número 37),
http://www.uv.es/metode/anuario2004/Anuario_2004.html
http://www.uv.es/metode/numero37/Numero_37.html
[8] A. Tzonis, *Santiago Calatrava. The Poetics of Movement*, Universe Publishing, 1999.

Olga Gil Medrano
Universitat de València, Spain
Facultat de Ciències Matemàtiques
Departament de Geometria i Topologia
Avda. V. Andrés Estellés, 1 46100, Burjassot, Valencia
e-mail: ***olga.gil@uv.es***