

PABELLON JUKBUIN

EL TRENZADO TRIAXIAL COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO

Autores:
Ramón Sastre,
Enrique Soriano
Pep Tornabell
CODA LiTA

Fotografía:
Andrés Flajzser

En los actuales desafíos de un mundo al borde del colapso, las soluciones constructivas están llamadas a ser más eficientes energéticamente y materialmente. En esta carrera hacia la ligereza, el potencial de las estructuras con flexión activa y la rigidez y esbeltez de cesterías tradicionales, incitan la exploración del trenzado estructural, mediante madera contrachapada como material altamente flexible y renovable.

La flexión activa es la instrumentalización de la deformación elástica como proceso auto-formativo y se ha utilizado históricamente (J.Lienhard et al.). Recientes revisiones distinguen la aproximación empírica, basada en el comportamiento (forma a partir de la elasticidad del sistema material) utilizada intuitivamente por pueblos nómadas; la aproximación analítica, basada en la geometría (forma predefinida donde la flexión activa es usada como técnica de conformado económico) utilizada por ingenieros como Frei Otto en el Multihalle de Mannheim o Buckminster Fuller con su patente Plydome; y la más reciente aproximación que las

combina, basándose en métodos de simulación.

Esta investigación, que utiliza una aproximación combinada, se plantea la adaptación del trenzado triaxial como sistema constructivo para cáscaras elásticas autoportantes de madera. Para la simulación de las grandes deformaciones, se modeliza un sistema material pseudo-físico y se simula su comportamiento elástico mediante el método de relajación dinámica.

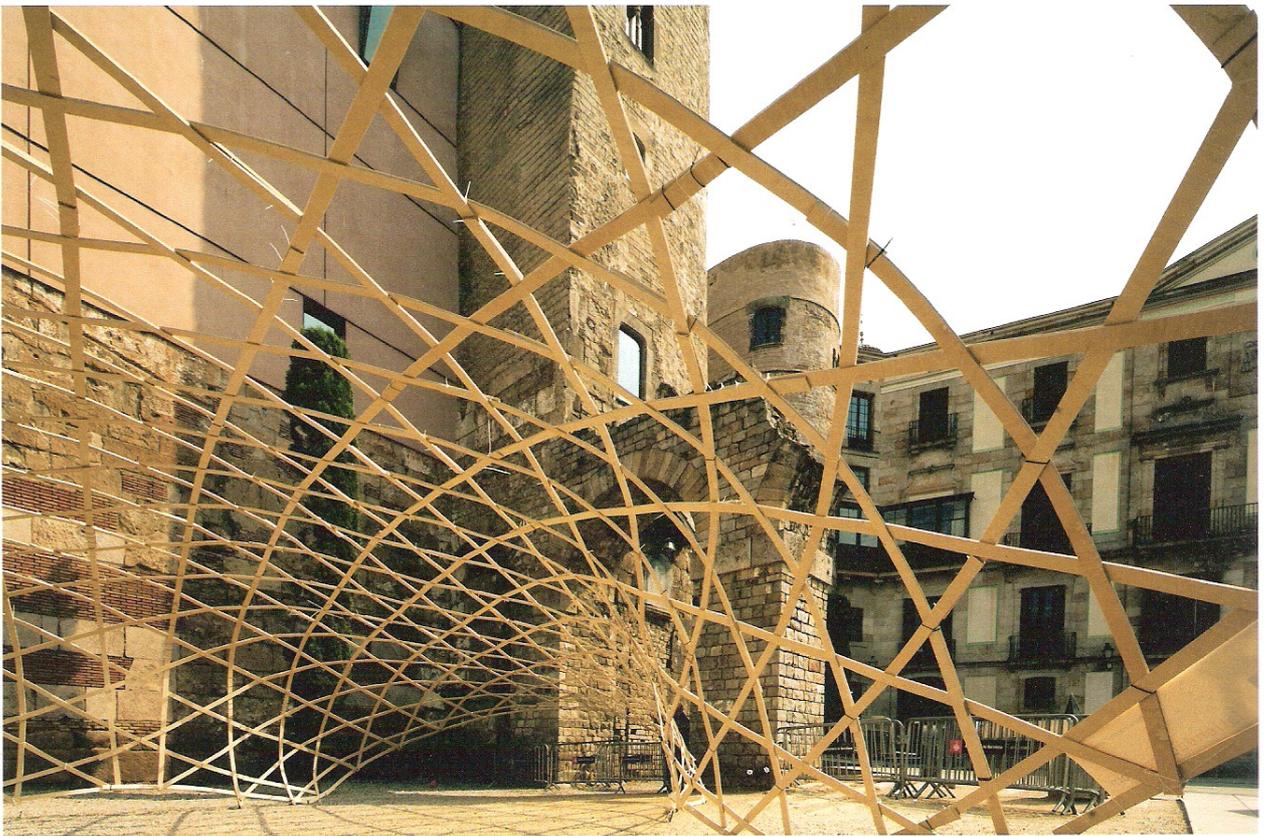
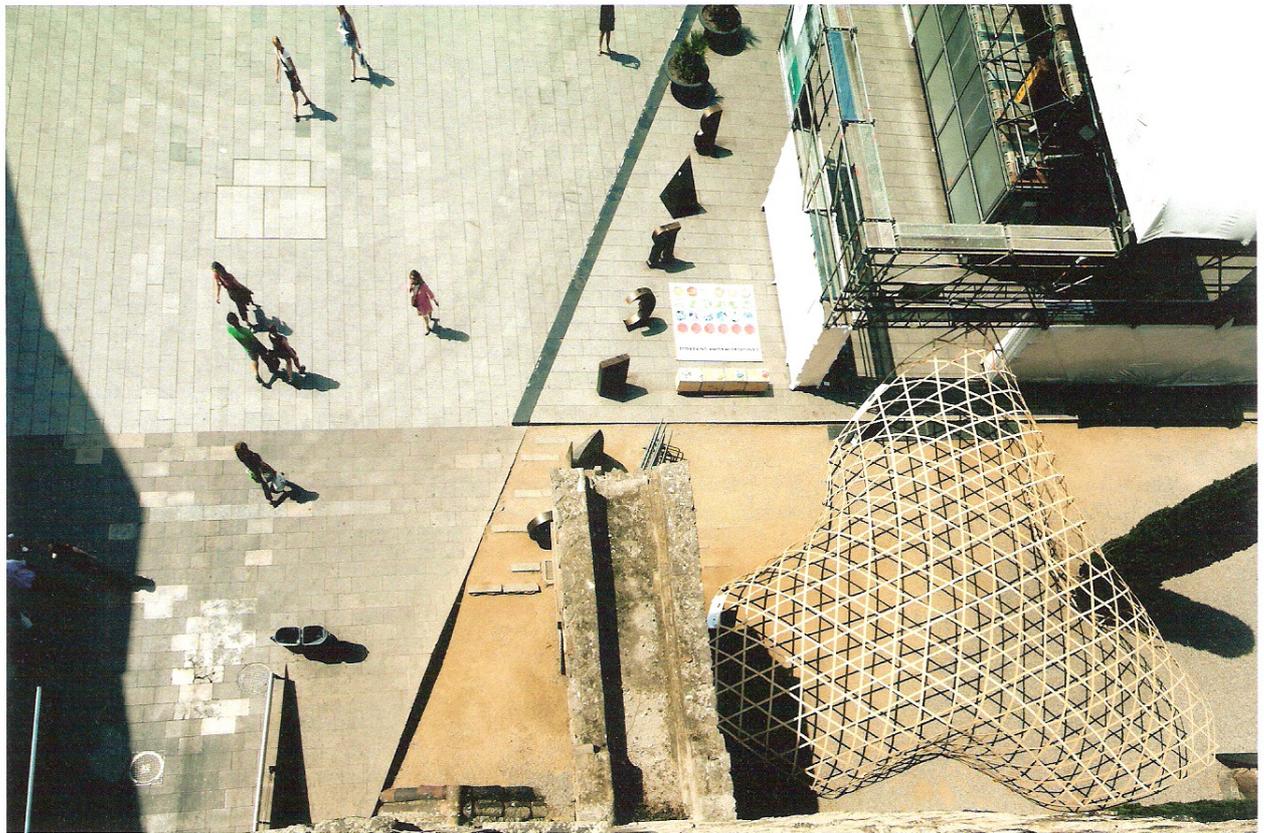
Finalmente la oportunidad de evaluar la metodología y la solución constructiva surge con la invitación de la construcción de un pabellón. Por su facilidad y viabilidad constructiva, la flexión activa se consolidará como una estrategia de diseño restrictivo, pero altamente eficiente dada la integración en el propio sistema constructivo.

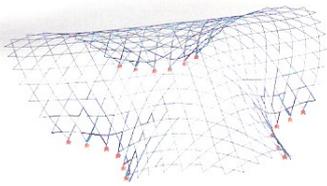
El sistema constructivo Cáscara ligera auto-conformada

La reciente capacidad de las técnicas de simulación y las revisiones de las estructuras en flexión activa han

proporcionado una brillante producción de naves estructuras ligeras de madera (J.Lienhard et al.). Sin embargo, mientras que estas estructuras comparten las ventajas del auto-conformado de elementos curvos a partir de elementos rectos y planos, algunos de estos recientes ejemplos pierden la eficiencia intrínseca de las estructuras en flexión activa vernaculares e históricas, al provocar residuo material y excesiva demanda en recursos tecnológicos avanzados (CNC) y energéticos.

El objetivo es minimizar la energía y el gasto material, mientras se simplifica el proceso de ensamblado. Se propone la estrategia combinada de construir una cáscara ligera usando estrictamente tableros industrializados (fabricación low-tech) y basándose en técnicas de trenzado tradicionales que demuestran rigidez y esbeltez (high-tech design). El objetivo primordial subyacente es la universalización de las estructuras ligeras asequibles mediante estrategias de flexión activa.

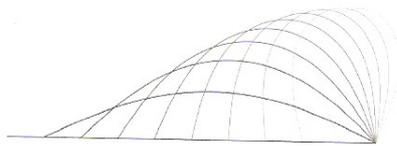




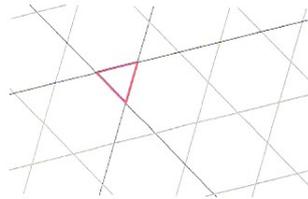
2. Restricciones



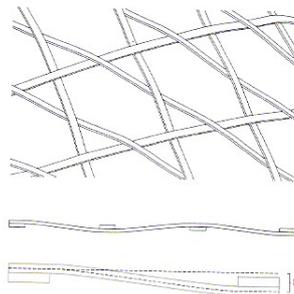
1. Cáscara fina elástica. Las cáscaras finas son construcciones ligeras laminares que basan su firmeza en su doble curvatura. Las cáscaras elásticas incorporan además el efecto rigidizador de la pretensión derivada de la flexión de los diversos elementos trabados.



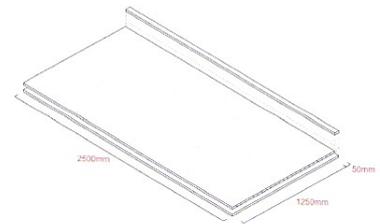
2. Flexión Activa. La deformación elástica es usada como proceso eficiente de auto-conformado. El reto es dominar la simulación de la geometría deformada, y de añadir las tensiones de la pretension en el cálculo estructural, donde mayormente serán favorables y de signo contrario a las solicitaciones.



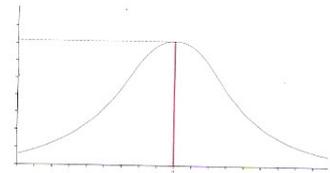
3. Trenzado triaxial como sistema constructivo. El trenzado triaxial forma parte de la tradición artesana de la cestería, datándose los primeros usos en Japón alrededor de 5700 a.C. Se trata un tejido de comportamiento isotrópico, y auto rigidizado geométricamente por los tres ejes intersecantes que forman regularmente triángulos.



4. Tejido estructural. El tejido estructural uniforme y no jerárquico garantiza la continuidad de las barras mediante la fricción del solape, consiguiendo un sistema sin fijaciones mecánicas. El sistema entretejido es manejable (construido con las manos: sin control numérico, ni conformado energético), fácilmente reparable y desmontable.



5. Tableros estándar. Minimizar gasto: listones rectos a partir de tableros de contrachapado. El contrachapado es altamente idóneo para grandes deformaciones elásticas, por su alta resistencia a tracción y su relativo bajo modulo elástico.



6. Dispersión del tamaño de los elementos. Para la facilidad del ensamblaje y costes de producción se minimiza a un único tamaño de elemento con una mínima diferencia de longitudes en los bordes.

3. simulación Form-finding

Modelización de comportamiento elástico

No es la forma la que se diseña sino el comportamiento del sistema constructivo. El motor de simulación física Kangaroo permite modelizar el comportamiento (topológicamente preciso) de la fábrica tejida, mediante el proceso iterativo de relajación dinámica. En este proceso de búsqueda de forma, se introducen varias energías que buscan un estado de equilibrio. Principalmente se introduce una fuerza de resistencia a flexión, y los muelles virtuales que mantendrán unidas las barras.

a- malla Base. Variaciones iterativas consideran la escala de las caras y la definición de borde. Las formas basadas en polígonos de lados múltiples de tres (triángulos, hexágonos,...) son una buena guía.

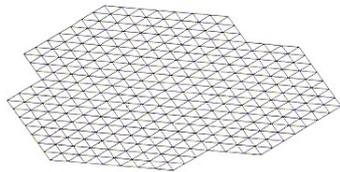
b- trenzado triaxial. El método de teselado de Truchet construye una red dependiente mediante un parámetro de sustitución (placeholder) que generará la conectividad y el entrelazado de los tres ejes.

c- Muelles de coerción topológica. Para mantener la topología trenzada, un muelle elástico se coloca a cada junta solapada.

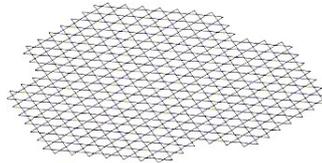
d- Método de los cables. contraíbles Usado para mover dinámicamente los soportes y erguir gradualmente el tejido.

e- proceso de erección.

f- Geometría final.



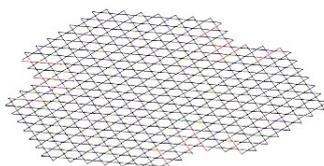
a



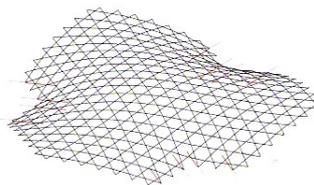
b



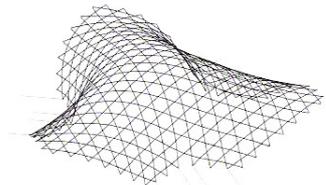
c



d



e



f

En paralelo, de forma empírica la forma emerge de las propiedades de elasticidad de la organización del sistema material.

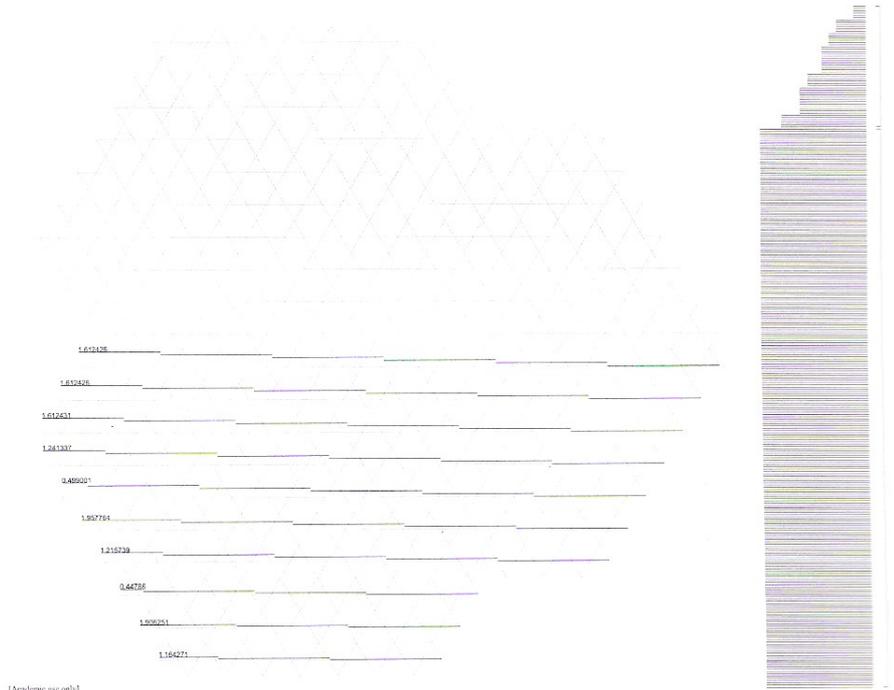
La topología, la materialización de las juntas y la definición de los soportes definen la forma final.

4. Conexiones y Fabricación

Partiendo de una malla, discretizada, la mayoría de elementos pueden ser altamente estandarizados: las curvas

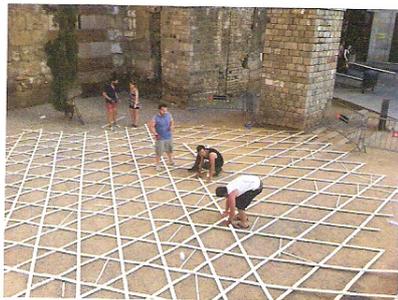
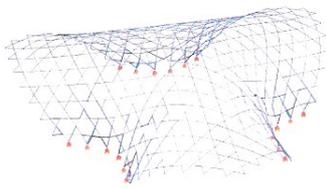
se parten en tramos de 2.3 m, para permitir a los listones de 2.5 tener un solape. La dispersión del tamaño de los elementos se mantiene baja y agrupada. Ésta homogeneización optimiza entonces el tiempo de ensamblaje y los recursos minimizando el posicionado e identificación del elemento.

Esta regularidad se explica por la recursividad de la geometría (6 pliegues repetidos: 3 ejes de simetría)

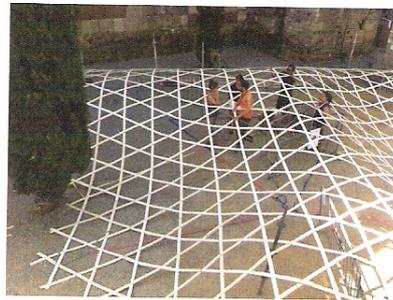


[Academic use only]

Único documento de fabricación. Identificación y posicionado sencillo: se realiza un esfuerzo en la estandarización y agrupación mediante la minimización de la dispersión de tamaños.



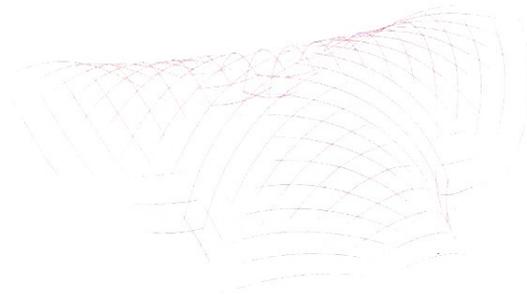
1 Trenzado del tejido. Trenzado iterativo en plano.



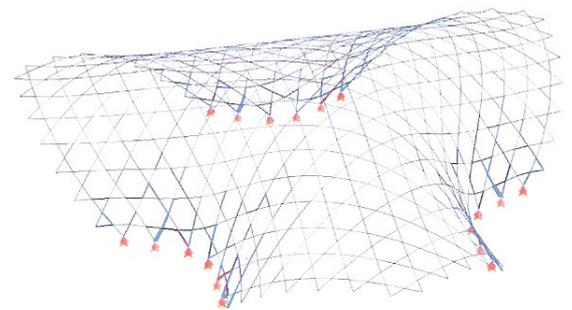
2 Erección. Colocación progresiva y uniforme de los apoyos: contracción de cables y levantamiento del ápice de la cáscara.



3 liberación de tensión. Suave liberación de los cables contraídos: la cáscara empieza a empujar horizontalmente los apoyos y autoportarse felizmente.



a- pretensión Tensiones homogeneizadas y concentradas en las cumbres.



b- cargas verticales Concentración en soportes

5. Estructura

Las tensiones derivadas de la pretensión elástica se concentran en las zonas superiores de curvatura simple donde el radio de curvatura es menor. Las tensiones derivadas de las cargas verticales se localizan por el contrario en los ejes que llegan a los soportes. En conjunto, esta homogeneización favorece el dimensionado al no existir una gran disparidad que le penalice. Por otro lado, al quedar todas las barras al 60 % del límite elástico, después de desmontadas recuperan su forma y son fácilmente transportables y reutilizables.

6. Montaje

Contexto del festival de arquitectura En el contexto del festival de arquitectura EME3 en Junio 2012 en Barcelona, el grupo de investigación tuvo la oportunidad de construir una estructura autoportante. Para estas circunstancias especiales de reducido presupuesto y tiempo de montaje, la flexión activa se empleó como método de diseño, integrando el sistema constructivo en el proceso de simulación. La ventaja comparativa radica en la estandarización de los elementos planos y rectos que reducen costes de fabricación, y permitiendo además un ensamblaje fácil, rápido y viable para operarios no especializados. Un grupo de estudiantes ayudó a trenzar y erigir el tejido uniforme y no jerárquico, equiparando el sistema constructivo al propio sistema organizativo emergente de abajo arriba:

ensamblando pequeños elementos para un objetivo colectivo.

Características:

15 tableros estándar UPM Wisa Birch aserrados en listones de 5 cm.
280 piezas repetidas y 30 piezas distintas (simplificado en 4 grupos)
257 Kg y 93 m² cubiertos (2.8 Kg/m²)
Ni tornillos, ni residuos
Presupuesto: 1500€

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer:

-Instituciones académicas: UPC (Universidad Politécnica de Catalunya) por la ayuda económica en el proyecto de investigación en madera estructural FORMA, LiTA (Laboratorio de innovación tecnológica en Arquitectura) por el apoyo técnico, ETSAV (Escola Tècnica Superior de Arquitectura del Vallès) por proveer fondos e infraestructura para la investigación, la organización del festival de arquitectura EME3 por su amplio apoyo.

-Instituciones privadas: UPM por proveer generosamente madera contrachapada para la investigación y LaTiendaDelCad por su apoyo económico.

-personas: Daniel Piker por sus consejos y el software Kangaroo, Andrés Flajszer por las todas las fotos y su cálido apoyo. Por último, agradecer especialmente al equipo de montaje: O.Fabrisio, R.Roca, X.Santodomingo, M.Peinado, A.Bernabeu, L.Gonzalez, N.Torres, A.Lazaro, M.Nieto

Referencias

- [1] J. Lienhard, S. Schleicher, J. Knippers: Bending-active Structures – Research Pavilion ICD/ITKE, in Nethercot, D.; Pellegrino, S. et al. (eds) Proceedings of the International Symposium of the IABSE-IASS Symposium, London, UK
- [2] Lafuente E, C. Gengnagel, S. Sechelmann, T. Rörig: On the Materiality and Structural Behavior of highly-elastic Gridshell Structures, Computational Design Modeling: Proceedings of the Design Modeling Symposium Berlin 2011, Springer; 2012 edition
- [3] J. Lienhard, H. Alpermann, C. Gengnagel, J. Knippers: Active Bending, a Review on structures where bending is used as a self formation process. Proceedings of the International IASS Symposium, Seoul, Korea
- [4] D.Piker: Pseudo-Physical Materials. <http://spacesymmetrystructure.wordpress.com/2011/05/18/pseudo-physical-materials/>

