



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# Celosías

<b>Apellidos, nombre</b>	Basset Salom, Luisa (lbasset@mes.upv.es) Guardiola Villora, Arianna (aguardio@mes.upv.es)
<b>Departamento</b>	Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras
<b>Centro</b>	Escuela Técnica Superior de Arquitectura Universitat Politècnica de València



## 1 Resumen de las ideas clave

En este artículo se presentan las estructuras formadas por celosías. Tras una breve introducción histórica, se describen sus características y su comportamiento estructural. Se acompaña el texto con ejemplos de celosías en diferentes tipos de edificios.

## 2 Introducción

La celosía plana es una estructura triangulada formada por barras rectas conectadas entre sí, trabajando principalmente a tracción y compresión.

Aunque las estructuras formadas por barras unidas se construyeron desde hace mucho tiempo, la utilización consciente de las ventajas estructurales que se obtienen al combinar módulos triangulares es mucho más reciente.

Con la triangulación se consigue formar estructuras rígidas y estables pudiendo cubrir grandes luces. Cualquier deformación que se produzca es muy pequeña y está asociada con los alargamientos o acortamientos de las barras, originados por los esfuerzos axiales que se desarrollan como respuesta a las cargas exteriores. Las flexiones en las barras no existen o bien se consideran despreciables.

La triangulación puede utilizarse para formar una simple viga o celosía plana, una malla espacial de gran canto o una bóveda o cúpula.

## 3 Objetivos

El alumno, tras la lectura de este documento, será capaz de identificar las celosías, analizar su evolución histórica, describir su comportamiento (barras traccionadas y comprimidas), los sistemas utilizados para evitar los problemas de pandeo, así como proponer ejemplos reales de edificios con esta tipología estructural identificando las soluciones propuestas.

## 4 Celosías

### 4.1 Antecedentes

Los Romanos construyeron, según Vitruvio (libro nº 4), en el siglo I antes de Cristo, tejados triangulados (imagen 1) para eliminar los empujes laterales de los apoyos.



*Imagen 1. Celosía de madera*



También construyeron puentes de madera como, por ejemplo, el de Trajano (sobre el Danubio), de Apolodoro de Damasco, (100 d.C). Este puente, con una luz de vano mayor de 30 m y una altura de 19 m, estaba formado por arcos y celosías de madera y pilares de mampostería. No quedan restos de éste pero sí referencias del mismo en la columna de Trajano (imagen 2) y en los libros de Palladio.



*Imagen 2. Columna de Trajano con el puente sobre el Danubio*

En la Edad Media (imagen 3) se construyeron también muchos tejados de madera aunque la mayoría de ellos ha desaparecido.



*Imagen 3. Tithe Barn, Bradford on Avon, UK. 1334-1379*

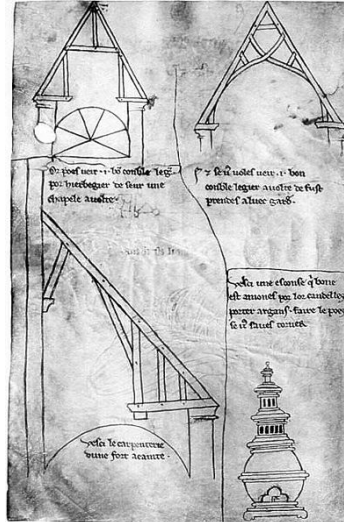
Quedan sin embargo muchas de estas cubiertas de madera escondidas sobre las bóvedas de las iglesias góticas. Habitualmente se construía una primera cubierta con celosías de madera para resguardar de las inclemencias del tiempo el interior de las iglesias, durante el largo proceso constructivo. Por su parte, las bóvedas interiores de piedra resguardaban de los incendios causados por los posibles rayos. En la imagen 4 vemos la maqueta y la cubierta de madera de la catedral de Salisbury (s. XIII). ¿Has visitado alguna vez el espacio entre bóveda y cubierta de alguna catedral gótica?



*Imagen 4. Catedral de Salisbury, Inglaterra. S. XIII*



En la imagen 5 vemos algunos esquemas de celosías de madera representados por Villard de Honnecourt en su cuaderno de viajes (1230).



*Imagen 5. Esquemas de celosías. Villard de Honnecourt*

Aunque parece que fue Leonardo (1452-1519) el primero en proponer una verdadera estructura triangulada, se considera que el precursor de este modelo estructural fue Andrea Palladio, cien años después. Este describió el comportamiento de las estructuras trianguladas para puentes en "Los cuatro libros de Arquitectura" (1570). A partir de entonces se construyeron algunas estructuras de este tipo. En la imagen 6 vemos una celosía de la época.



*Imagen 6. Iglesia en Wells s. XV*

Durante el siglo XVIII se construyeron muchos puentes de celosía de madera en Suiza, aunque prácticamente todos están destruidos. Un ejemplo es el puente sobre el Rin en Schaffhausen (2 arcos de 59 m) de Ulrich y Johannes Grubenmann (1757). Obra de estos hermanos es también un puente (formado por un arco de 119 m) sobre el Simmat en Wettingen (1777-1778). Se propone al alumno buscar referencias de estos puentes de celosía desaparecidos.

El desarrollo real de esta tipología empezó en la primera mitad del s.XIX, con la introducción del hierro como material principal en la construcción de los ferrocarriles en los Estados Unidos y Rusia. Primero fue hierro colado, luego hierro forjado y finalmente acero. Algunos de los primeros ingenieros fueron W. Howe, T. Pratt, A. Fink y S. Whipple en Norte América y J. Warren en Inglaterra.

Casi todos ellos patentaron un tipo de celosía que se fue utilizando en los diferentes puentes (imagen 7).

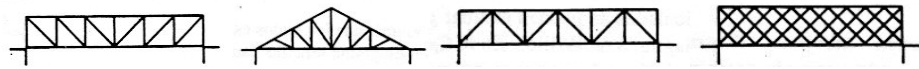


Imagen 7. Algunos ejemplos de celosías tipo (Pratt, Warren, Howe, Lattice)

En la segunda mitad del siglo XIX se utilizaron mucho las vigas y arcos triangulados de acero, no sólo para puentes (imagen 8) sino también para cubrir grandes luces de edificios públicos como mercados, salas de exposiciones, estaciones, etc. (Imagen 9)

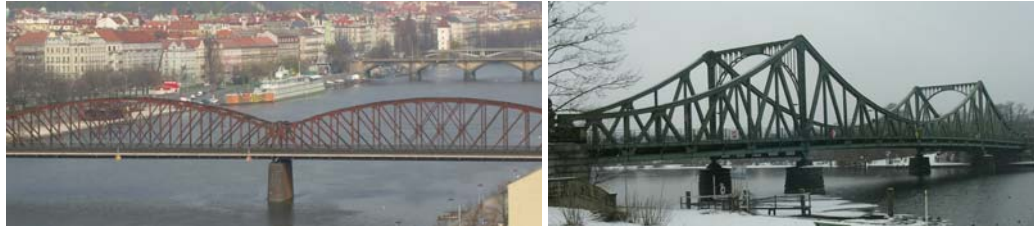


Imagen 8. Puente en Praga y puente en Berlin



Imagen 9. Estación de tren de Sao Paulo

El desarrollo teórico de estas estructuras fue prácticamente simultáneo. Se debe a S. Whipple (1847) y D. Jourasky (1850), con el método de los nudos; A. Ritter (1862), con el método de los cortes; K. Cullmann (1864), C. Maxwell (1864), L. Cremona (1872) y R. Bow (1873) con la solución gráfica y A. Mobius (1837) y O. Mohr (1874) con la determinación estática.

La aplicación más imaginativa del principio de la triangulación puede considerarse que es la Torre Eiffel para la Exposición Universal de Paris de 1889 (imagen 10)

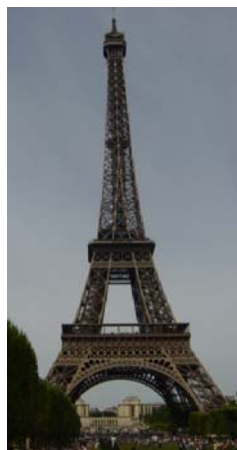


Imagen 10. Torre Eiffel, Paris



Actualmente las celosías forman parte de una gran variedad de edificios, incluyendo cubiertas de grandes luces, arriostramientos en edificios en altura, etc.,. El material utilizado es el acero y los perfiles laminares habituales o tubulares.

Veamos algunos ejemplos:

1. El Centro Georges Pompidou (imagen 11), París (Piano, Rogers, Arup, 1971-77), formado por 14 vigas vierendel prefabricadas de 45 m, unidas entre las diferentes plantas mediante tensores. Incorporan unas piezas metálicas horizontales (*Gerberette*) de sección curva, a modo de voladizos, ancladas a los pilares por uno de los extremos para sujetar las estructuras metálicas que sobresalen de las fachadas



*Imagen 11. Centro Georges Pompidou, París*

2. John B. Hynes Veteran's Memorial Convention Center, Boston (Kallmann, McKinnell & Wood, 1988). La cubierta del salón de actos consiste en unas celosías planas de gran canto y luz. De éstas cuelga también un forjado intermedio con gradas (imagen 12). Las celosías están arriostradas entre sí en un plano perpendicular a las mismas



*Imagen 12. John B. Hynes Veteran's Memorial Convention Center*

3. Estadio Olímpico, Berlín, (Gmp von Gerkan Marg und Partner, 2004)  
Se trata de una cubierta en voladizo formada por celosías de sección variable arriostradas transversalmente entre sí (imagen 13).



*Imagen 13. Estadio Olímpico, Berlín*



4. Hotel Artes, Barcelona (Skidmore, Owings, Merrill, 1992). Las celosías se utilizan en los edificios en altura para resistir las acciones horizontales. En este edificio la celosía queda visible en el exterior formando un pórtico envolvente triangulado (imagen 14).



*Imagen 14. Hotel Artes, Barcelona*

5. Ayuntamiento de Benidorm (Jose Luis Camarasa, 2003) La estructura consiste en dos celosías de 12 m de alto apoyadas sobre dos pares de soportes situados a 64,8 m de distancia, con dos voladizos de 21,60 m y 10,8 m. Las celosías, separadas 15 m, soportan los forjados de placas alveolares (imagen 15)



*Imagen 15. Ayuntamiento de Benidorm*

## 4.2 Hipótesis básicas para el análisis de celosías planas

El análisis de las celosías planas puede simplificarse adoptando unas hipótesis básicas que garanticen que sólo existirán esfuerzos axiles:

1. Se considera que los nudos están articulados.
2. Las cargas están aplicadas en los nudos.
3. Se asume que las barras son rectas y de sección transversal constante, de manera que sus ejes longitudinales coinciden con el centro del nudo.
4. Las barras se consideran esbeltas, con una despreciable capacidad para admitir flexiones.
5. Se acepta la Teoría de Pequeños Desplazamientos.

Al cumplir todas estas hipótesis nos encontramos con una celosía ideal que sólo admite esfuerzos axiles, despreciando las posibles flexiones.

Los esfuerzos en las barras de una celosía plana estáticamente determinada se obtienen planteando el equilibrio de cualquier parte de la misma y, en concreto, de cualquier nudo. Dependerán de la geometría y dimensiones generales de la



misma, de las condiciones de carga y de la geometría local de cada barra; siendo independientes, sin embargo, de otras propiedades físicas.

Las flechas en las celosías planas se deben al alargamiento de las barras traccionadas y al acortamiento de las comprimidas.

### 4.3 Pandeo en las celosías planas

Las celosías planas pueden presentar problemas de pandeo de las barras comprimidas (en el mismo plano o en el perpendicular) o bien pandeo de la celosía completa.

- PANDEO DE LAS BARRAS COMPRIMIDOS:

El pandeo en el mismo plano puede evitarse triangulando de forma que las barras comprimidas sean lo más cortas posible, dejando que las largas sean las traccionadas. De esta forma se aumenta la carga crítica de pandeo.

En el plano perpendicular puede evitarse arriostrando la celosía con elementos perpendiculares a ella que reducirán la longitud de pandeo, o diseñando secciones asimétricas de manera que, aunque las longitudes efectivas sean diferentes en ambos planos, las cargas críticas sean iguales.

- PANDEO DE LA CELOSÍA COMPLETA

Suele ocurrir cuando la celosía está aislada ya que, cuando varias celosías están conectadas entre sí por vigas que luego forman una cubierta o un forjado, ellas mismas la arriostran en sentido transversal.

Para prevenir el pandeo de celosías aisladas puede disponerse un cordón superior lo suficientemente rígido en la dirección perpendicular, aumentando la dimensión transversal del cordón (imagen 16) o adoptando una triangularización tridimensional



Imagen 16. Aeropuerto JFK, Nueva York

## 5 Resumen

A lo largo de este tema hemos visto la evolución histórica de las celosías que ha ido acompañada por el cambio de la madera al acero. Se ha expuesto brevemente las hipótesis principales de comportamiento, así como los problemas de pandeo y sus soluciones

Se proponen las siguientes cuestiones:

1. Buscar ejemplos diferentes en los que la estructura sea una celosía plana.
2. Identificar la solución adoptada para conferir estabilidad y evitar el pandeo.





## 6 Bibliografía

### 6.1 Libros:

[1] Basset, L.; Abdilla E. "Modelos estructurales y diseño estructural", Servicio de Publicaciones SPUPV-98.268, 1998.

[2] Benvenuto, E. "An introduction to the History of Structural Mechanics", Springer Verlag, 1991

[3] Ortiz y Sanz, Joseph. "Los diez libros de Arquitectura de Vitruvio", Edición facsimil impreso por la imprenta Real en 1787 en Madrid. Difundida libremente por la biblioteca de la Sociedad Española de Historia de la Construcción en su versión digitalizada

[4] Schueller W. "Horizontal Span Building Structures" Ed J. Wiley and Sons, 1983

### 6.2 Referencias de fuentes electrónicas:

[1] <http://www.wikipedia.org>

### 6.3 Figuras e imágenes:

Imagen 1. Celosía de madera. Autora de la fotografía Luisa Basset

Imagen 2. Columna de Trajano con el puente sobre el Danubio. Fotografía de dominio público depositada en Wikimedia Commons. [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:072\\_Conrad\\_Cichorius,\\_Die\\_Reliefs\\_der\\_Traianss%C3%A4ule,\\_Tafel\\_LXXII\\_\(Ausschnitt\\_01\).jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:072_Conrad_Cichorius,_Die_Reliefs_der_Traianss%C3%A4ule,_Tafel_LXXII_(Ausschnitt_01).jpg)

Imagen 3. Tithe Barn, Bradford on Avon, UK. 1334-1379. Autora de la fotografía Arianna Guardiola

Imagen 4. Catedral de Salisbury, Inglaterra. S. XIII. Autora de las fotografías Luisa Basset

Imagen 5. Esquemas de celosías. Villard de Honnencourt. Imágenes depositadas en Wikimedia commons para uso de dominio público. [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Villard\\_de\\_Honnecourt\\_Sketchbook\\_-\\_34.jpg?uselang=es](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Villard_de_Honnecourt_Sketchbook_-_34.jpg?uselang=es).

Imagen 6. Iglesia en Wells s. XV. Autora de la fotografía Luisa Basset

Imagen 7. Ejemplos de celosías tipo (Pratt, Warren, Howe, Lattice). Autora de los dibujos Luisa Basset

Imagen 8. Puente en Praga y puente en Berlín. Autora de las fotografías Luisa Basset

Imagen 9. Estación de tren de Sao Paulo. Autora de la fotografía Luisa Basset

Imagen 10. Torre Eiffel, París. Autora de la fotografía Luisa Basset

Imagen 11. Centro Georges Pompidou, París. Fotografías a, b de Luisa Basset y fotografía c de dominio público depositada en Wikimedia Commons por el autor Andreas Praefcke. [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Centre\\_Georges-Pompidouvu\\_du\\_Montmartre.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Centre_Georges-Pompidouvu_du_Montmartre.jpg)

Imagen 12. John B. Hynes Veteran's Memorial Convention Center. Autora de la fotografía Luisa Basset

Imagen 13. Estadio Olímpico, Berlín Autora de la fotografía Luisa Basset

Imagen 14. Hotel Artes, Barcelona. Autora de las fotografías Luisa Basset

Imagen 15. Ayuntamiento de Benidorm. Autora de las fotografías Luisa Basset

Imagen 15. Ayuntamiento de Benidorm. Autora de la fotografía Luisa Basset