

ESTRUCTURAS I : CLASE 6 Estática: ESTÁTICA GRÁFICA. POLÍGONO DE FUERZAS-POLÍGONO FUNICULAR

Guillermo A. Olivares Martínez

Arquitecto PUCV Mg.Estructuras UPC
guillermo.olivares@ead.cl



Pina Bausch Como el mosquito en la piedra (Fotografía: Zerrin Aydin Herwegh)



Pina Bausch's *Wind von West*. Fotografia: Rosalie



Pina Bausch de Wim Wenders



Pina Bausch "The Next Wave Festival", Fotografía:Stéphanie Berger





Waterloo Station London,
Arquitecto N. Grimshaw
Ingeniero A. Hunt



Yusuhara Wooden Bridge Museum,
Arquitecto K.Kuma
Ingenieros **Ejiri Structural Engineers**

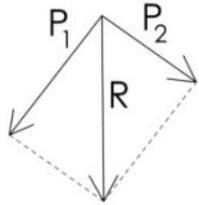


Airport Stuttgart T3

Arquitectos GMP

Ingenieros M. Ludescher Asociados

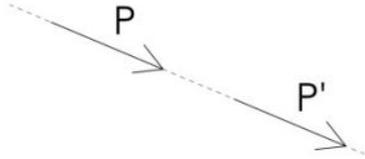
Bases para la estática gráfica



Ley del paralelogramo

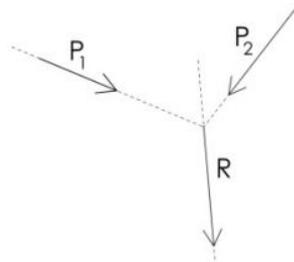
Dos fuerzas P_1 y P_2 , que actúan sobre una partícula, son equivalentes en su acción a una fuerza resultante única R .

La primera ley de Newton establece que si la fuerza resultante (**fuerza neta**) de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo es cero, el cuerpo permanece en reposo.



Principio de Transmisibilidad

Una fuerza puede ser transmitida a lo largo de su línea de acción. Siendo las condiciones de un cuerpo inalteradas si una fuerza P se reemplaza por una fuerza P' , de igual magnitud y dirección pero aplicada en un punto distinto a lo largo de la **línea de acción**.



Principio de Transmisibilidad

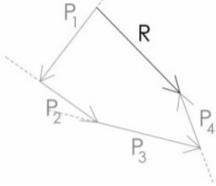
Por los dos principios anteriores es posible afirmar que el equilibrio de fuerzas no aplicadas sobre un mismo punto se puede resolver con una **fuerza resultante**.

Bases para la estática gráfica

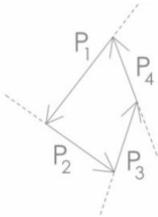
Polígono de Fuerzas

En el caso de que actúen más de dos fuerzas coplanares en un cuerpo, se traza el polígono de fuerzas.

Si este es abierto, la resultante será la fuerza unívoca aplicada equivalente al sistema de fuerzas presente. La resultante ha de ser nula para que se verifique así el equilibrio del sistema.

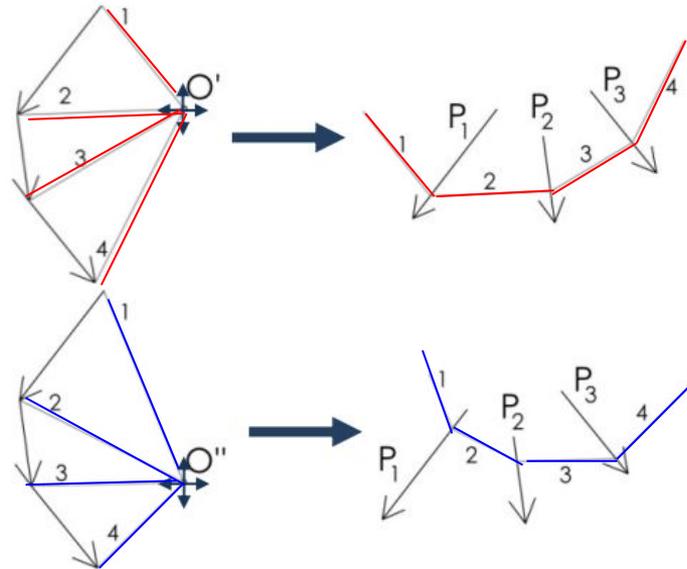


Si por el contrario es cerrado, no habrá resultante y el sistema estará en al menos equilibrio traslacional.

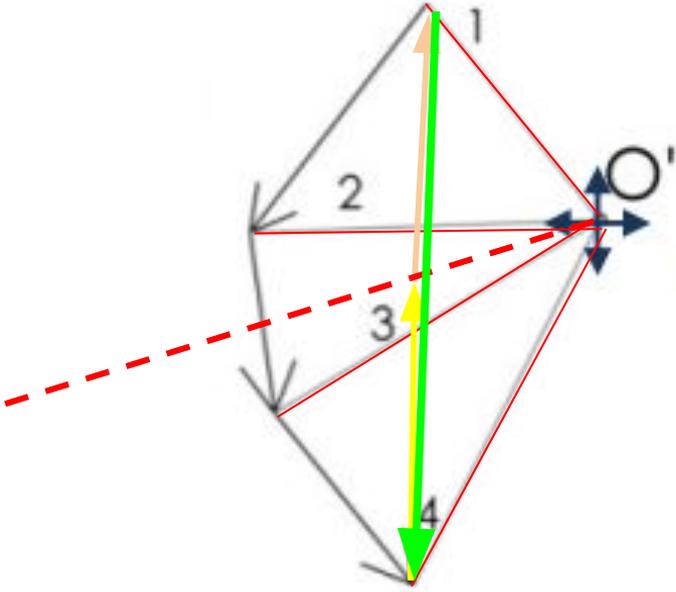


Polígono Funicular

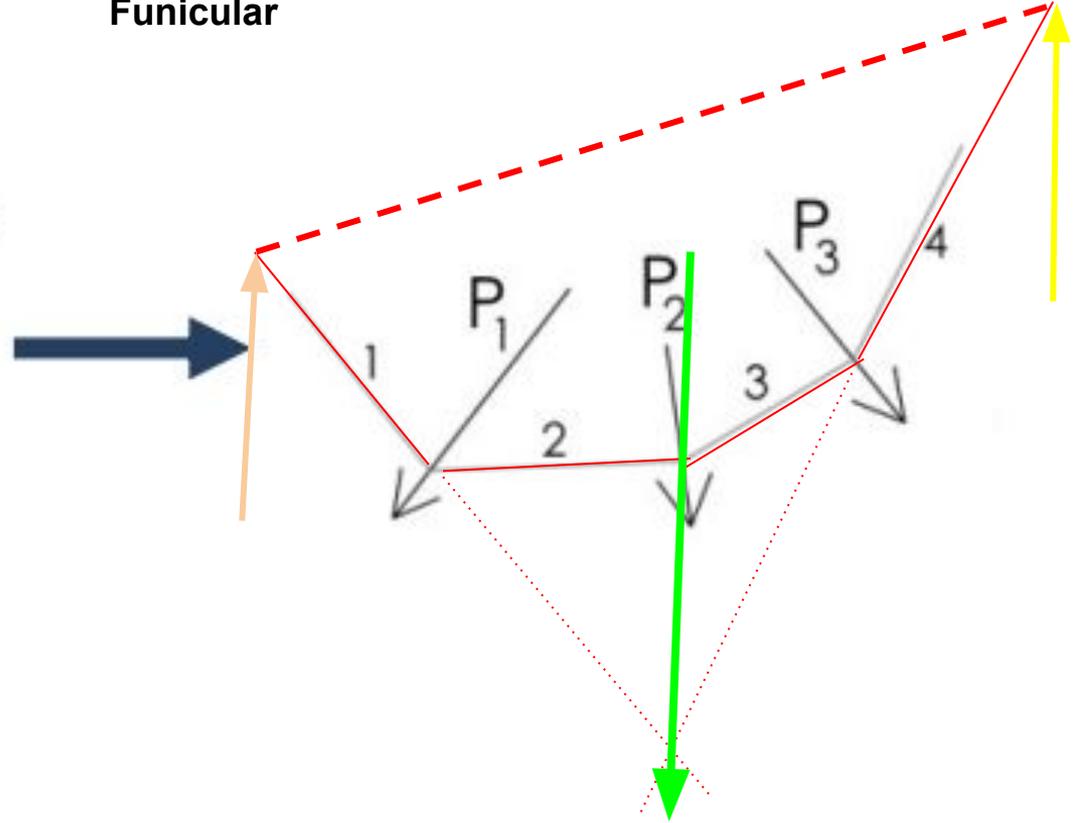
El polígono de fuerzas y el polígono funicular están directamente relacionados, una vez trazadas las fuerzas en el diagrama de fuerzas estas podrán ser descompuestas con el objetivo de trazar un flujo de fuerzas.



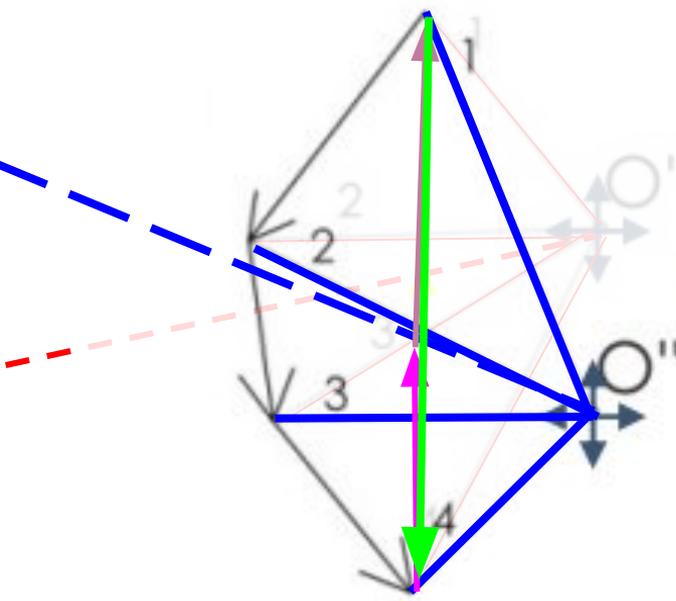
Polígono de fuerzas



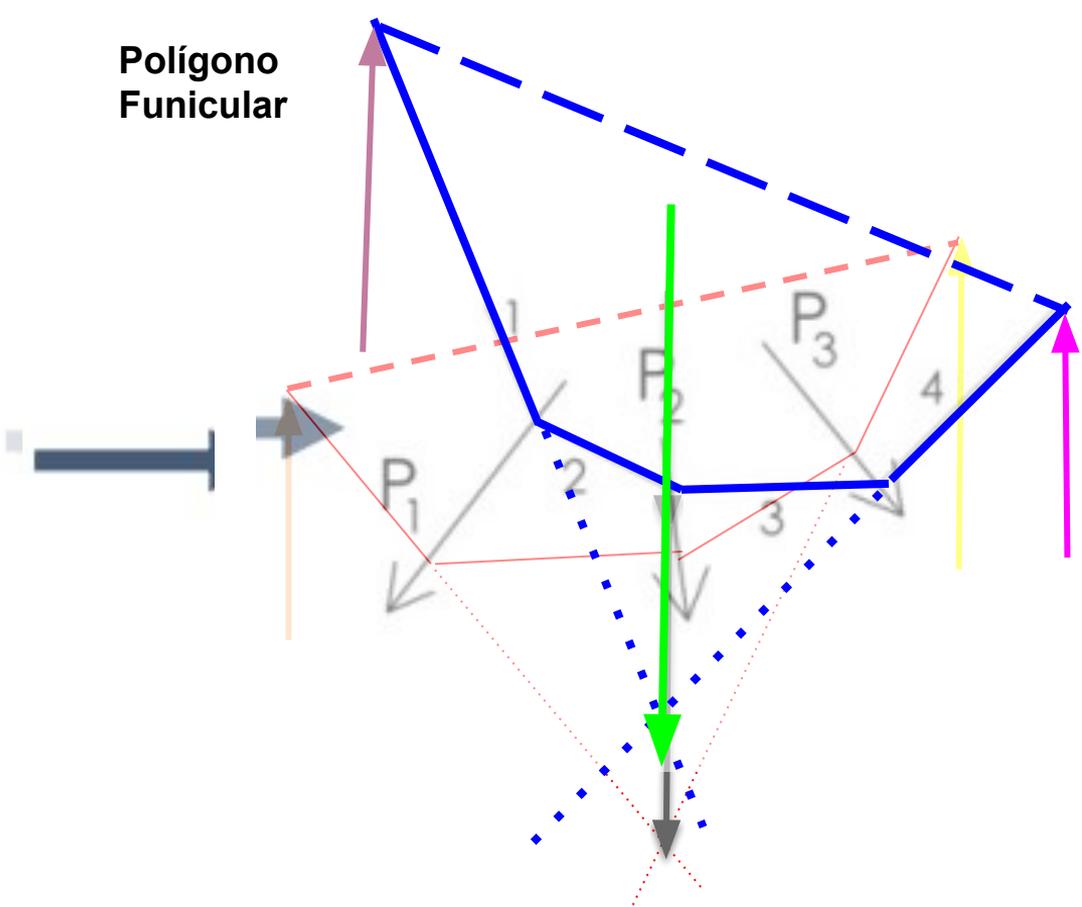
Polígono Funicular

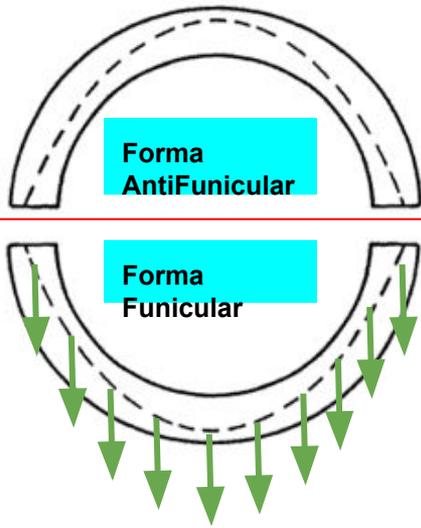


Polígono de fuerzas

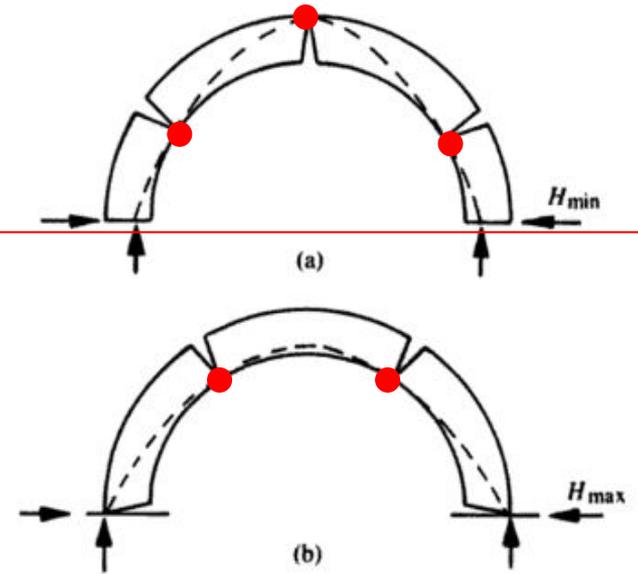
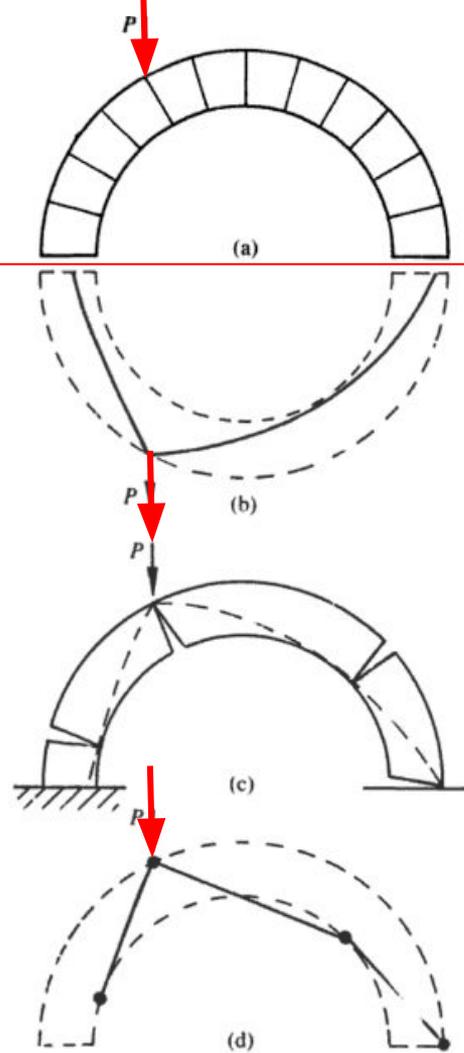


Polígono Funicular

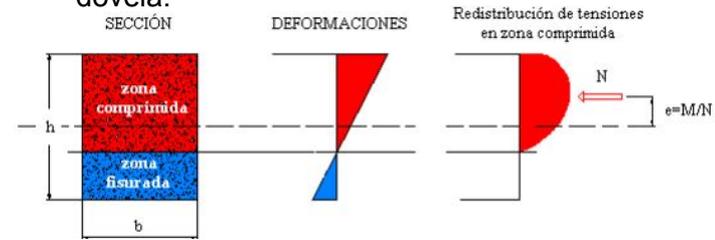




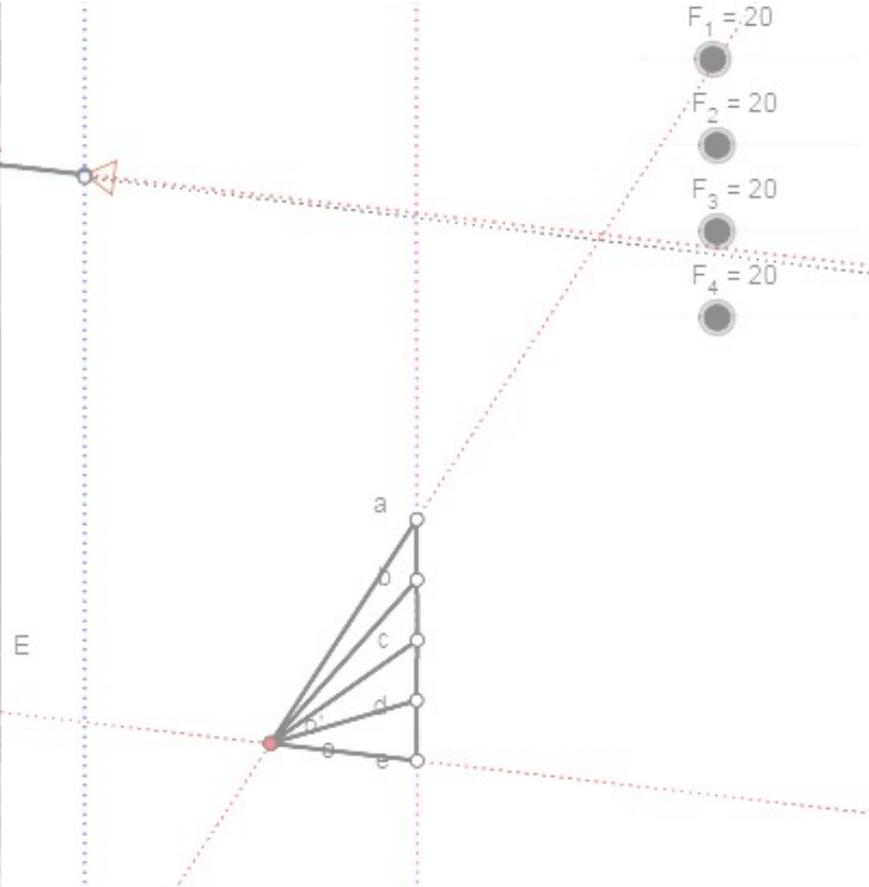
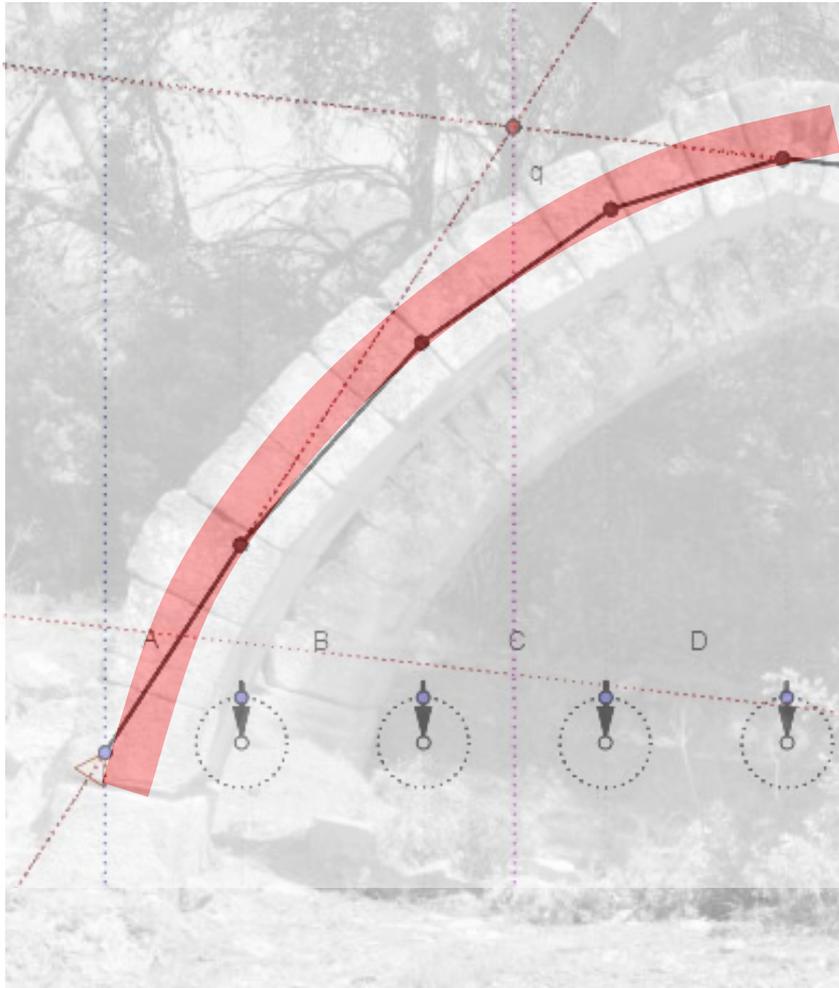
La **carga permanente** (peso propio y carga muerta) gravita directamente sobre la estructura del arco, generando un estado **funicular de cargas**.



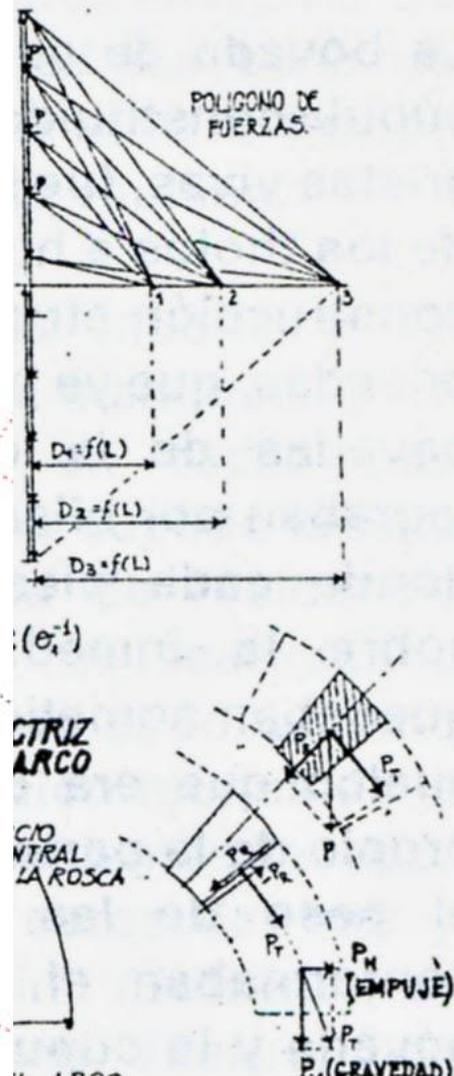
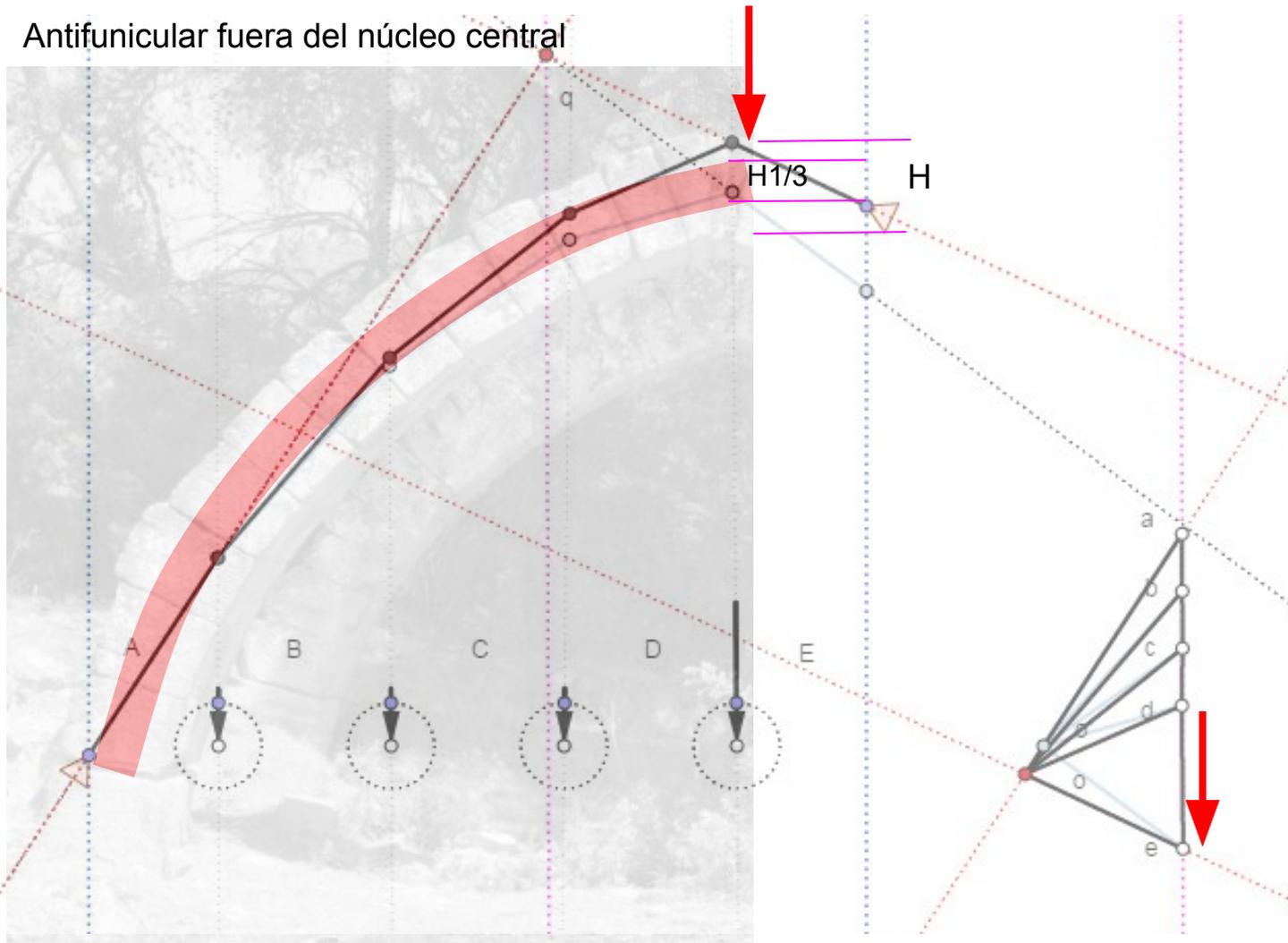
Sobrecargas en el arco varían la posición de la resultante dando lugar a **esfuerzos de flexión**. Por tanto, la línea de presiones se desvía del centro de gravedad de la sección. Esta excentricidad expone la relación entre el esfuerzo y el momento flector en cada dovela.

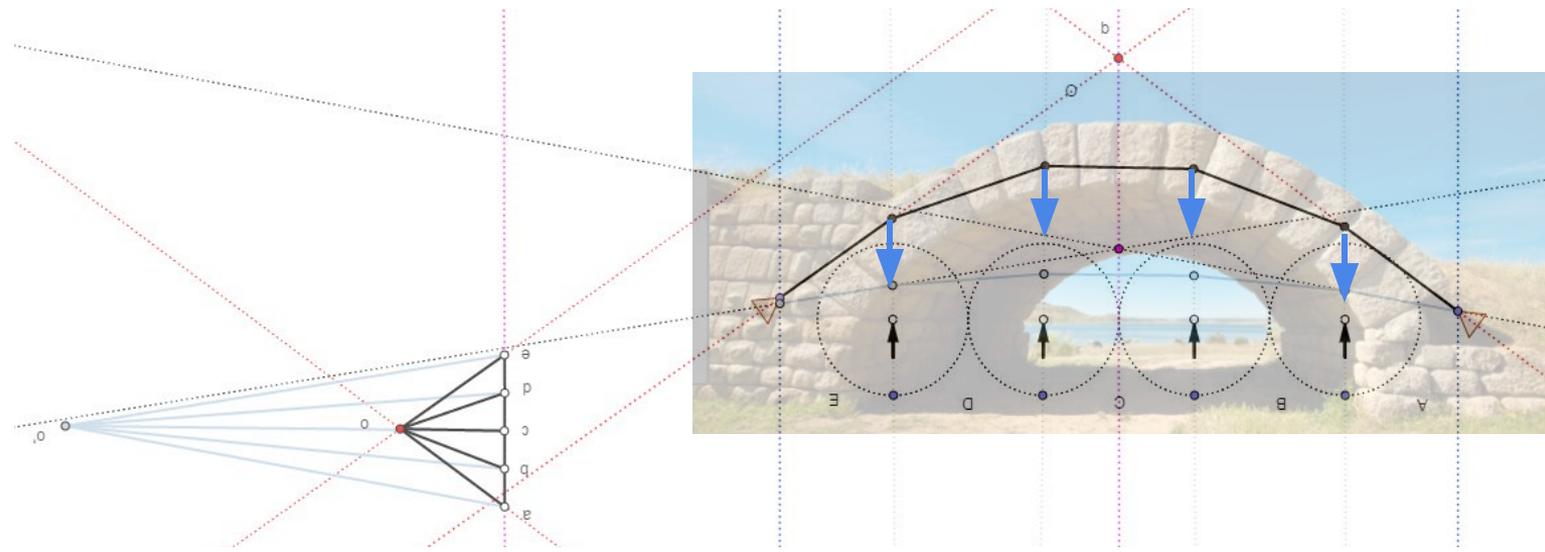


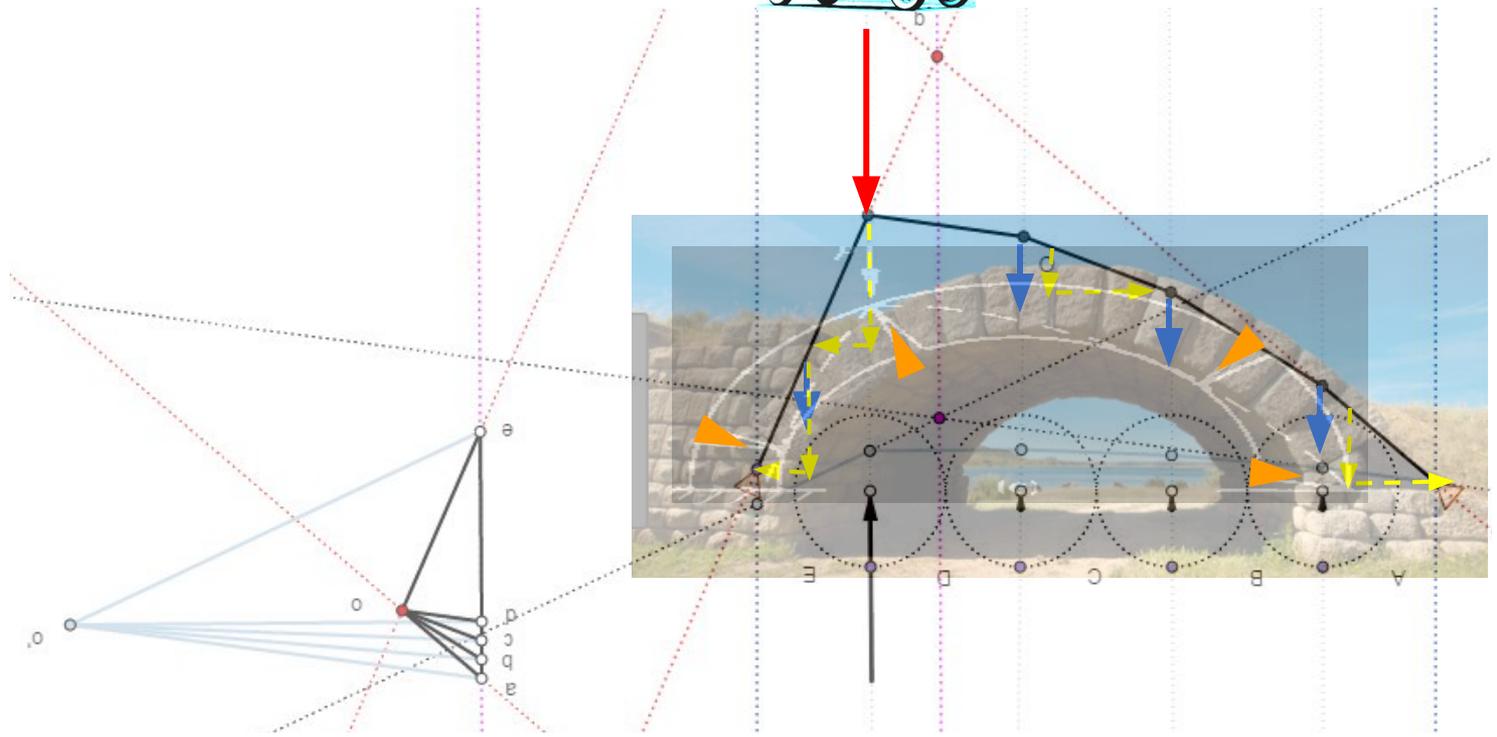
Antifunicular en núcleo central



Antifunicular fuera del núcleo central

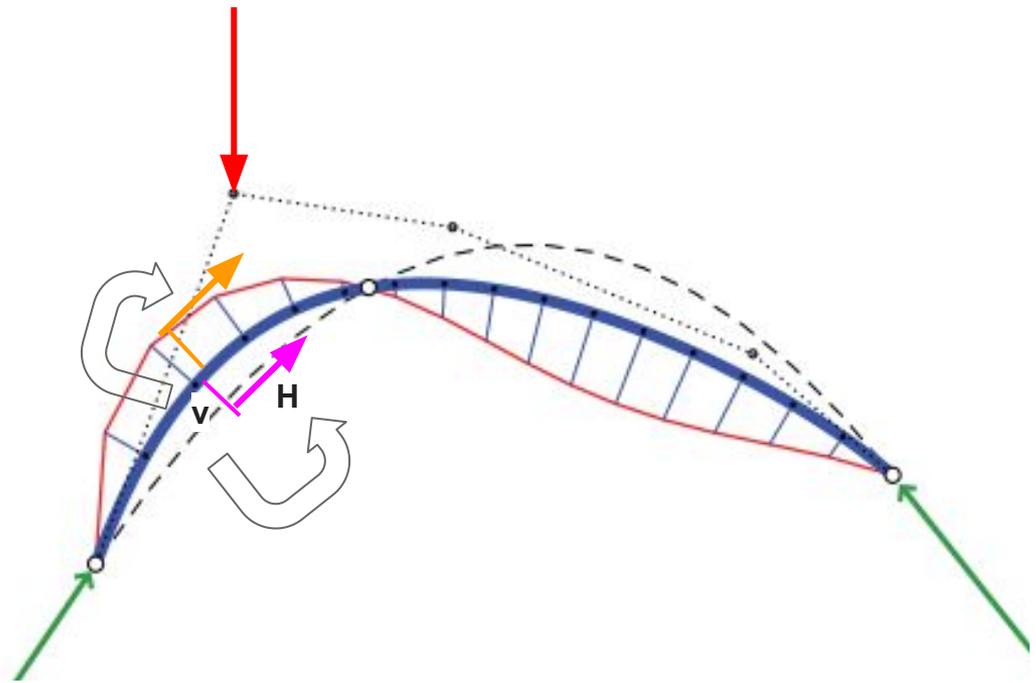






Control geométrico funicular de formas estructurales no funiculares

Un campo de avanzada en el estudio de las formas estructurales, se encuentra en geometrías que recomponen sus líneas de empuje mediante la adición de un sistema de tensión-rigidez conformado de acuerdo con al momento de flexión en la curva. .

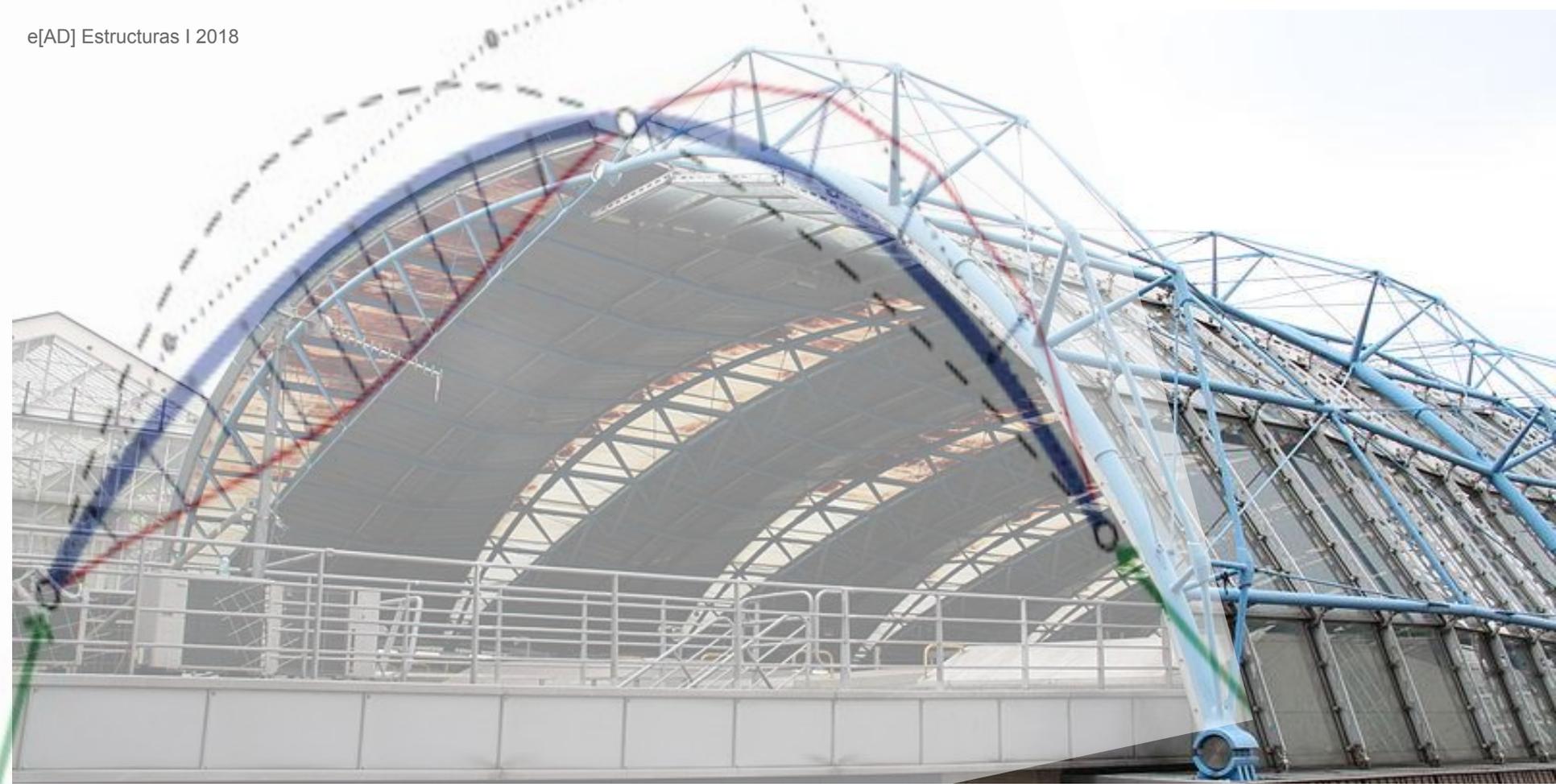


La línea azul (curva de control) presenta una geometría libre de momentos para la carga dada.

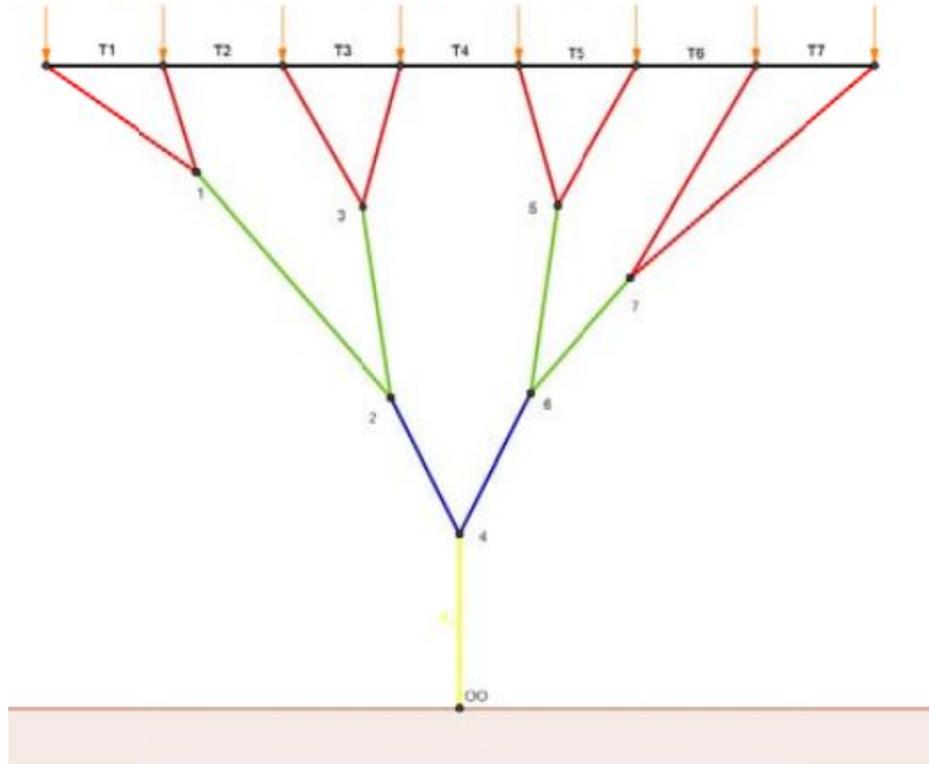
El momento de flexión M en cualquier punto a lo largo de la curva de control es proporcional a su desviación del funicular

solución: $M = Hv$, con H el empuje (horizontal) de la estructura, y v la distancia vertical entre el

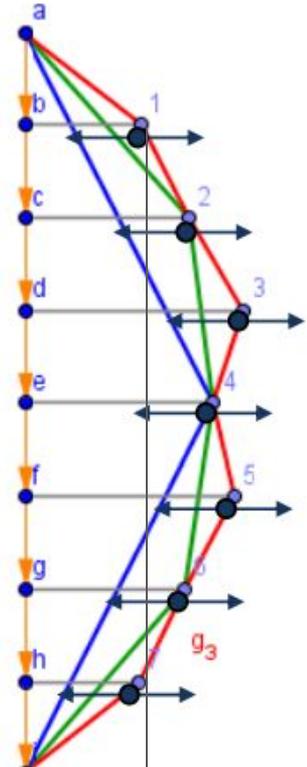
curva de control y el funicular. Donde el funicular y la curva de control se cruzan, el esfuerzo de flexión es cero.

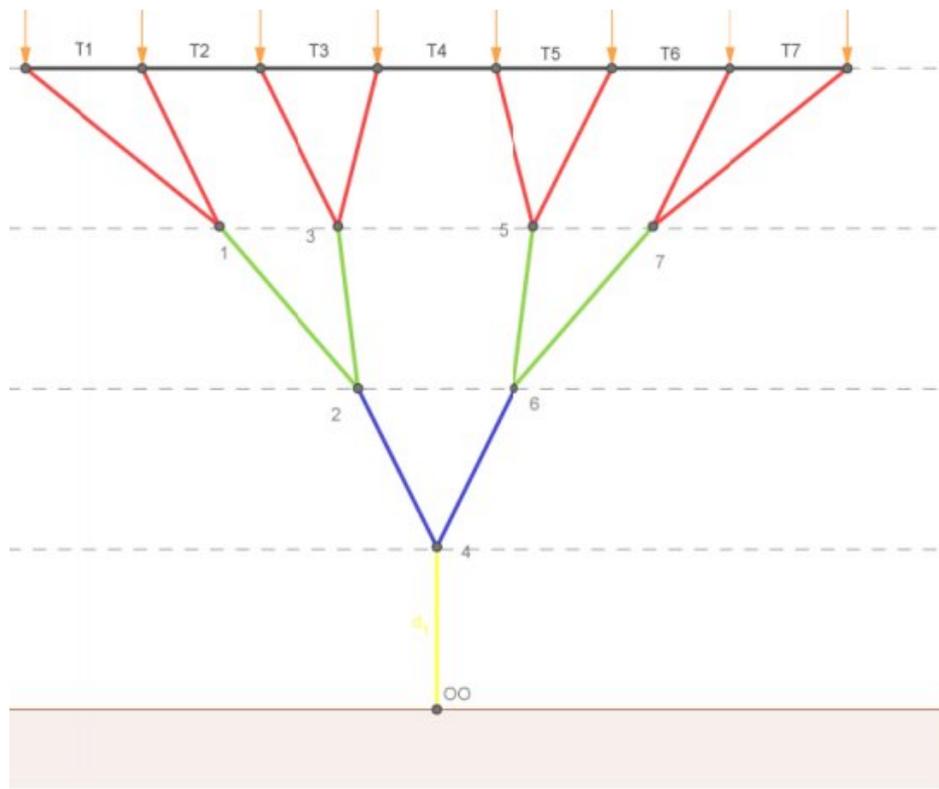


Geometría arbórea y optimización estructural mediante resultantes parciales

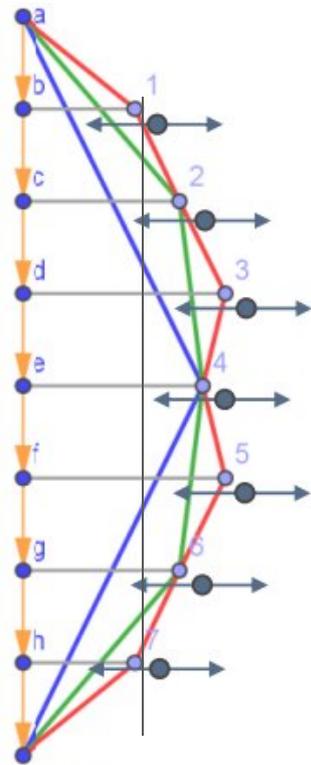


Geometría construida



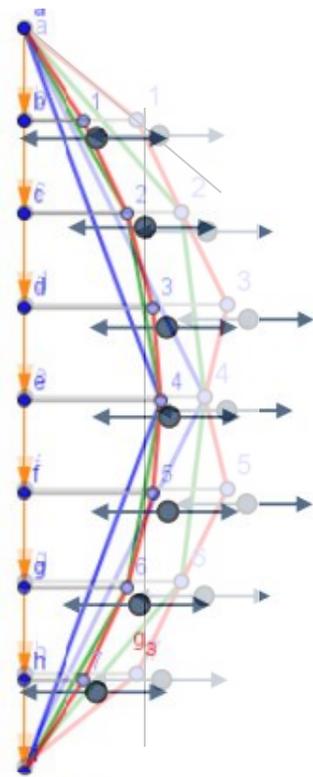


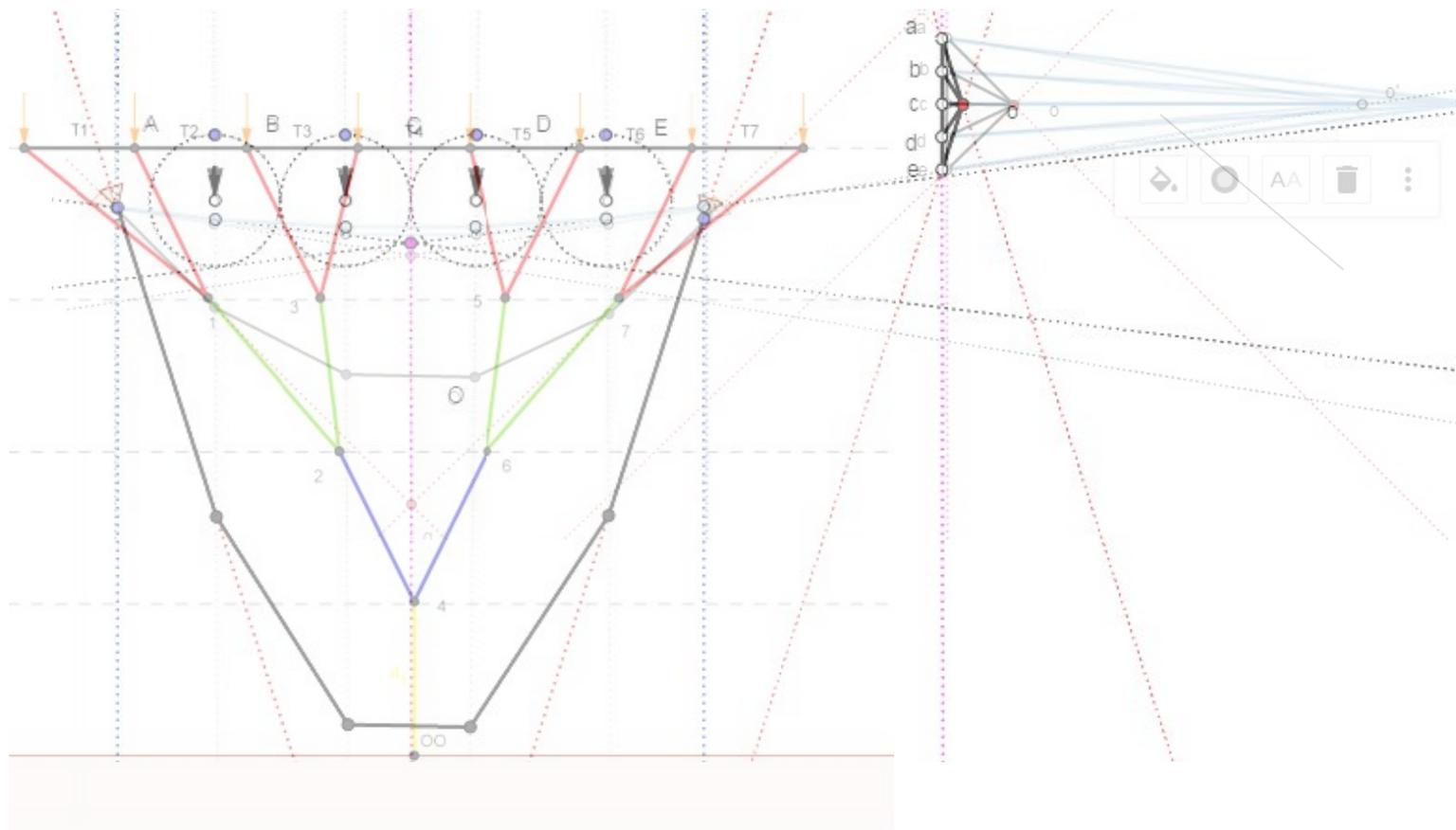
Geometría racionalizada



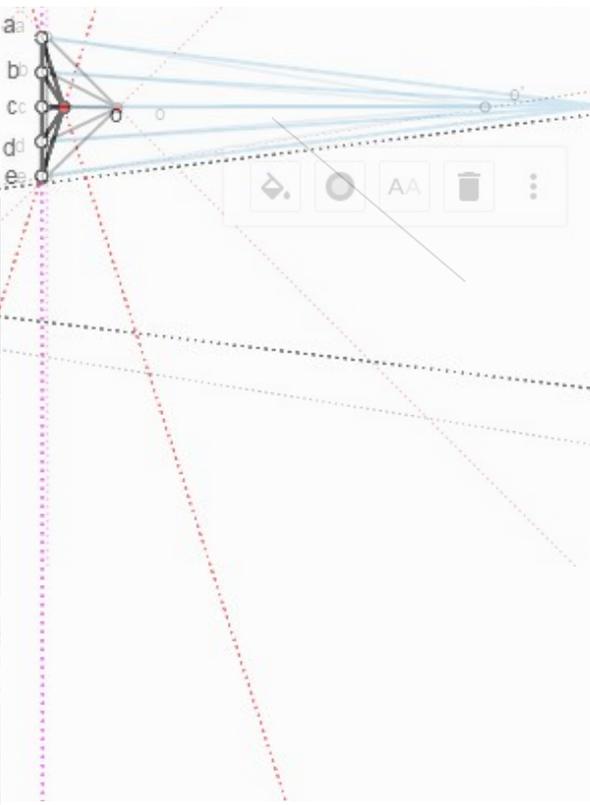
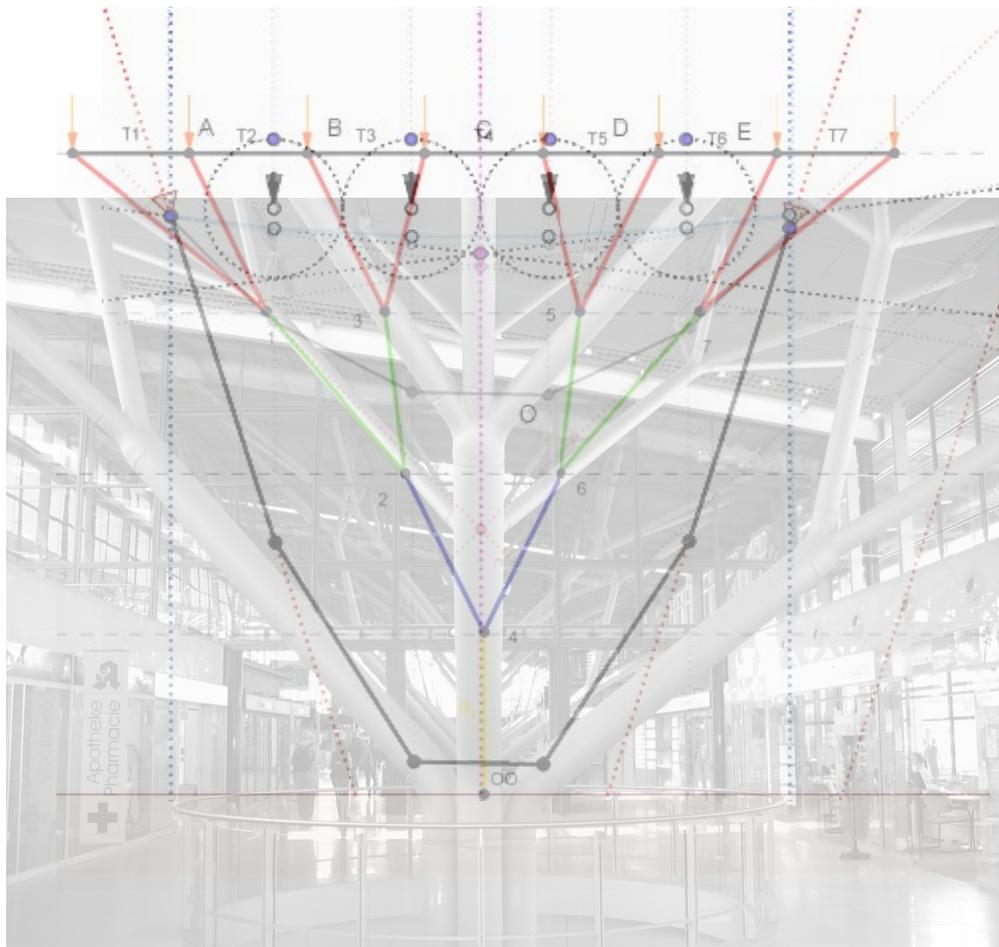


Geometría ideal





Resultante sucesivas

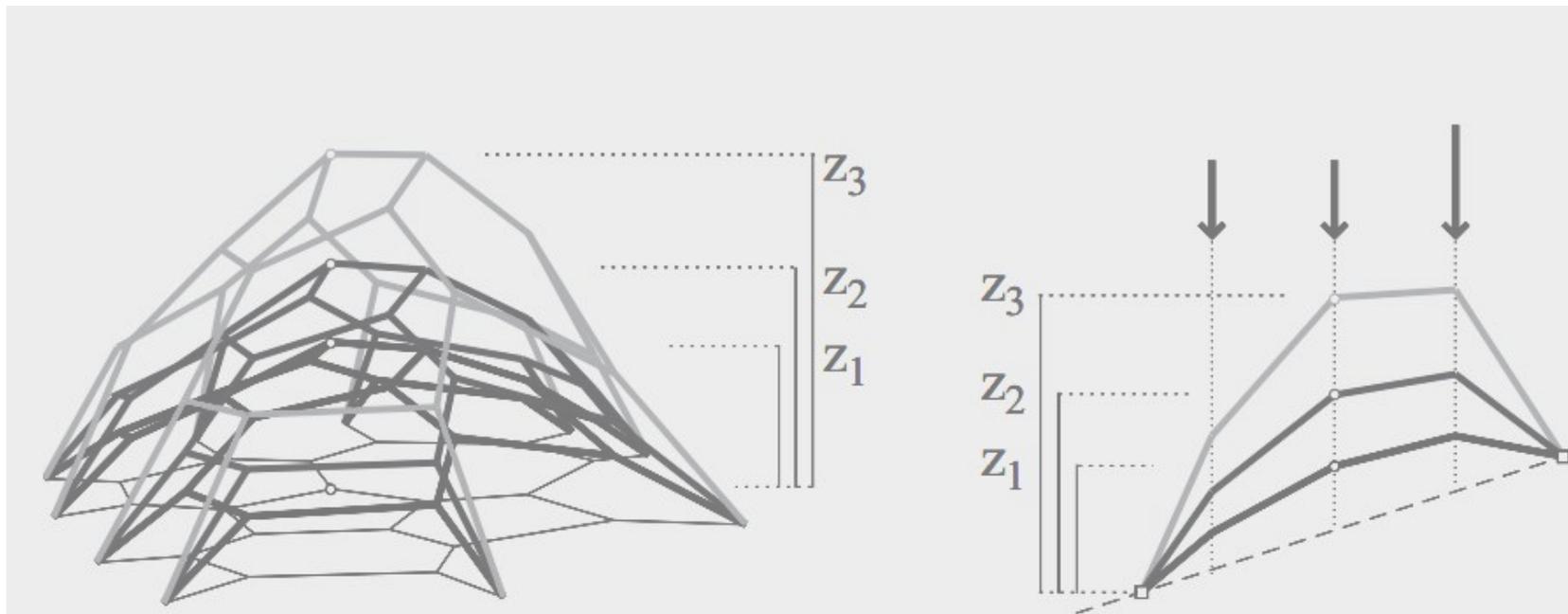












Proyección forma antifunicular Tridimensional.



Block Research Group (BRG) at the Institute of Technology in Architecture at ETH Zürich is led by Prof. Dr. Philippe Block and Dr. Tom Van Mele.

Bibliografía

- BEER, F.P., RUSSELL, E., EISENBERG, E.R., 2007, 8ª ED. Mecánica vectorial para ingenieros. Estática.
- BEGHINI, L., BEGHINI, A., BAKER, W., 2013. Structural optimization using graphic statics.
- CHARLESON, A. 2006. La estructura como arquitectura: Formas, detalles y simbolismo. Ed. Reverté.
- CREMONA, L. 1872. Le figure reiproche nella grafica statica. Milano.
- CULMANN, K. 1865. Die Graphische Statik, Meyer und Zeller. Zurich.
- GERHARDT, R., KURRER, K-E., PICHLER, G., 2003. The methods of graphical statics and their relation to the structural form.
- JACOBO, G.J., 2004. El diseño estructural por medio de los métodos gráficos.
- RITTER, W. 1888-1906. Anwendungen der graphischen Statik. Zurich.
- VARIGNON, P. 1725. Nouvelle Mécanique ou Statique. Paris. · STEVIN, S. 1586. De Beghinselen der Weeghconst. Brujas.
- TIMOSHENKO, S.P., LACHAUER, L., 1981. Teoría de las estructuras, Ed. ELCANO S.A. (1ª Edición)
- HEYMAN, J., The Stone Skeleton: Structural engineering of masonry architecture, Cambridge University Press, 1995.
- LOZANO, B., Aplicaciones de la Estática Gráfica al Diseño de Estructuras mediante herramientas Informáticas, 2016.
- JOSEP MARIA GENESCÀ, Ponencia. "Els Poligons Funiculars". Associació de Consultors d'Estructures
- Block Research Group (BRG) at the Institute of Technology in Architecture at ETH Zürich <http://block.arch.ethz.ch/brg/>