

Nueva generación de apoyos de celosía tubular optimizada para líneas aéreas de alta tensión y construcción eficiente basada en nodos

Tradicional 400 kV

Objetivo – Reducir consumo de materiales, emisiones, impacto visual y complejidad de instalación, para disponer de apoyos más eficientes e integrables en los flujos digitales de ingeniería de Red Eléctrica

Optimización Estructural e Integración Digital



Ángulos

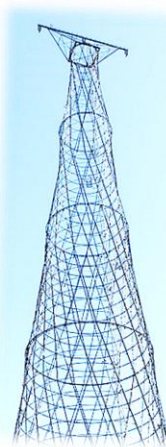
Misma resistencia con 20-40 % menos acero

Comparativa representativa entre angulares y tubos según EN 1993-1-1 [1]

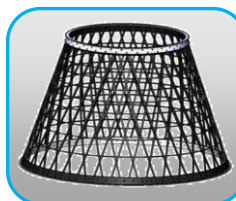


Tubos

Diseño compacto inspirado en estructuras de alto rendimiento



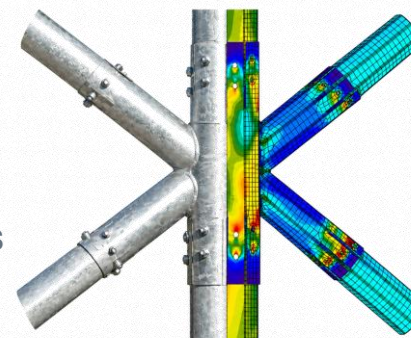
Oka river tower
(V. Shukhov)



Payload Adaptor



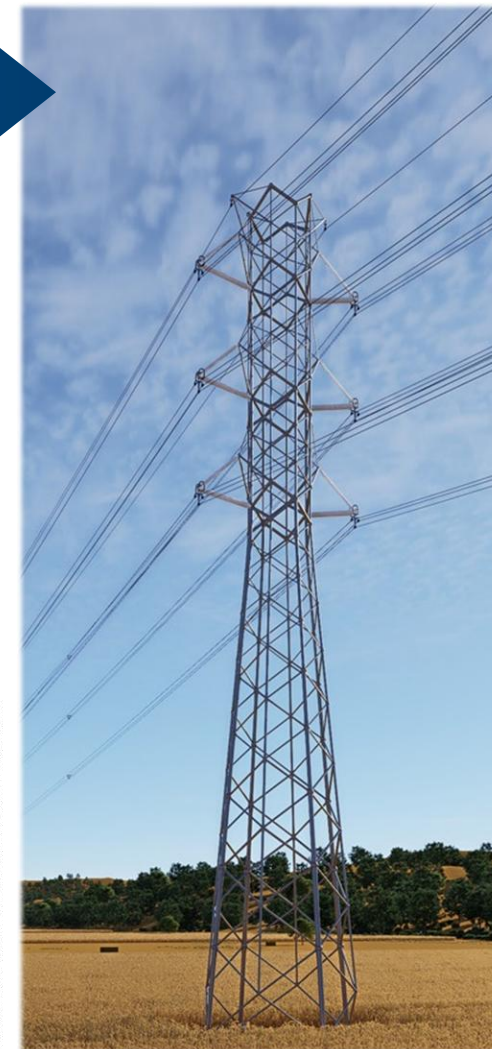
Interstage 2/3



Construcción eficiente mediante nodos atornillados

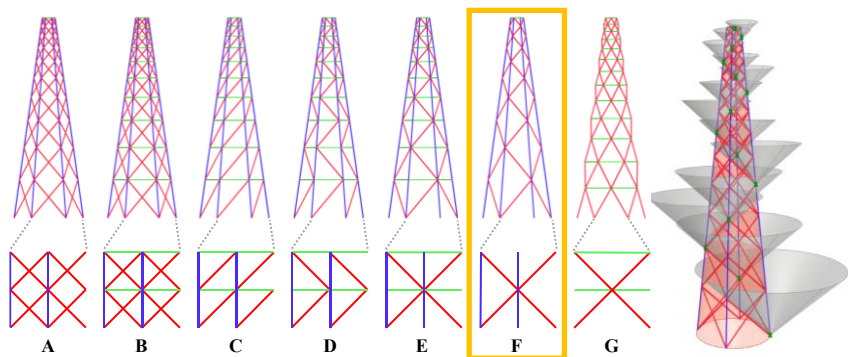
Optimización mediante FEA y verificación con criterios EN 1993-1-8 [1]

Anisopter 400 kV

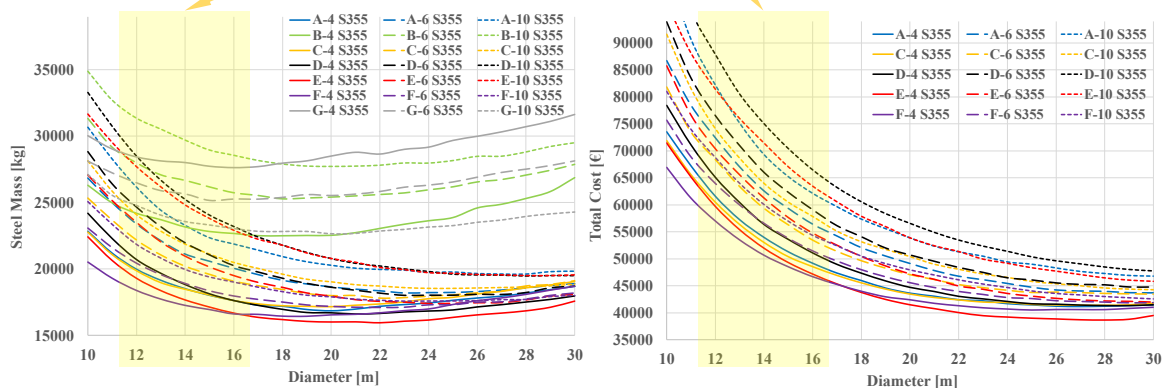


Optimización estructural exhaustiva e integración digital

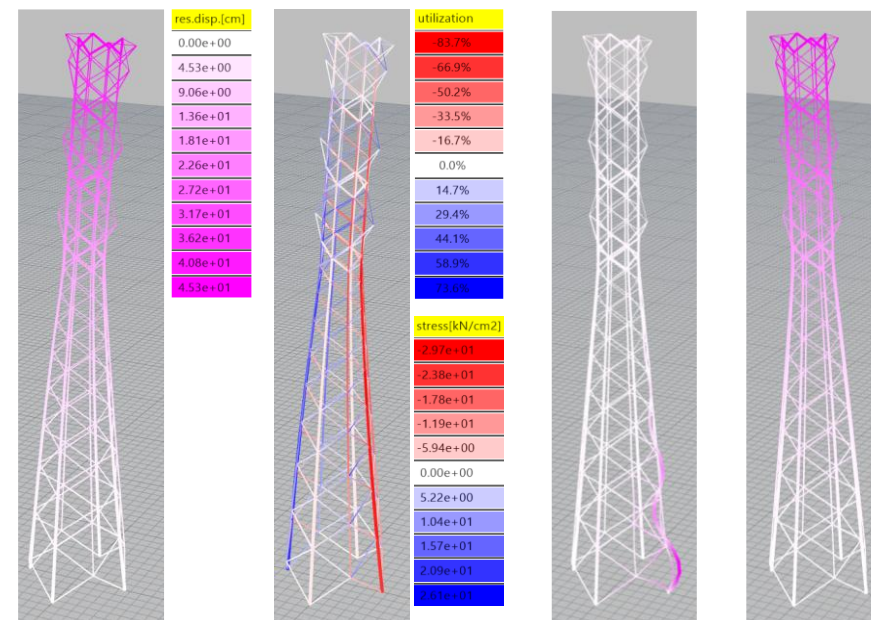
- ✓ **Miles de configuraciones exploradas variando** topología, número de lados, diámetro de base, altura, **ángulo** entre **verticales** y **diagonales**, y separación entre conductores [2]



- ✓ Selección de las configuraciones con mejor equilibrio entre compacidad, consumo de acero y coste estimado



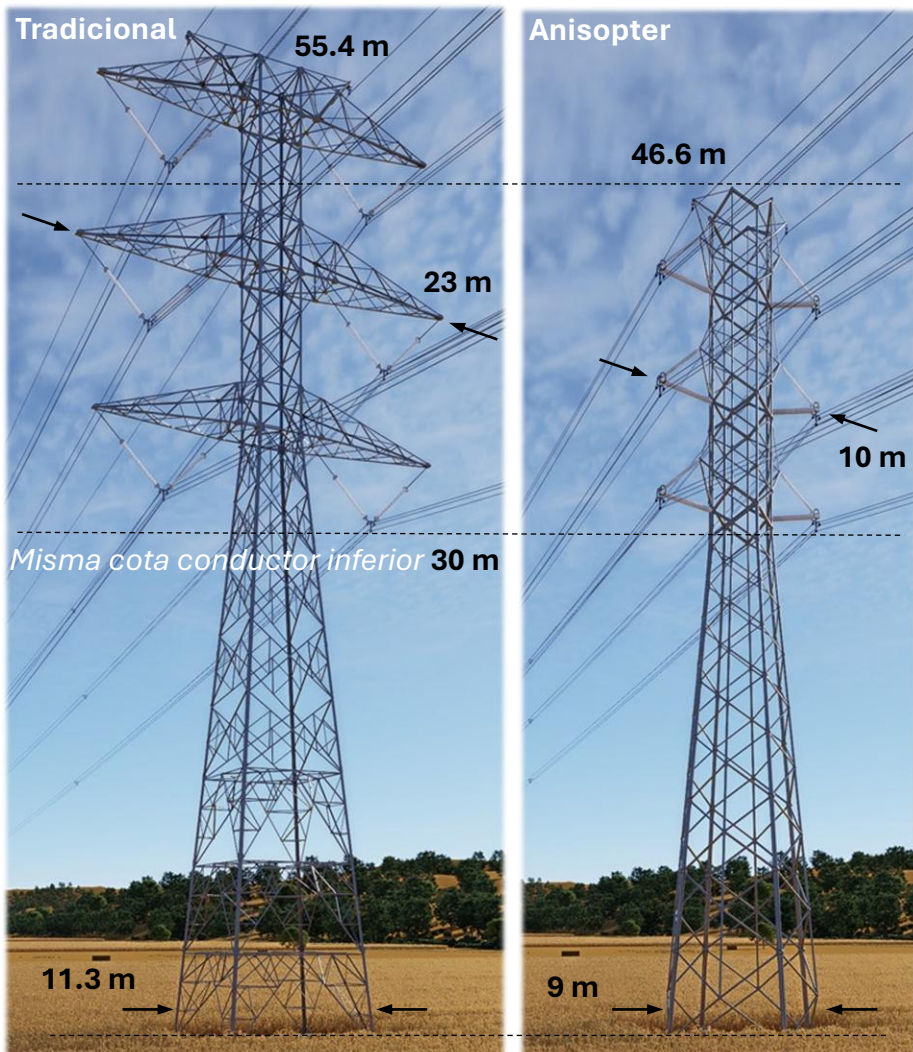
- ✓ **Análisis** por elementos finitos (FEA) y **verificación** (EN 1993-1-1) bajo los casos de carga reglamentarios (RD 223/2008–ITC-LAT-07) **de todas las configuraciones** de celosía tubular



- ✓ **Integración** en el flujo habitual de ingeniería de **Red Eléctrica** con PLS-CADD



Compactación geométrica e integración visual



La **geometría** del nuevo diseño® [3], más **compacta**, redondeada y orgánica, está concebida para reducir el carácter industrial de los apoyos tradicionales y favorecer su integración visual y **aceptación social**

- ✓ **Altura**
≈9 m menos
- ✓ **Anchura**
cabeza ≈50 % menos
base ≈20 % menos
- ✓ **Separación entre fases**
≈25 % menos
- ✓ **Servidumbre**
≈15 % menos

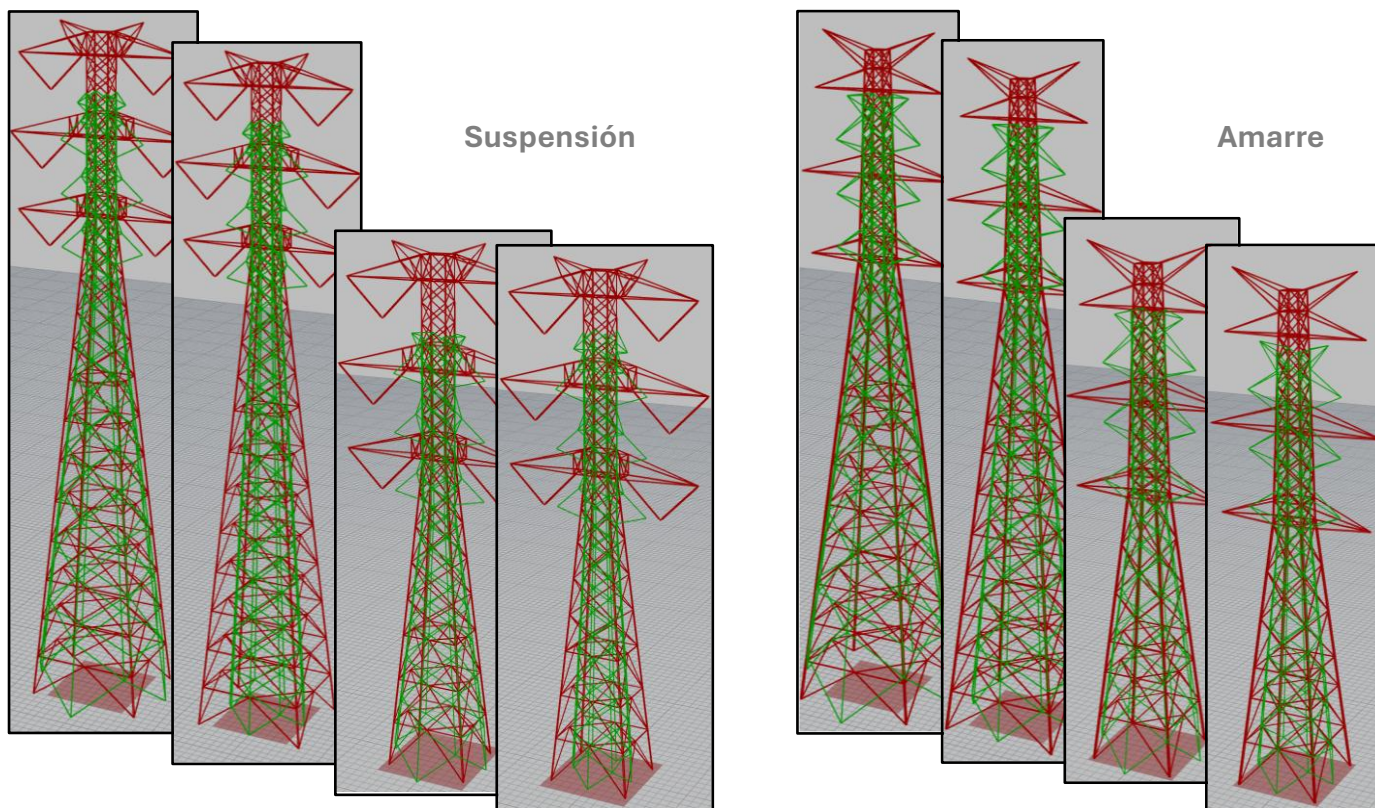


► Vídeo presentación Anisopter
https://youtu.be/8nVaRSn_Vy4



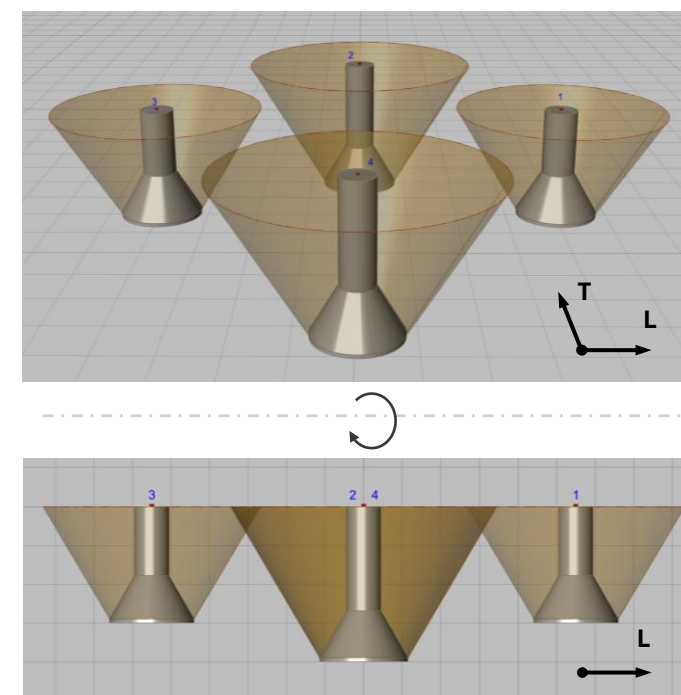
Versatilidad y robustez del diseño Anisopter

- ✓ Se evaluaron apoyos de **suspensión y amarre** de distintos **diámetros**, desde las **alturas** habituales (40-50 m) hasta las más grandes para cruzar ríos y valles (80 m) [2]



- ✓ Se comprobó su **versatilidad**, ya que las ventajas se mantienen en un **amplio rango de geometrías y solicitaciones**, sin limitarse a un único caso optimizado

- ✓ **Cimentaciones independientes** “pata de elefante” para implantación directa y económica en España



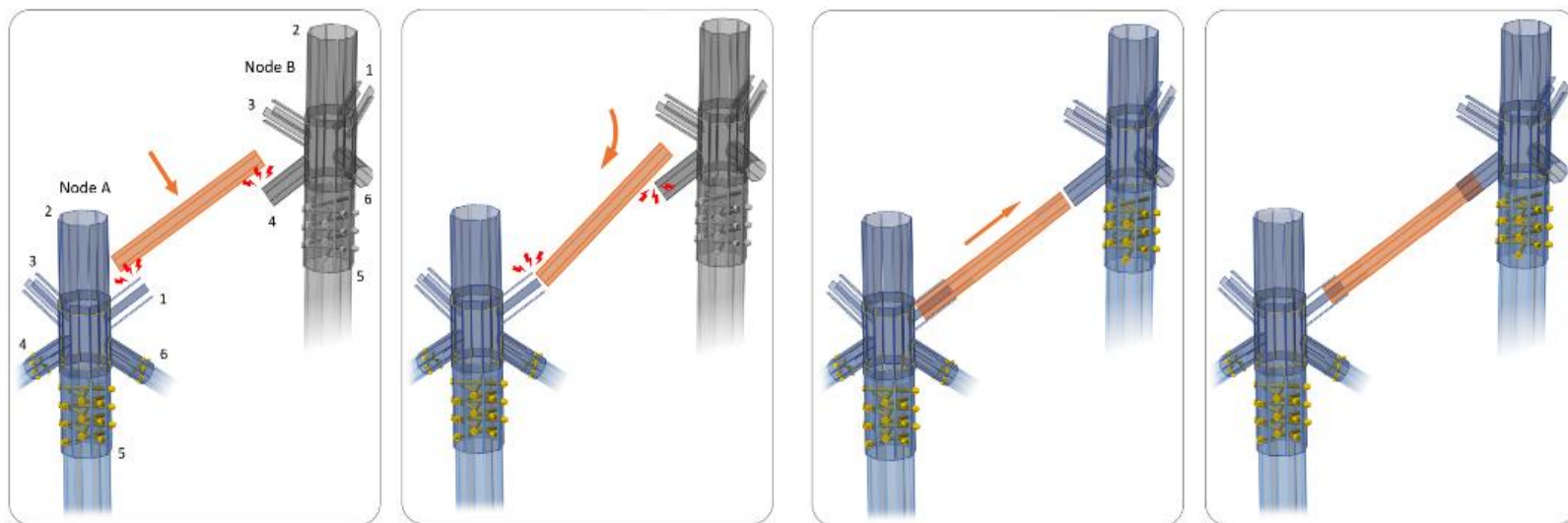
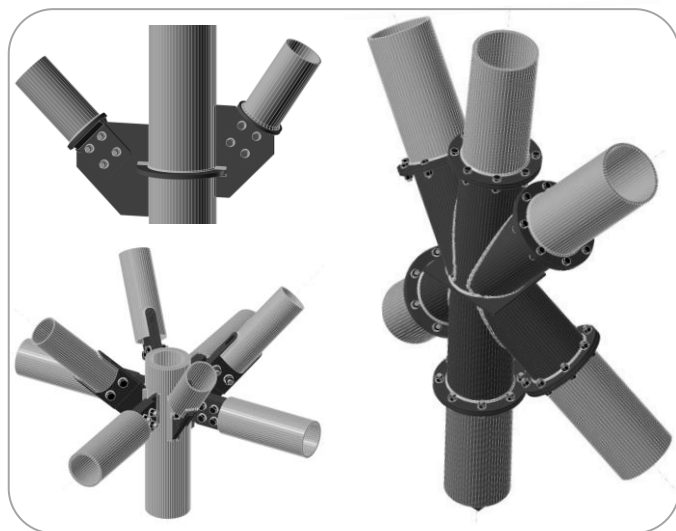
- ✓ **Optimización 2x2** de las cimentaciones para cada apoyo: un par dedicado a las cargas longitudinales (L) y otro a las transversales (T), con **ahorros del 10-15 % de hormigón**

Construcción eficiente mediante nodos atornillados

❖ El montaje de las celosías tubulares se complica cuando varios tubos llegan a un mismo nodo desde direcciones no paralelas ni ortogonales

➤ Las **soluciones tradicionales** recurren a terminales, placas, cartelas o bridas y suelen requerir **numerosas soldaduras y refuerzos** que encarecen las uniones

✓ **Anisopter** utiliza un **sistema patentado® de nodos** prefabricados [4,5] que permite atornillar tubos en obra de forma secuencial, simple y eficiente [1]



➤ **Soldadura en obra descartada** por su alto coste y dificultad de proteger la unión frente a la corrosión: el conjunto ya no puede galvanizarse en caliente y pintar es muy costoso

❖ **Vídeo explicativo** del sistema de montaje Anisopter
https://youtu.be/LbO78siE_xU

© López-Blanco, José Ramón. (2017). *Node elements, kits, and methods*. [EP3545144](#)

© López-Blanco, José Ramón (2022). *Methods for assembling a lattice structure*. [EP4402323](#)



Del apoyo completo a la verificación digital detallada del nodo

- Se seleccionó un módulo próximo a la cintura del apoyo, combinando tamaño manejable y **solicitaciones representativas** [6]

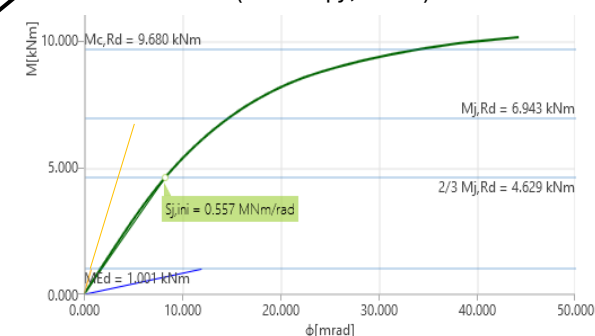


- Los tubos, pernos, soldaduras, pandeo, deformación local y rigidez pasaron las **verificaciones GNMA*** con criterios **EN 1993-1-8**

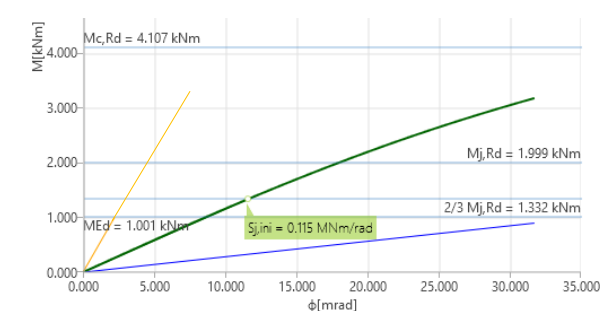
**Global Material Non-linear Analysis*

Analysis	✓	100.0%
Plates	✓	1.101 < 5.000%
Loc. deformation	✓	1.9 < 3%
Bolts	✓	95.3 < 100%
Welds	✓	82.6 < 100%
Buckling		7.27
GMNA		Calculated

Brazos Verticales (Mz vs. ϕ_y , M2z+)



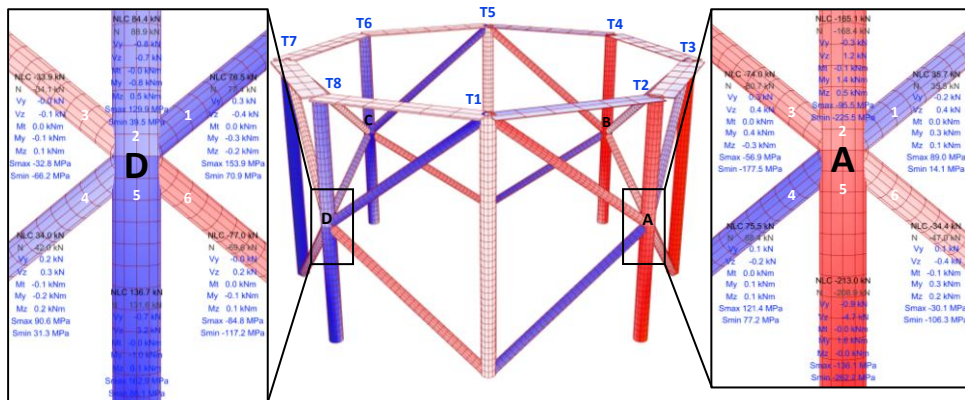
Brazos Diagonales (Mz vs. ϕ_y , M3z+)



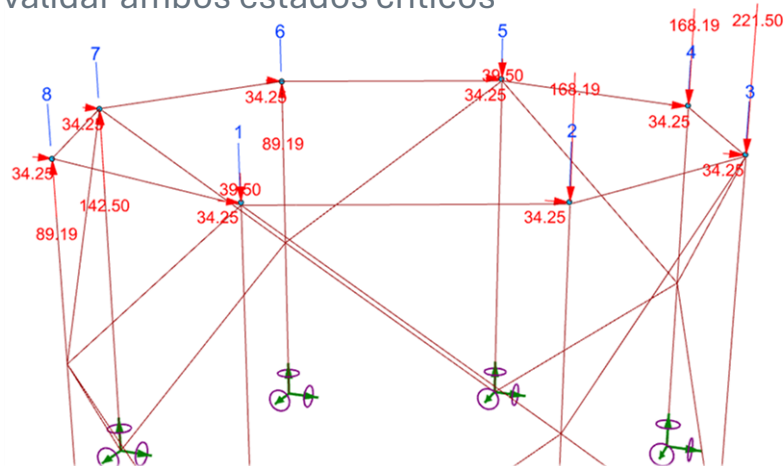
- Estos análisis permitieron **dimensionar** las chapas del nodo y **verificar** utilizaciones, deformaciones y rigideces antes del ensayo a escala real

Validación experimental del sistema de nodos a escala real

- ✓ El ensayo se optimizó para reproducir simultáneamente en los nodos centrales los estados gobernantes de **tracción** y **compresión** del apoyo completo [6]



- ✓ Un único **caso de carga optimizado** [kN] permitió validar ambos estados críticos



- ✓ Se superó la envolvente de diseño al 125 % de la carga y se alcanzó el fallo al 130 %

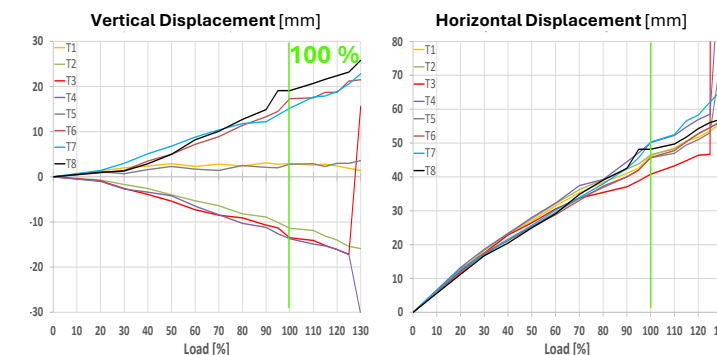


DESTRUCCIÓN

- ✓ Sistema de **aparejos** cuidadosamente configurado para reproducir las cargas del caso de carga optimizado
- ✓ Validación experimental reconocida con el premio al **mejor artículo** del B2-PS1 en la CIGRÉ Paris Session 2026 [6,7,8]



- ✓ Los **desplazamientos progresivos** de los nodos superiores (T1-T8) aumentaron con la carga



Del diseño optimizado a la validación industrial y su futura implantación e integración digital en la red

- ✓ El **siguiente hito** tras la optimización estructural y la validación experimental del sistema de nodos, es trasladar el concepto Anisopter a un **apoyo completo fabricado, montado y ensayado a escala real**
- ✓ Las primeras tareas de diseño ya están en marcha y el grueso el diseño, fabricación, pruebas de montaje y ensayos mecánicos reglamentarios están pensadas para desarrollarse **a lo largo de 2027**
- ✓ Una vez validado el apoyo completo, los siguientes pasos serán estudiar su implantación en una **línea piloto** y avanzar en la **integración digital** de los diseños Anisopter en los flujos habituales de ingeniería de Red Eléctrica

Referencias y enlaces

- [1] López-Blanco JR et al. (2024). [Nodes-based connection system for the cost-effective assembly of tubular lattice towers](#). CIGRE Session 2024, Ref. 10620.
- [2] López-Blanco JR, Rodríguez-Herrerías P, García-Barrios C (2022). [Affordable towers compaction using aerospace-borrowed lattices](#). CIGRE Session 2022, Ref. 10914.
- [3] López-Blanco JR, Rodríguez-Herrerías P, García-Barrios C (2024). [Anisopter OHTL tower](#). Registered Community Design, EUIPO.
- [4] López-Blanco JR (2017). [Node elements, kits, and methods](#). EP3545144.
- [5] López-Blanco JR (2022). [Methods for assembling a lattice structure](#). EP4402323.
- [6] López-Blanco JR, Rodríguez-Herrerías P, García-Barrios C (2026). [Mechanical testing of a new node-and-bolt-based assembly system using a full-scale tubular lattice tower module](#). CIGRE Paris Session 2026, Paper 11439.
- [7] López-Blanco JR (2026). [A very special recognition for Anisopter at CIGRE Paris Session 2026 – Best Paper B2-PS1](#). LinkedIn.
- [8] Skouboe H (2026). [CIGRE Paris 2026 – B2 Overhead Lines](#). LinkedIn.