

SOPORTE PARA NIDOS DE CIGÜEÑA



Torre de la Concatedral de la Redonda.

EN PARQUE DEL EBRO, LOGROÑO

JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ GARRIDO, INGENIERO DE MONTES, CONSEJERÍA DE TURISMO Y MEDIO AMBIENTE DE LA DIRECCIÓN GENERAL DEL MEDIO NATURAL DEL GOBIERNO DE LA RIOJA
MIGUEL ESTEBAN HERRERO, INGENIERO DE MONTES, A.I.T.I.M.
FRANCISCO ARRIAGA MARTITEGUI, DR. ARQUITECTO, PROFESOR TITULAR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, E.T.S.I. DE MONTES

SUMARIO

Este artículo describe el desarrollo del proyecto y ejecución de una obra singular en madera. Se trata de un soporte para una colonia de nueve nidos de cigüeña blanca en el entorno natural del Parque del Ebro, parque urbano en la ciudad de Logroño, buscando una solución innovadora al problema del deterioro del patrimonio arquitectónico que supone la presencia de grandes nidos en torres de iglesias y otros edificios, y aplicando un diseño y unos materiales adecuados para su adaptación al medio.

INTRODUCCIÓN

Entre las distintas actividades desarrolladas por AITIM en torno a las industrias de transformación de la madera ocupa un lugar importante la relacionada con el diseño y cálculo de estructuras de madera. A nivel de asesoría o de asistencia técnica, ha participado en numerosos proyectos de estructuras de madera, tanto de obra nueva como de rehabilitación, de obra civil como de edificación.

La experiencia acumulada durante años de dedicación, la labor docente de una parte del personal técnico que colabora con AITIM, tanto en la Universidad como en distintos centros formativos y colegios profesionales, así como la extensa línea de publicaciones, han hecho de AITIM un claro referente en el sector que sobrepasa el ámbito nacional.

Conviene recordar que, desde los orígenes, AITIM ha estado siempre acompañada de la profesión del Ingeniero de Montes, tanto por su relación con la Escuela Técnica

Superior de Ingenieros de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid, en particular a través de las unidades docentes de Cálculo de Estructuras y de Tecnología de la Madera, como con su relación con las industrias de primera y segunda transformación del producto forestal por excelencia: la madera.

En este contexto la consejería de Turismo y Medio Ambiente de la Dirección General del Medio Natural del Gobierno de la Rioja acomete la iniciativa y se pone en contacto con AITIM para solicitar su colaboración en un proyecto cuyo interés, a nuestro juicio, se basa en unificar el interés por la madera como material estructural preferente en las dotaciones y equipamientos ubicados en entornos naturales, incluso para la construcción de obras singulares, con la colaboración en un proyecto claramente sensibilizado con el medio ambiente y con la cultura como son la protección de la cigüeña blanca y del patrimonio arquitectónico en medios urbanos.

ANTECEDENTES

La población de cigüeñas

El aumento de la población de cigüeña blanca en ciertos núcleos de población de La Rioja (Santo Domingo, Nájera, Haro, Alfaro, Logroño) ha llevado a una saturación de nidos en ciertos edificios, principalmente iglesias, ocupando en muchas ocasiones posiciones conflictivas. Informes del Servicio de Recursos Naturales constatan el aumento del número de nidos en la Rioja desde finales de los años ochenta.

El número de parejas reproductoras de cigüeñas en la capital riojana va en aumento año tras año. Durante la década de los años ochenta esta cifra se mantuvo en torno a un par, siendo en 1989 cuando empieza a crecer hasta alcanzar alrededor de las cuarenta parejas actuales. El número de parejas reproductoras previsible para 2001 se situaba en torno a las 50. Actualmente la mayor concentración de nidos tiene lugar en la Concatedral de la Redonda, con 26 nidos, y en la torre de San Bartolomé con seis.

Las actuaciones previas

Conscientes de los problemas que los grandes nidos de cigüeña plantean a la conservación de algunos edificios, se elaboró una orden de subvenciones para el mantenimiento de nidos de cigüeña común. La ayuda consiste en un apoyo económico a los propietarios para soportar los gastos de limpieza de tejados y una simple compensación por los perjuicios anuales. Paralelamente, todos los años se realiza el plan de actuaciones mediante el cual se disminuye el riesgo de caída de nidos, se lleva a cabo el acondicionamiento de sus ubicaciones y se colocan estructuras disuasorias para evitar ubicaciones no deseadas.



El proyecto ejecutado

Los problemas de compatibilidad entre patrimonio histórico-artístico y patrimonio natural seguían aumentando. La orden de subvenciones se consideraba necesaria pero insuficiente.

La correcta gestión de los nidos de cigüeña en edificios lleva a la D.G. del Medio Natural a la firma de un convenio de colaboración, el 29 de marzo de 2000, entre el Gobierno de la Rioja y la Diócesis de Calahorra y la Calzada-Logroño para la conservación de los patrimonios cultural y natural de La Rioja en lo referente a la existencia de nidos de cigüeña blanca en los templos (Resolución 27-03-2000 publicada en el BOR del 11 de abril de 2000). Este convenio supone un giro en el tratamiento de la presencia de nidos en edificios histórico artísticos tanto en el aspecto cualitativo como cuantitativo. Se abre claramente el camino a la paulatina eliminación de nidos y su cambio de ubicación a otro tipo de estructuras hasta alcanzar una cifra razonable en los edificios, basado en el consenso entre los distintos intereses y la presencia histórica de estas zancudas en las Iglesias. Se buscarán nuevas localizaciones no problemáticas mediante la colocación de postes, soportes y estructuras para los nidos, que garanticen la seguridad pública y una estética en su ubicación.

Fruto de todo este trabajo es el «Plan de Manejo de la cigüeña blanca en La Rioja. Temporada 2000-2001»



Soportes aislados para nidos de cigüeña.

Sin embargo, todo este tipo de actuaciones siempre se ha considerado insuficiente, especialmente por parte de la Diócesis de Calahorra y la Calzada-Logroño, que soporta sobre sus edificios más del 90 % de la población de cigüeñas. Casos excepcionales son la Colegiata de San Miguel de Alfaro, con 100 nidos sobre sus tejados, y las torres de la Concatedral de la Redonda que ha llegado a mantener 36 nidos.

El origen de la «cigüeñera»

El carácter colonial de la cigüeña, contrario a la imagen tradicional de la cigüeña solitaria en el campanario de la iglesia, generó el convencimiento de que la solución a largo plazo pasaba por dar la posibilidad a las cigüeñas de elegir otra ubicación que no fueran las torres de La Redonda y que les permitiera reconstruir nuevamente una colonia.

El Ayuntamiento de Logroño durante los años 1995 y 1996 colocó en varios puntos de la ciudad seis postes de madera de 14 m de longitud y un poste metálico de más de 20 m, principalmente en el Parque del Ebro. Anteriormente, en el periodo 1993-94, dos parejas ya habían colonizado dos antiguas chimeneas (Eliás y Tejerías), que también se encuentran en el Parque del Ebro.

En Logroño se pueden diferenciar dos tipos de núcleos de cigüeñas: el que se encuentra en torres de iglesias y las ubicadas en el Parque del Ebro. Las primeras resultan más numerosas y coloniales, encontrándose a gran altura (las torres de la Redonda tienen 63 metros de altura). El Parque del Ebro, sin embargo, se encuentra en la cota más baja de Logroño, con abundante vegetación arbórea de más de 20 m.

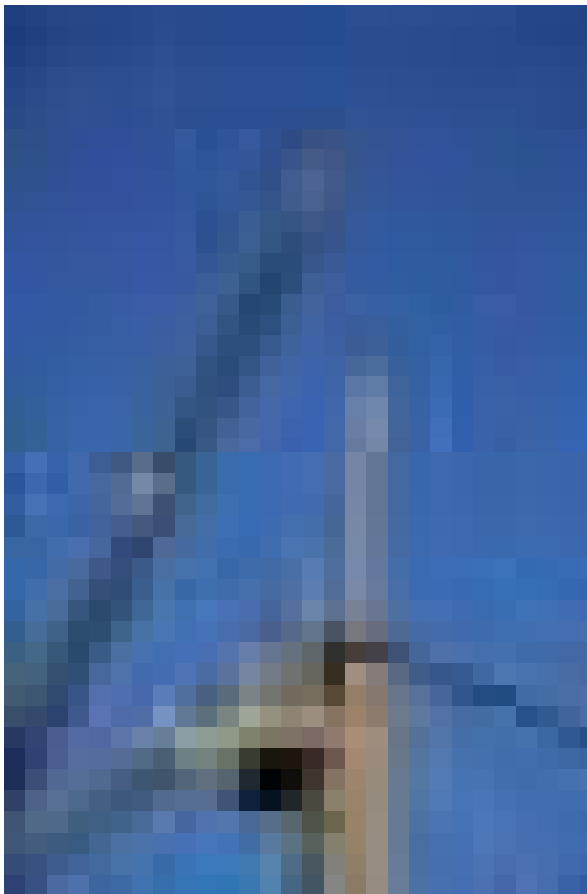
La Diócesis planteó al Ayuntamiento de Logroño en 1997 la construcción de una estructura para la ubicación de una colonia de cigüeñas en el Parque del Ebro, simulando los actuales edificios. Por entonces, de los siete nidos artificiales instalados ya habían sido colonizados dos de ellos. Observando estos resultados parecía oportuno seguir incidiendo y posibilitar la colonización de nuevos nidos artificiales en posiciones cercanas, aprovechando el reclamo que supone la existencia del nido actual en la chimenea del parque. La proximidad visual desde la gran colonia de las torres de la Redonda y su diseño en forma de colonia con varios nidos

artificiales instalados en un pequeño espacio y a varios niveles, podría invitar a su pronta colonización. Su ligereza, facilidad de montaje y desmontaje nos permitiría en caso de éxito ir desplazando la estructura hacia la parte inundable del parque y, en caso de fracaso, desmontarla completamente para su traslado a otro lugar.

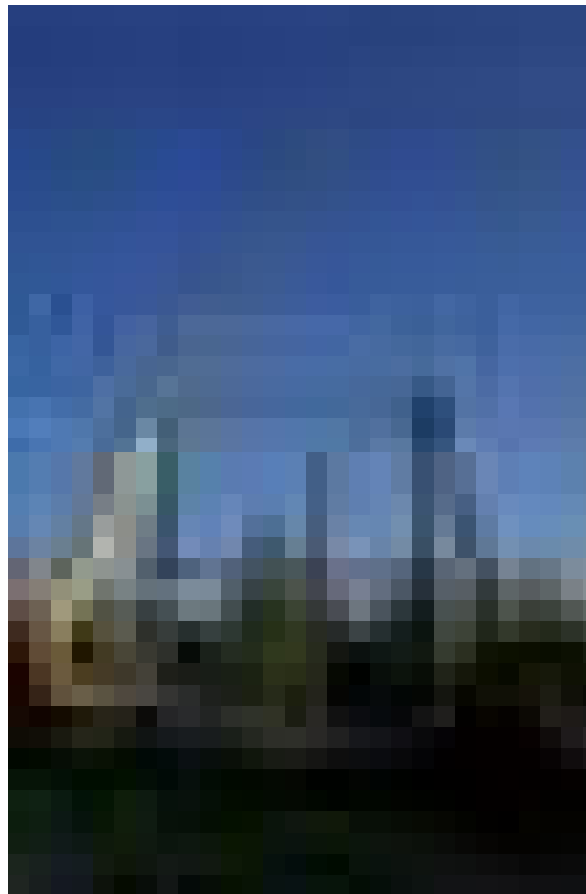
El diseño de 1997 se caracterizaba por una estructura de madera que, teniendo en cuenta el carácter recreativo del parque, se integrara fácilmente en el paisaje. Los materiales básicos eran postes de madera de pino silvestre de grandes dimensiones. La estructura consistiría en una especie de trípode con las patas verticales y paralelas. Cada pata estaría formada por dos tramos. El primero compuesto por tres postes unidos y el segundo por un solo poste. Ambos tramos estarían unidos por tornillería formando una columna y alcanzando en conjunto una longitud de unos 18 a 20 metros. Estas tres columnas estarían unidas por troncos transversales de unos 12 metros de longitud, colocados horizontalmente y arriostrados por medio de cables de acero. Las columnas descansarían sobre unas placas de acero de 20 mm de grosor con un agujero central por el que un cuarto poste fijaría la columna clavándola al suelo hasta una profundidad de dos metros. La estructura resultaría ser estable frente al vuelco por sí misma y al deslizamiento por estar literalmente clavada en el suelo. Finalmente se situarían nueve posiciones útiles para la ubicación de nidos, uno en lo alto de cada columna como posiciones maestras, y seis a la altura del primer cuerpo de las columnas.

Una idea fundamental era alcanzar los casi 20 metros de altura de la chimenea del parque del Ebro, ya que si una pareja había optado por esa ubicación, otras lo podrían hacer sobre cotas similares. Los 18 ó 20 metros resultan óptimos.

La idea original nunca se llegó a realizar, tal y como se ha descrito, ya que en el soporte que finalmente se construyó en el año 2000 se introducirían mejoras. La Diócesis propuso su ejecución y financiación tanto a Medio Ambiente como al Ayuntamiento de Logroño, en medio de un ambiente tenso por la urgencia en encontrar una solución. Tuvieron que pasar tres años y algunas casualidades de la vida para poder llevarse a cabo.



Montaje de los pilares principales.



Estructura sin los arriostramientos.

que fue aprobado en la reunión ordinaria de la comisión mixta del 8 de septiembre de 2000. Este documento presenta unos objetivos y técnicas a aplicar y enumera en dos grandes bloques las actuaciones aprobadas. Dentro del primer grupo «actuaciones para el aumento de lugares para la nidificación» se encuentra en una primera fase la construcción de una estructura de madera a base de postes en el Parque del Ebro de Logroño con capacidad para nueve nidos.

La estructura recibe nuevo impulso, pero su ubicación no tendrá que ser necesariamente junto a la chimenea, ya que una pareja había colonizado un poste en la zona inundable del parque, lugar que sería su ubicación definitiva. El problema de la altura se acrecienta al tener cerca chopos de 20 metros de altura y el Puente de Hierro, el cual se convierte en un perfecto mirador, cumpliendo otra de las aspiraciones del plan permitiendo un mayor disfrute de la población.

La estructura que aquí se propone intenta aprovechar el reclamo que supone la existencia del actual nido de cigüeña en el poste colonizado de la

zona inundable del parque del Ebro, cerca del cual se instalaría. La proximidad visual desde la gran colonia de las torres de La Redonda, su diseño para soporte de varios nidos a distintos niveles, la colocación de unas cigüeñas de plástico para reclamo y toda una serie de actuaciones orquestadas y selectivas para dificultar la nidificación en edificios de Logroño que ya presentaban demasiados nidos invitaban a la pronta colonización de la cigüeña.

Una vez obtenidos los permisos del Ayuntamiento y de la Confederación Hidrográfica del Ebro se busca la colaboración del gabinete técnico de AITIM para la justificación, cálculo, modificación si fuera necesario del proyecto original de la estructura y el diseño de las uniones y zapatas de cimentación.

Condicionantes

Tanto el uso de la estructura como la nueva ubicación presentan nuevos condicionantes y cambios sobre la idea original. Las columnas pasarían a descansar sobre tres zapatas de hormigón. Los cálculos se harían con el siguiente condicionado:

- La ubicación es un entorno

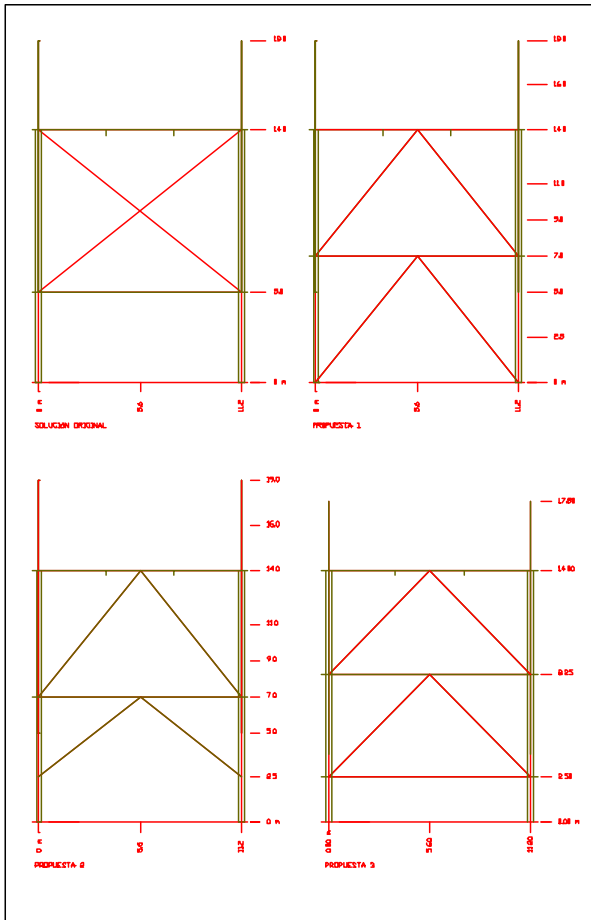
ajardinado y dentro del parque en un área de soto naturalizada. El diseño de la estructura a base de postes simula una colocación amontonada de troncos, como si una riada los hubiera arrastrado. Se han colocado de modo que un chopo queda de modo asimétrico dentro del triángulo que forma la base de la estructura. Con el tiempo el chopo puede llegar a crecer por encima de la propia estructura y con las oportunas podas supondrá una mayor integración y nuevos lugares de pose para las cigüeñas. Las condiciones del terreno son muy homogéneas. Se han utilizado datos del proyecto de la pasarela sobre el río Ebro, según el cual se trata de un recubrimiento aluvial cuaternario de cuatro metros de espesor bajo el que se encuentran las arcillas margosas del Oligoceno. El aluvial está formado por gravas gruesas rodadas envueltas en una matriz arenosa que contiene una pequeña proporción de limos y arcilla, en general inferior al 10 %.

- Los nidos de cigüeña aumentan de peso con los años de modo progresivo y prácticamente constante. Este aumento viene en función de la veteranía de la pareja de cigüeñas, la facilidad para encontrar materiales de



Montaje de la estructura

Idea original .



Evolución de los distintos modelos estudiados.

construcción, así como del número de pollos obtenidos por temporada que provocan más o menos residuos. Se sabe que en el pueblo de Anguciana (La Rioja) se descargó un nido de 950 kg de peso. Empíricamente se ha comprobado que los nidos vienen a aumentar unos 50 kg por año, por lo que para la estructura se han considerado unos pesos por nidos de 250 kg, con unas dimensiones de 120 cm de diámetro y 80 cm de altura, lo que se corresponde con un nido de unos 5 años de antigüedad.

- La ubicación corresponde al dominio público hidráulico, siendo objeto de inundaciones extraordinarias tal como ha ocurrido durante el invierno de 2000 en dos ocasiones. Para el estudio de caudales se acude nuevamente al proyecto de la pasarela sobre el Ebro. La lámina de agua se encuentra normalmente a 366 metros, estudiándose que para un periodo de recurrencia de 100 años alcanza los 370,6 metros y para los 500 años llega a 371 metros. La base de la estructura se encuentra ubicada a 367,5 metros.
- El uso de la zona de soto puede estar expuesta a cierto vandalismo que habrá que tener en cuenta para impedir el acceso de las personas a los nidos. Este delicado tema hizo que incluso se propusieran dos diseños diferentes: uno con los pilares exentos desde el suelo hasta una altura de dos metros y otra con los pilares arriostrados con diagonales desde el suelo. La seguridad de que la inclinación de las diagonales haría imposible el escalado, así como por razones de eficacia estructural y estética, hizo optar por la segunda opción.
- La altura inicial venía determinada por la altura de la chimenea donde originariamente iba a ubicarse, además de donde en el futuro iba a ser desplazada, que es donde finalmente ha sido ubicada. Aquí la altura del Puente de Hierro y los árboles circundantes marcan las cotas que van a permitir un cómodo vuelo para las cigüeñas. Se consideró adecuado los 18 metros aunque el diseño final ha alcanzado casi los 20.

MONTAJE

Se planteó la posibilidad de montar la estructura por medio de una única contrata o desglosarlo en varios contratos por materiales y obra. Dado el tipo de obra experimental, la forma en que había evolucionado la idea del proyecto y las dificultades para su ejecución, su ejecución se llevó a cabo desde el Gobierno de La Rioja, desglosada en partes y de acuerdo al tipo de empresa local de la zona, influenciados por una política de desarrollo rural llevada a cabo por esta Dirección General del Medio Natural.

Los postes se localizaron y fueron tratados en Peña (Huesca), después de una compleja búsqueda de las medidas adecuadas, transmitiendo al gabinete técnico de AITIM las medidas que se obtenían para así definir en el cálculo y en la acertada dimensión de los herrajes. Los postes procedieron del pirineo occidental, siendo de pino silvestre. Fueron tratados por medio de autoclave con productos hidrosolubles de sales, dando a la madera un tono verde suave.

Los herrajes fueron montados en Calahorra (La Rioja), siendo necesario su posterior reajuste, en este caso por personal del Servicio. Su montaje fue realizado por una empresa del Rasillo (La Rioja), especializada en carpintería estructural. El premontaje fue realizado en una espaciada plazoleta de La Fombera con el apoyo de los talleres, medios y personal del Gobierno de La Rioja. Allí se montaron las columnas principales y los rebajes necesarios para los anclajes de los herrajes. En período de estiaje se construyeron las zapatas. Finalmente con



cierta espectacularidad fueron trasladadas las columnas y postes complementarios hasta el parque del Ebro, donde por medio de grúas y con bastante habilidad por parte de los carpinteros fué completándose el montaje.

Bases para el proyecto

A continuación se describe desde un punto de vista estructural la ingeniería del proyecto de la solución finalmente adoptada.

Básico

El proyecto básico consiste en una estructura de unos 18 ó 19 metros de altura, toda ella construida con rollizos, capaz de albergar una colonia de varios nidos de cigüeñas, y que pueda ser integrada en un medio natural como es el Parque del Ebro.

La idea inicial plantea una solución en planta triangular de unos 12 metros de lado, con tres grandes patas o soportes verticales principales de entre 18 y 19 metros de altura, estabilizadas entre sí con diferentes elementos de arriostramiento. En lo alto de las patas principales se ubican los tres nidos dominantes de la colonia, mientras que el resto de los nidos se pueden alojar sobre los elementos horizontales de arriostramiento.

La cimentación se resuelve mediante zapatas de hormigón y las uniones de los diferentes elementos de madera mediante pernos y herrajes especialmente diseñados.

Normativa de cálculo

El cálculo de la estructura de madera y de las uniones se realiza mediante la aplicación de la norma experimental UNE ENV-1995-1-1 Eurocódigo 5 «Proyecto de estructuras de madera. Reglas generales y reglas para la edificación».

Materiales

La necesidad de integración con el medio natural es el mayor de los argumentos para elegir madera como material estructural principal. La integración con el medio, entre otras cosas, impide la utilización de otros materiales como la madera laminada, el acero o el hormigón.

Por todo ello se plantea la construcción de cada soporte vertical mediante la composición de rollizos descortezados de madera de pino, agrupando tres rollizos en su tramo



Colocación del último tramo de arriostramiento.

inferior hasta 14 metros de altura y dispuestos con el diámetro mayor en la base. En el centro de estas tres piezas, partiendo de una altura de seis metros, se aloja un cuarto rollizo de 12 metros de longitud en posición invertida, con el diámetro mayor en la parte más alta. De esta forma se obtiene un elemento compuesto de 18 metros de altura, los doce primeros metros compuestos por tres piezas de sección circular, con mayor sección en la parte baja, y los seis metros restantes formados por el cuarto rollizo invertido, quedando solapados en el tramo central. La conicidad de los rollizos permite ajustar estos elementos de forma bastante eficaz para constituir los soportes suficientemente altos y con suficiente sección resistente.

Los elementos de arriostramiento consisten en rollizos de menores dimensiones para formar los montantes o travesaños horizontales y las diagonales.

Las uniones se resuelven mediante herrajes fabricados en acero y pernos.

Acciones

Las principales acciones a las que se verá sometida la estructura son las cargas verticales del peso propio, de los nidos de las cigüeñas y de la nieve. Además se tiene en cuenta el viento y el empuje del agua, ya que la ubicación cercana al cauce del Ebro permite suponer eventuales avenidas e inundaciones.

En cuanto al peso propio, partiendo de los datos disponibles sobre la densidad media de la madera en rollo



Cigüeñera construida.

y según es costumbre en construcción con madera de coníferas se adopta un valor medio de 600 kg/m³.

El peso de los nidos se estima de manera que la estructura pueda resultar válida para nidos de hasta 5 años de antigüedad, a razón de un crecimiento de los nidos de 50 kp por año. Con ello, la carga considerada como peso de cada uno de los nidos es de 250 kp, aplicados en los extremos superiores de los soportes verticales (3 nidos) y en los travesaños horizontales superiores (6 nidos: 2 nidos en cada travesaño). Esta determinación de las cargas implica una labor de mantenimiento en los nidos para evitar la acumulación de nidos excesivamente grandes. La duración considerada para las cargas de los nidos es larga.

Otras cargas verticales son las derivadas de la nieve, a razón de 80 kg/m² y de corta duración.

En cuanto a las acciones horizontales debidas al viento se estimó la presión dinámica conforme a la Norma Básica de Edificación NBE AE 88 y Norma Tecnológica correspondiente, aplicada sobre una superficie expuesta que tiene en cuenta la sección circular de los rollizos y los diferentes diámetros a sus diferentes alturas. Así mismo, la acción de viento tiene en cuenta la superficie expuesta por los nidos, cuyas dimensiones al cabo de cinco años pueden alcanzar diámetros de 1,20 metros y alturas de 80 cm. La comprobación de la estructura sometida al viento se ha realizado considerando tres situaciones de carga posibles.

La posibilidad de inundación de la



zona en la que se establece el nido no tiene repercusión sensible en la estructura, por tratarse de una zona inundable en la que las aguas discurren prácticamente en remanso. El efecto posible de la inundación tiene lugar en la cimentación, donde se producen fenómenos de subpresión. Los datos de las avenidas máximas y periodos de recurrencia han sido tomados del proyecto de una pasarela cercana sobre el río Ebro.

Propiedades resistentes de la madera

El caso de la madera de rollizo no se encuentra recogido en las normas europeas para determinar los valores de resistencia y elasticidad. Por ello se recurre a los estudios publicados por Technical Research Centre of Finland (VTT) en el año 1999 en «Round small-diameter timber for construction», a partir de los cuales se han estimado los valores característicos de resistencia a flexión (entre 30 y 43 N/mm²), a compresión paralela a la fibra (entre 18,7 y 25,1 N/mm²) y densidad (entre 384 y 450 kg/m³). A efectos de cálculo, los valores adoptados son los siguientes:

- resistencia característica a flexión $f_{m,k} = 30 \text{ N/mm}^2$
- resistencia característica a compresión $f_{c,0k} = 20 \text{ N/mm}^2$
- densidad característica $D_k = 340 \text{ kg/m}^3$

Diseño estructural

El diseño de la estructura pasa por varias fases y estudios en función de las exigencias de diferente índole que plantea una construcción de este tipo y de las posibilidades reales de ejecución. Las constantes en todos los diseños estudiados son las dimensiones de la construcción, especialmente la altura igual o superior a 18 metros, la disposición en planta triangular y los pilares triples. Las diferencias a que dan lugar los diversos diseños tienen que ver sobre todo con las necesidades de arriostramiento y estabilización de la estructura y con el sistema de fijación de los pilares a la cimentación.

Una exigencia para este tipo de construcciones es que no debe ser accesible a las personas para prevenir vandalismo o furtivismo. Por esa razón, el primero de los diseños dispone un arriostramiento triangular mediante cables de acero cruzados que ocupan, más o menos, el tercio central de los pilares. De esta forma los pilares parten exentos del suelo hasta una altura de unos cinco metros para evitar que puedan ser escalados. En este modelo la esbeltez de los pilares resulta demasiado alta como para garantizar la estabilidad frente al

pandeo, por lo que sería necesario que la unión de la base de los pilares fuera un empotramiento en la cimentación. El diseño de este tipo de empotramientos resulta complejo y, más aún, su correcta ejecución. Con este diseño, los travesaños horizontales superiores podrían soportar nidos de bajo peso, puesto que funcionarían como una viga biapoyada de unos 12 m de longitud.

Un segundo diseño analizado consiste en disponer los arriostramientos en la misma zona central de los pilares, pero en forma de K y en dos tramos sucesivos, manteniendo exento el tramo inferior. Las diagonales estarían formadas por rollizos de madera que parten del punto medio del travesaño horizontal superior y bajarían hasta el encuentro del travesaño horizontal inferior con los pilares. De esta forma se reducen sensiblemente la longitud de pandeo de los pilares y la esbeltez, aunque sigue siendo necesario el empotramiento de los pilares en la base. Al mismo tiempo, se proporciona un punto de apoyo que reduce la luz del travesaño superior a la mitad, por lo que podría soportar nidos de mayor tamaño. La mayor complejidad surge de la necesidad de herrajes especiales y de gran tamaño para garantizar el empotramiento de la base de los pilares, por lo que, una vez concluido el estudio, se propone la búsqueda de nuevas soluciones.

El tercer y definitivo diseño surge de la optimización del comportamiento estructural del conjunto mediante la disposición de los mismos arriostramientos en K desde la base de los pilares cimentación. De esta forma la estabilidad del conjunto se ve muy mejorada y la pendiente de las diagonales es suficiente para impedir un fácil acceso a la parte alta de la estructura. El sistema de unión de los pilares a las zapatas de cimentación se reduce a sistema articulado que recoge las bases de los tres rollizos que forman el pilar, y a un anclaje capaz de resistir el tirón que puede producirse en caso de vuelco por acción de las fuerzas horizontales.

En todos los casos, la condición más limitante del cálculo es la penalización por pandeo de los pilares, por lo que el tramo en voladizo superior no puede exceder de 6 metros y el arriostramiento de los pilares debe hacerse en dos tramos de 6 metros cada uno. Al mismo tiempo se prevén una serie de uniones o conectores entre los rollizos que conforman cada pilar, consistentes en pernos que los atraviesan de dos en dos.

Modelo de cálculo

El modelo de cálculo se basa en la discretización de los pilares compuestos en tramos sucesivos, para cada uno de los cuales se determina la sección resistente y sus propiedades geométricas (área, módulos de inercia, módulos resistentes y radio de giro mínimo). Las dimensiones de los rollizos empleados vienen dadas por las existencias en el mercado, por lo que no se trata de dimensionar las piezas sino de comprobar las existentes y ajustar otros parámetros para optimizar el comportamiento estructural (diseño, altura máxima, disposición de los arriostramientos, etc.)

El cálculo de la estructura se realiza mediante la determinación de esfuerzos en las barras utilizando un programa informático tridimensional de cálculo matricial. Con los esfuerzos determinados se obtienen los niveles de agotamiento máximos de cada sección, teniendo en cuenta las comprobaciones según las distintas sollicitaciones y combinaciones de hipótesis. Como matiz importante conviene hacer notar que una de las mayores limitaciones viene dada por el pandeo de los pilares bajo la acción de las cargas permanentes, el peso de los nidos y la acción horizontal del viento que tiende a volcar la estructura. Los mayores esfuerzos que tienden a volcar la estructura tienen lugar cuando el viento azota perpendicularmente una de las caras del triángulo, traccionando esos dos pilares y comprimiendo el pilar opuesto.

Otro de los aspectos de cálculo más limitantes tienen que ver con la comprobación de las uniones, ya que es frecuente encontrar puntos de concentración de esfuerzos que se traducen en tensiones locales altas, en ocasiones perpendiculares a la fibra de la madera.

Las limitaciones establecidas para las deformaciones no son demasiado exigentes teniendo en cuenta el uso de la estructura, aunque se consigue reducir la oscilación en punta de los pilares a valores inferiores a $l/300$, para que no interfiera en la nidificación de las cigüeñas.

El cálculo de la cimentación tiene en cuenta la presión sobre el terreno, el deslizamiento y el levantamiento por vuelco de la estructura, incluyendo la posible subpresión por efecto de una eventual inundación. En el modelo finalmente construido la unión de los pilares a la cimentación está concebida como una articulación.

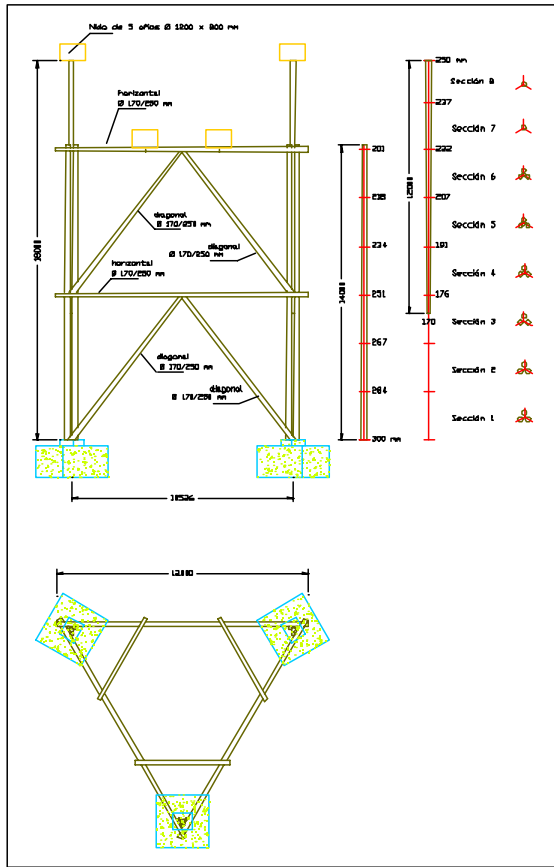


Figura 9. Modelo de la solución finalmente adoptada.

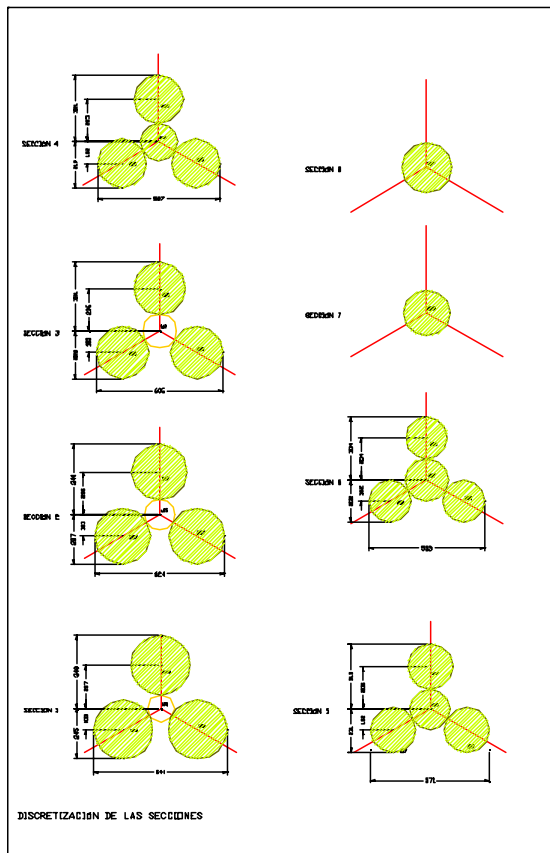


Figura 10. Discretización de los pilares compuestos.

Resultados de cálculo

Los índices que se muestran a continuación expresan el nivel de agotamiento de los principales elementos estructurales en la situación de carga más desfavorable. Este índice se expresa en tanto por uno sobre la unidad, de manera que un valor de 0,57 indica que esa pieza se encuentra a un 57 por ciento de su capacidad. Un índice superior a la unidad indicaría que se han sobrepasado los límites de agotamiento prescritos por la norma de cálculo. Junto al índice se indica el concepto de la sollicitación más desfavorable. Los índices resultantes son los siguientes:

- pilares compuestos (tramo inferior): 0,31 por flexocompresión
- pilares en voladizo (tramo superior): 0,50 por flexocompresión
- diagonales inferiores de arriostamiento: 0,94 por flexocompresión
- diagonales superiores de arriostamiento: 0,73 por flexocompresión
- travesaños inferiores horizontales: 0,79 por flexotracción
- travesaños superiores horizontales: 0,72 por flexotracción

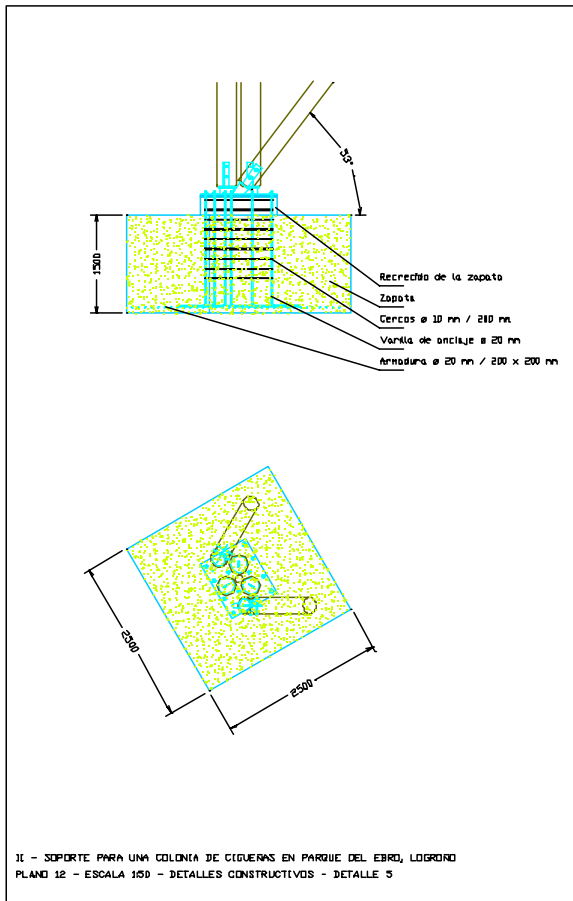
El desplazamiento máximo que se obtiene en el extremo de los pilares es inferior a 30 mm, medidos en dirección horizontal, lo cual equivale a un desplazamiento bastante inferior a la limitación establecida de un trescientosavo de la altura total.

Del análisis de estos resultados, contrastados con otros tanteos de cálculo realizados con diferentes configuraciones de la estructura, se deduce que la parte de la estructura más solicitada son los elementos de arriostamiento (índice de 0,94). Estos elementos son los responsables de garantizar la estabilidad de los pilares reduciendo sus posibilidades de pandeo y evitando el vuelco de la estructura frente a la acción del viento. Como consecuencia se obtienen índices relativamente bajos en los pilares, aunque una ligera modificación en la altura de la estructura y en la disposición de las diagonales, así como en la distribución de las cargas, da lugar a aumentos significativos de los niveles de tensión. Como consecuencia se puede decir que la configuración final optimiza el comportamiento estructural de todos los elementos con las dimensiones disponibles.

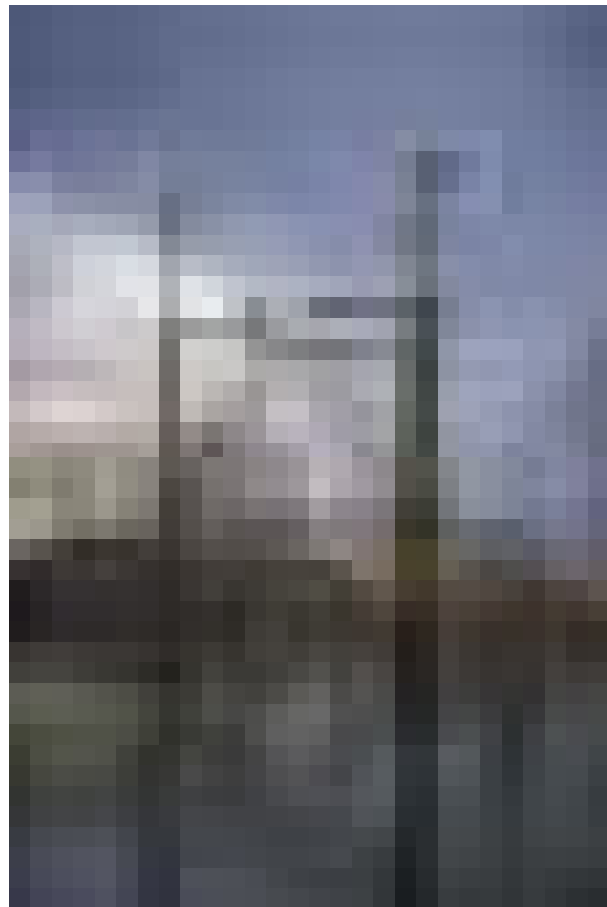
En cuanto a las uniones entre piezas de madera, elementos que suelen ser limitantes en el diseño de los detalles constructivos, se utilizan distintos sistemas de herrajes a base de pletinas de acero de 12 mm de espesor con pernos de 20 mm de diámetro (M20). El acero tendrá una resistencia característica a tracción de 400 N/mm² o superior. Todos los pernos dispondrán de las correspondientes arandelas, las cuales no serán de un diámetro inferior a 60 mm ni un espesor menor de 6 mm.

La unión de las piezas de madera a la cimentación se resuelve mediante una placa de anclaje de 20 mm de espesor con tornillos para nivelar y unos casquillos que recogen la base de las piezas de madera y pernos M20.

La cimentación consiste en zapatas de hormigón aisladas, de dimensiones 250 x 250 x 150 cm. Estas zapatas han sido calculadas como rígidas de hormigón en masa, aunque se recomienda disponer una armadura de redondos de 20 mm de diámetro y marco de 200 x 200 mm, de acero B400S. Bajo la zapata se coloca una capa de hormigón de limpieza de 10 cm de espesor. El recubrimiento mínimo de las armaduras será de 70 mm hasta la capa de limpieza y de 100 mm a los paramentos verticales. Este diseño y estas dimensiones tienen en cuenta la posibilidad de inundación de la zona, que podría alcanzar unos 3 metros por encima de la superficie del terreno. La solución de encepillar las zapatas mediante vigas riostras de hormigón, más eficaz frente a deslizamiento, vuelco y levantamiento, no compensa en términos de ahorro de hormigón, por lo que se optó por las zapatas aisladas.



Detalle del anclaje de los pilares a la cimentación



Estructura terminada durante una inundación del río Ebro.

Protección y durabilidad

La madera colocada se encuentra a la intemperie, en posible contacto con el suelo, aunque los detalles constructivos tratan de evitarlo, y en eventuales situaciones de inundación. A esta situación le corresponde una clase de riesgo 4, según la norma UNE EN 335-3 «Durabilidad de la madera y materiales derivados. Clases de Riesgo para la madera maciza».

Para proteger la madera expuesta debe ser tratada en autoclave para la aplicación en profundidad de un producto protector con propiedades fungicidas e insecticidas de eficacia suficientemente contrastada. Se recomienda la aplicación de sales hidrosolubles del tipo CCA. Con este grado de protección, la bibliografía especializada consultada permite suponer una durabilidad del orden de los 25 años.

La protección mínima de los herrajes (pletinas, perfiles y pernos) consiste en un tratamiento Fe/Zn 25c o, preferiblemente, un galvanizado en caliente.



Detalle de uniones: Base de cimentación y nudo intermedio.

Resultados

Actualmente la estructura se encuentra colonizada en siete de sus nueve nidos y después de la época de cría han emigrado. El éxito del resultado inicial sienta las bases de un manejo de la población de cigüeñas más decidido y eficaz que puede servir de modelo para otras poblaciones.

La estructura de madera a base de postes demuestra las posibilidades de utilización de una de las formas más naturales de usar un tronco de madera, revalorizando su uso frente al hormigón o el metal dado su carácter integrador en medios naturales.

