

La restitución de la noria de sangre medieval del castillo de Niebla (Huelva)

The restitution of the medieval animal-powered waterwheels in the castle of Niebla (Huelva)

Candela Bandrés Mariscal 

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación, Universidad de Sevilla, España.

Autor de contacto: mbandres@us.es

RESUMEN

El castillo de Niebla es uno de los conjuntos fortificados mejor conservados de Andalucía. Se estima que la actual planta es del siglo XV. Durante los trabajos de restauración de la barbacana se encontraron restos de una huerta, un pozo y su alberca. Debido a que el pozo está adherido a la barbacana, la noria tuvo unas características muy singulares ya que el animal no podía dar vueltas alrededor de él. El objetivo del artículo es definir las soluciones constructivas para el restablecimiento del mecanismo hidráulico de la antigua noria en madera mostrando su configuración. La metodología seguida se fundamenta en una investigación histórica, la toma de datos in situ de otras norias y en un estudio de su diseño basado en un invento realizado en el siglo XIII. Los resultados confirman el funcionamiento de un tipo de noria menos convencional y más exigente desde el punto de vista constructivo.

Palabras clave: noria; restitución en madera; ingeniería hidráulica; castillo; Niebla.

ABSTRACT

The castle of Niebla is one of the best preserved fortified complexes in Andalusia. The present plan is estimated to date from the 15th century. During the restoration work on the barbican, the remains of a vegetable garden, a well and its pool were found. Due to the fact that the well is attached to the barbican, the wheel had very unique characteristics as the animal could not turn around it. The aim of the article is to define the constructive solutions for the restoration of the hydraulic mechanism of the old wooden wheel by showing its configuration. The methodology followed is based on historical research, the collection of data in situ from other waterwheels and a study of their design based on an invention made in the 13th century. The results confirm the operation of a less conventional and more demanding type of wheel from the construction point of view.

Keywords: animal-powered waterwheels; wooden restitution; hydraulic engineering; castle; Niebla

Cómo citar este artículo/Citation: Candela Bandrés Mariscal (2025). La restitución de la noria de sangre medieval del castillo de Niebla (Huelva). Informes de la Construcción, 77 (577): 6944. <https://doi.org/10.3989/ic.6944>

Copyright: © 2025 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Recibido/Received: 27/03/2024
Aceptado/Accepted: 24/01/2025
Publicado on-line/Published on-line: 25/03/2025

1. INTRODUCCIÓN

El castillo de Niebla, conocido como el castillo de los Guzmanes, se encuentra a 30 kilómetros de Huelva y a aproximadamente 250 metros en línea recta del río Tinto. El castillo de origen romano estuvo también ocupado por los visigodos y los hispanomusulmanes. En el año 1262, el rey Alfonso X asedió y tomó la villa de Niebla. Desde entonces, la ciudad fue pasando de mano en mano, lo que provocó en el castillo un sinfín de hechos históricos. Primero, por las de la reina consorte Doña Beatriz de Castilla, después por las de Pedro I, y más tarde, por la familia de los Guzmanes. Se considera que la planta actual es del siglo XV (1) y fue erigido sobre la primitiva alcazaba islámica por Enrique de Guzmán, Duque de Medina Sidonia y Conde de Niebla. La fortaleza actualmente mantiene una planta rectangular dividida en dos grandes patios protegidos por un doble recinto amurallado de barbacana y torres defensivas (Figura 1). En el flanco occidental se ubicaba el Patio de Caballería, lugar donde se encontraban las estancias del servicio. Junto a él, una plaza más grande destinada a usos señoriales y habitacionales denominado el Patio de Armas. Ambos patios estaban separados antiguamente por un foso y un puente levadizo.

En el flanco sudeste del castillo, en el espacio existente entre la muralla defensiva y la barbacana, existió una huerta de naranjos, una alberca adosada a la muralla interior (próxima a la torre n.º 2) y, prácticamente frente a ella a 11,50 metros de distancia, un pozo adherido a la barbacana exterior (Figura 2) (2).



Figura 1. El castillo de Niebla (Huelva).

Obsérvese el espacio existente entre las torres defensivas y la barbacana.
Fuente: <http://www.diphuelva.es/fortours/contenidos/Castillo-de-Niebla/>

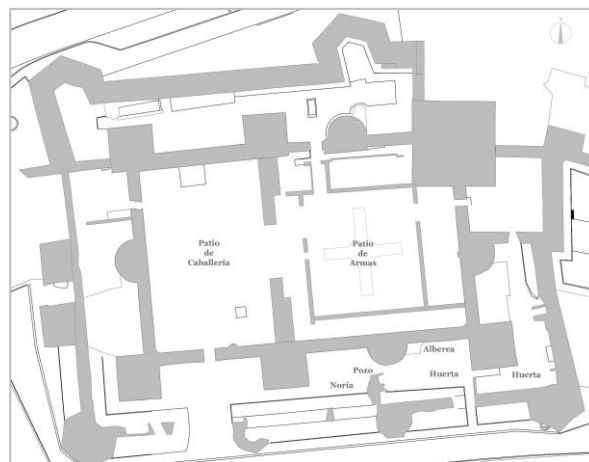


Figura 2. Plano de situación.

Obsérvese ubicación de la alberca, pozo y noria

La alberca se encuentra sobreelevada del suelo 1,35 metros. De los restos existentes sólo permanece la cimentación, un pequeño fragmento del muro lateral nordeste y dos canalizaciones cerámicas. Las conducciones se encuentran embutidas en la losa de cimentación, una en el lateral nordeste y otra en el sur (Figura 3).

Por documentos históricos se conoce que sobre el pozo existió una noria. Se estima que su construcción fue en el primer tercio del siglo XVI (3). Esta noria vertía el agua a una pequeña pileta o artesa. La base de la pileta se encuentra a aproximadamente 2,50 metros sobre el suelo (3,25 metros desde su borde superior). Desde este elemento, el agua era trasladada a la alberca posiblemente a través de un sifón ya que, de los restos existentes, se observa que en la pileta existen dos canalizaciones cerámicas que se dirigen hacia el suelo. Al encontrarse el pozo sobre la barbacana, resultaba imposible que en el castillo existiera una noria tradicional de sangre donde el animal diera vueltas alrededor de su brocal (Figura 4). El tipo de noria que debió existir en el castillo debía corresponderse a un ejemplo poco común en la España de la Época Moderna.



Figura 3. Restos de la cimentación de la antigua alberca



Figura 4. Imagen del pozo adosado a la barbacana.
El pozo está protegido actualmente por una rejilla tramex galvanizada

2. ASPECTOS GENERALES DE LA ACTUACIÓN

2.1. Agentes intervinientes

La promotora de este proyecto de restauración fue la Consejería de Cultura y Patrimonio Histórico. Delegación Territorial de Turismo, Cultura y Deporte de Huelva. El principal impulsor fue D. Juan José Fondevilla Aparicio, jefe del departamento de Conservación del Patrimonio Histórico de la Delegación Territorial de Huelva. El objeto del contrato era la definición de las soluciones constructivas necesarias para el restablecimiento del mecanismo hidráulico de la antigua noria mostrando su configuración y funcionamiento.

La proyectista fue Candela Bandrés y el director de Obras, Juan José Delgado. El contratista principal de la obra fue la empresa Estuco y decoración Marvel S.L. y la carpintería Arahal Carpintería S.L. El presupuesto de licitación de obra (con IVA) fue de 80.834,59 € y el presupuesto de adjudicación 79.860,00 € (con IVA).

Este proyecto se apoyó en los estudios elaborados durante los trabajos de restauración de la barbacana ejecutado entre los años 2019 y 2020. En esta actuación se excavó y se recuperó el pozo, y los arqueólogos D. Miguel Ángel Tabales Rodríguez y D. Alejandro Jiménez Hernández redactaron un informe relativo a la existencia de una antigua noria en el castillo. Los datos aportados han permitido inferir la traza y configuración de la noria. Las dimensiones se ajustan a las huellas que los soportes de sustentación de la misma han dejado en el muro emplazado junto al pozo que se adosa a los lienzos de la referida barbacana.

2.2. Estado inicial de las instalaciones existentes

En los trabajos de restitución de la barbacana se retiró la losa de hormigón que cubría el brocal del pozo. Según el estudio arqueológico, el pozo posee una estructura rectangular de 4 x 2 metros (4). Su anchura se reduce a partir de los 0,94 m de profundidad por la construcción de dos arcos de medio punto dispuestos en los lados mayores del pozo. El pozo mantiene una estructura labrada hasta los 8,30 metros de profundidad y a partir de entonces continúa en roca firme (Figura 5). Sobre los arcos de medio punto se construye el brocal del pozo. La parte trasera del brocal está sobreelevada 3,40 metros sobre la rasante. La elevación hasta esta altura se debe a la necesidad de elevar la altura de vertido del agua para poder regar por gravedad. En la esquina noreste, el brocal tiene un ensanchamiento para crear una plataforma de trabajo rectangular de 3,90 m x 2,80 m, en la que aparece labrada la pileta que recogía el agua para conducirla a la alberca o reservorio. A esta plataforma se accedía mediante una escalera adosada a la pared norte de la que han quedado huellas en el enlucido (Figura 6).

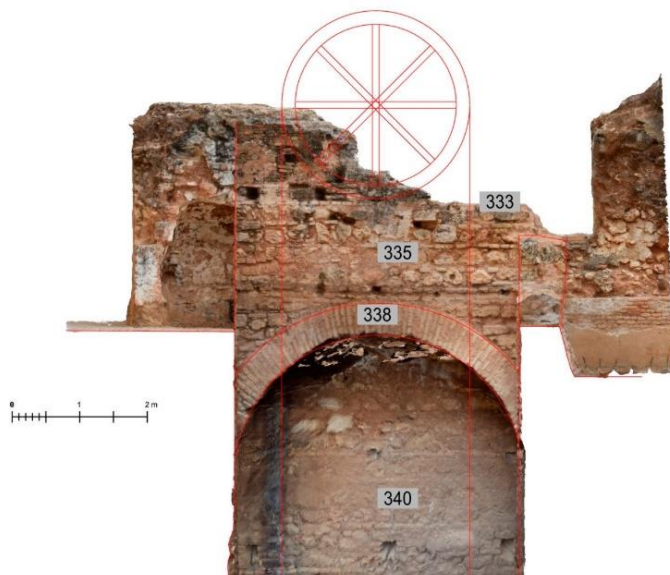


Figura 5. Interior del pozo.

Fuente: Informe de restitución de la noria elaborado por A. Jiménez (4)



Figura 6. Huellas de la escalera en el paramento norte de la plataforma de la noria. Fuente: Informe de restitución de la noria elaborado por A. Jiménez (4)

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El sistema de explotación de acuíferos más empleado en el siglo XVI y que ha perdurado a lo largo de los siglos en España ha estado compuesto básicamente por: una estructura de captación de agua (el pozo), un procedimiento de elevación (la noria), un método de acumulación de las aguas (la alberca) y una ordenación a base de retículas conformadas por acequias abiertas o atadores cerrados para su distribución.

Para el sistema de extracción y elevación del agua, el método más común para obtener económica y fácilmente una corriente continua de agua eran las norias de sangre. La noria proviene del vocablo árabe *na'ura* (o nazura, saqiya, na'ura, dawlab, as-saniya). Se piensa que recibía ese nombre por el ruido que hacía al estar en movimiento (5). Este dispositivo hidráulico

elevaba el agua de un pozo gracias a la fuerza de un animal (normalmente mulo o asno) que caminaba dando vueltas alrededor. La palanca (mayal), donde iba atado el animal, trasladaba la rotación a un pilar giratorio que hacía mover una rueda horizontal (rueda de aire). Esta rueda engranaba con una rueda vertical (rueda de agua) que lograba elevar el agua mediante cangilones o arcaduces. Al igual que en el sistema de engranaje de las aceñas o molinos harineros, la rueda vertical engrana mediante los husillos o dientes con la rueda horizontal (6). Estos cangilones vertían el agua sobre una artesa o una pequeña pileta en altura desde donde se trasladaba por gravedad a una alberca o depósito de acumulación de agua (Figura 7).

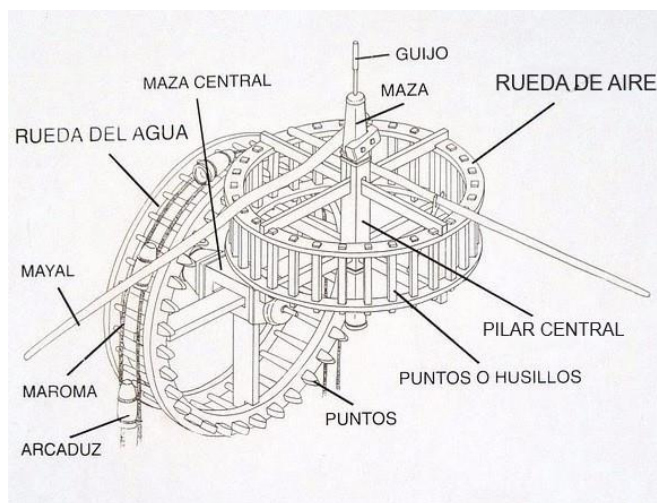


Figura 7. Esquema de noria tradicional de sangre restaurada en Rodalquilar (Almería). Fuente: Junta de Andalucía

La construcción de este tipo de maquinaria hidráulica de madera tenía la ventaja de que era un mecanismo muy sencillo y económico. Sin embargo, necesitaba un mantenimiento permanente porque eran norias muy toscas, y el esfuerzo constante por rozamiento provocaba el continuo desgaste de los engranajes. Además, otro inconveniente era que sólo se podía elevar el agua hasta una determinada altura, dependiendo de la cota en que se encontrara el andén donde se posicionaba el animal y la dimensión de la rueda de agua.

Debido a que, en el castillo de Niebla, el pozo estaba adosado a la barbacana, esta configuración impedía que el animal diera vueltas completas alrededor de él, por lo que se dedujo que el sistema de elevación de agua del pozo no podía ser mediante una noria tradicional de sangre. Desde un primer momento se optó por un tipo de noria menos convencional, más exigente desde el punto de vista constructivo, pero más conveniente a la hora de elevar aguas desde pozos de gran profundidad. A este tipo de noria se le denominaba en el siglo XIX como la noria *movidas por lo alto*. Esta noria posee un mecanismo y un engranaje completamente diferente al sistema tradicional. Mantiene la rueda de agua sobre el pozo para elevar el agua con los cangilones pero no conserva la rueda de aire horizontal engranada sobre la vertical. En este caso, para que el animal pueda dar vueltas y mover la estructura, surge un nuevo elemento denominado rueda de puntería. Esta rueda se posiciona paralela a la rueda de agua. Ambas ruedas (la de puntería y la de agua) son fijadas al árbol grande (viga principal), pero es la rueda de puntería la que sirve de engranaje con la tradicional rueda de aire, y no la de agua como se realizaba comúnmente. La rueda de aire posee su propio soporte en el árbol chico (pilar). La viga principal tiene una longitud tal que el animal pueda girar entre el pozo y el árbol chico. Cuando el animal da vueltas por el andén, logra que el árbol chico gire y desplace la rueda de aire. Los dientes de la rueda de aire engranan con los de la rueda de la puntería y hacen que rote la rueda de agua fijada al árbol grande. En la maroma (cuerda) se atan los arcaduces. Estos elementos, generalmente de barro, elevan el agua del pozo y al inclinarse vierten su contenido en la artesa para enviar, mediante una acequia o sifón, el agua por gravedad a un sistema de acumulación de agua de mayor capacidad.

4. CONSIDERACIONES HISTÓRICAS

Los primeros testigos documentales que se han encontrado sobre este modelo de ingeniería hidráulica se remontan al siglo XIII, si bien no se puede asegurar que anteriormente no existiera un prototipo de similares características. Al_Jazari, investigador, astrónomo e ingeniero turco (actualmente norte de Irak) es conocido por *El libro del conocimiento de dispositivos mecánicos ingeniosos* publicado en el año 1206. Entre los mecanismos cuyo uso testimonia se encontraba un artefacto muy peculiar denominado *elevador de aguas nº 3*. Supuso un diseño innovador de la antigua *saqiya* (noria de agua) donde el animal se ubicaba bajo el sistema de empuje de la noria y no sobre ella como se había realizado hasta el momento. Como complemento, desarrolló un novedoso sistema de impulsión ayudado por el flujo de una corriente constante de agua (7). Este nuevo diseño tenía la ventaja de que se podía adaptar fácilmente a diferentes niveles, simplemente cambiando la altura del pilar y la longitud de la maroma (Figura 8).

A lo largo de los siglos, este tipo de noria continuó presentándose y analizándose en distintos tratados hidráulicos. En el siglo XVI, aparece en el libro atribuido erróneamente a Juanelo Turriano (1500-1585) ingeniero y relojero milanés de Carlos V, que fue conocido por diseñar la

máquina hidráulica para elevar el agua desde el río Tajo al Alcázar de Toledo. Entre muchos de los artilugios hidráulicos mostrados en *Los veinte y un libros de los Yngenios, y maquinas de Juanelo...* (8) aparece de nuevo este prototipo de noria. Esta solución permitía elevar el agua de pozos donde el método tradicional no se podía emplear debido al poco espacio. Además, tenía la capacidad de que, al encontrarse el animal por debajo de sistema de engranaje, la noria estaba más alta y era capaz de elevar el agua a una altura mucho mayor que las norias tradicionales de sangre (Figura 9).

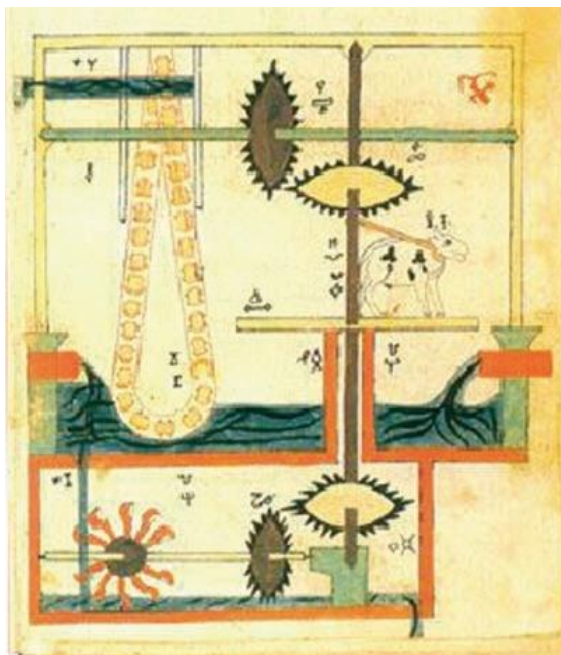


Figura 8. Dispositivo elevador de aguas n° 3. Fuente: Ibn Ismail Ibn al-Razzaz, A. J. y Routledge Donald, H. (1988). *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices* (7)

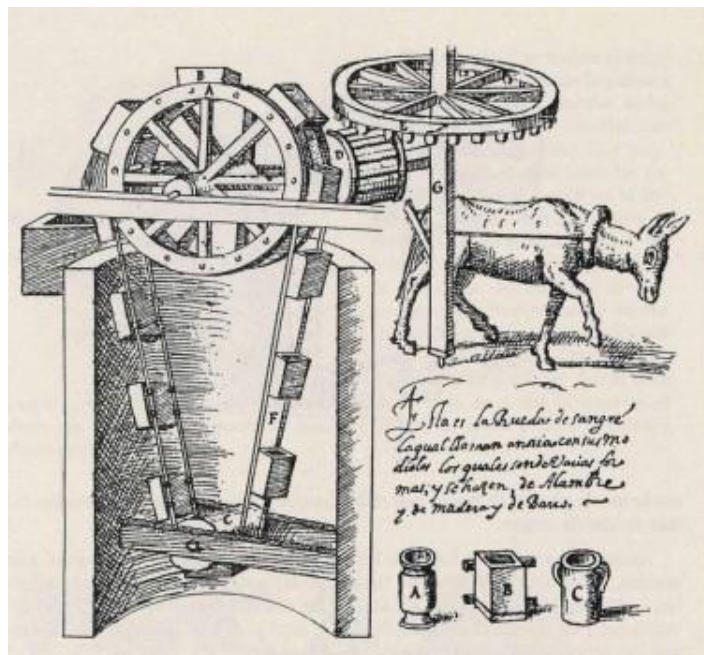


Figura 9. Noria. Fuente: Turriano, Juanelo, *Los veintitún libros de los ingenios y máquinas...*, tomo III pp. 349r (8)

En el siglo XIX, el ingeniero granadino José Mariano Vallejo (1779 – 1846) explicaba detenidamente y dimensionaba este tipo de noria en su *Tratado sobre el movimiento y aplicaciones de aguas*. Según el autor, este tipo de noria se denominaba *movidas por lo alto* (5). En su diseño, entre otras mejoras, Vallejo reforzaba la rueda de puntería mediante unos largueros. Los extremos de los largueros estaban atornillados en la parte superior de la rueda a la viga y en el árbol grande (Figura 10).

En el año 1955, el antropólogo e historiador Julio Caro Baroja (1914-1995) realizó un estudio sobre las norias de tiro (9). Las características principales de este tipo de norias movidas por lo alto era la elevación de las paredes del pozo, la disociación de la rueda de agua con respecto al engranaje (rueda de aire), y la forma del malacate (conexión con el animal). En sus investigaciones demuestra cómo estas norias eran instaladas en el siglo XIX a lo largo de todo el continente europeo y asiático (Figura 11).

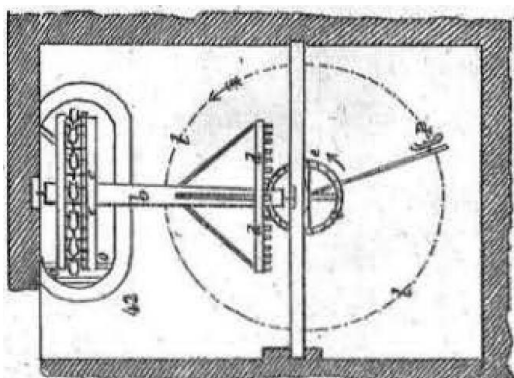


Figura 10. Plano en planta de la noria movida por lo alto. Fuente: Vallejo y Ortega, J.M. *Tratado sobre el movimiento y aplicaciones de aguas...*, tomo III, lámina IV, fig. 42-43 (5)

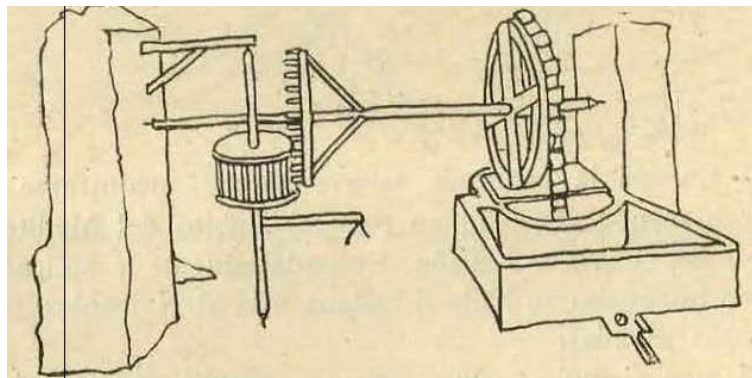


Figura 11. Noria en Pisa. Fuente: Caro Baroja, *Sobre la historia de la noria de tiro*, pp 54. Fig. 11 (9)

Hasta donde sabemos, en España existen actualmente dos norias de estas características. La primera se encuentra en Allariz en la provincia de Orense (Galicia). En el año 2005, el Ayuntamiento decidió reconstruir la noria en el Parque Etnográfico del Río Arnoia para ampliar su oferta turística. Su principal promotor fue el aparejador municipal Celestino Rodríguez Feijoo y la ejecución la realizó el artista carpintero Francisco Rodríguez Remiseiro. La segunda se

encuentra en el Alcázar de Jerez de la Frontera (Cádiz). Situada junto a su muralla, esta noria más sencilla y pequeña fue promovida y restaurada en el año 2009 por el Ayuntamiento de Jerez. Se especula que debió ser movida por una persona y que elevaba el agua del aljibe localizado bajo ella (Figura 12).



Figura 12. Noria en el Alcázar de Jerez (Cádiz)

5. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Para diseñar la noria de madera se ha tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- En este proyecto, la noria *movida por lo alto* mantiene la fidelidad en los elementos tradicionales principales de una noria de sangre de madera. Sin embargo, para facilitar su montaje y su posterior mantenimiento, se introdujeron elementos de unión actuales tales como tornillos y anclajes de acero galvanizado en caliente Z.275. Los tornillos se emplearon en el ensamble de los arcos que forman las ruedas, en el montaje de los largueros o bastidores con las ruedas y en el acoplamiento de los dientes para evitar el movimiento en la rueda de aire. Los anclajes se utilizaron para el montaje de la viga principal y el giro del pilar.
- Las tres ruedas de la noria están constituidas por dos aros laminados de 3 centímetros de espesor cada uno. Por lo tanto, cada una de las ruedas mantiene dos anillos de 6 centímetros de espesor enfrentados entre sí, excepto la rueda de puntería que únicamente posee un anillo. En un principio, se diseñaron los aros con piezas semicirculares en forma machihembrada y encoladas entre sí. Sin embargo, para que fuera una construcción más sencilla y duradera, se respetaron las dimensiones de las piezas, pero se anuló la forma machihembrada. De este modo, las piezas se ensamblaron a maticorte, se encolaron mediante cola fenólica y se atornillaron.
- No se conoce ni existen restos que identifiquen la profundidad que debió tener el agua en el interior del pozo. Por el estudio arqueológico realizado se sabe que actualmente el pozo está cegado a 24 metros de profundidad. Este dato refleja el peso que debió mover la rueda de agua para subir un gran número de cangilones llenos de agua. Existe la posibilidad de que esta noria fuera movida por dos animales en vez de únicamente por un asno o mula, pero este dato no se ha podido confirmar.
- Al encontrarse el pozo cegado, no existe actualmente la posibilidad de elevar agua. Es por ello, por lo que se estableció que no era necesaria la instalación de la maroma y los arcaduces que simularan la elevación de la misma. Se optó por la restitución completa de una noria funcional sin estos elementos.
- Para que se contemple el mecanismo completo de la noria en movimiento, se decidió no restituir el brocal del pozo. En el momento de la redacción del proyecto, el hueco del pozo se encontraba protegido por una rejilla tipo tramex.

6. ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA NORIA

Los principales elementos de los que está compuesta la noria movida por lo alto en el castillo de Niebla son (Figura 13):

- **Rueda de agua (1).** Es la responsable de elevar el agua del pozo y subirla a la artesa o pileta.
- **Rueda de puntería (2).** Se sitúa paralela a la rueda de agua y es la encargada de transmitir el movimiento de la rueda motriz a través del árbol grande o viga principal.
- **Rueda de aire horizontal (3).** Es la responsable de ejercer la fuerza motriz a través del movimiento del animal.
- **Viga principal (árbol grande) (4).** Sustenta la rueda de agua y la rueda de puntería, ambas verticales. Gira sobre sí misma para mover la rueda de agua.
- **Viga secundaria (5).** Sirve de apoyo a la viga principal y al pilar central. Se proyectó para que esta viga descansara sobre dos pilares de piedra de similares características a la existente en la barbacana del castillo.
- **Pilar principal (árbol chico) (6).** Mantiene la rueda de aire horizontal y el mayal.
- **Dientes o husillos (7).** Son los engranajes de la rueda de aire y la rueda de agua. Soportan la maroma y los cangilones en la rueda de agua.

- **Puntos (8).** Son los engranajes de la rueda de puntería que mantienen el contacto con los dientes de la rueda del aire.
- **Larguero o bastidor (9).** Principales refuerzos longitudinales y transversales de las ruedas. Se ensambla con cada uno de sus ejes.
- **Cruceta de refuerzo.** Auxilia el refuerzo de los largueros o bastidores.
- **Mayal (10).** Palanca de giro al que se engancha el animal. Responsable de transmitir la fuerza que ejerce el animal en movimiento al pilar central.
- **Artesa o pileta.** Lugar donde se deposita el agua elevada por la rueda del agua a través de los cangilones. Desde la artesa, el agua se dirige en canal o sifón hacia la alberca principal.
- **Guía o guidera** que dirige la trayectoria del animal por el andén.
- **Maroma.** Cuerda de la rueda de agua a la que se acoplan los cangilones para subir el agua. Puede estar constituida por una o dos cuerdas.
- **Arcaduces o cangilones.** Son los elementos encargados de recoger el agua del pozo y subirla hasta la artesa. A lo largo de la historia, los cangilones se han construido de distintos materiales. Los más comunes eran los de arcilla, pero también se construían de madera o azófar (látex).

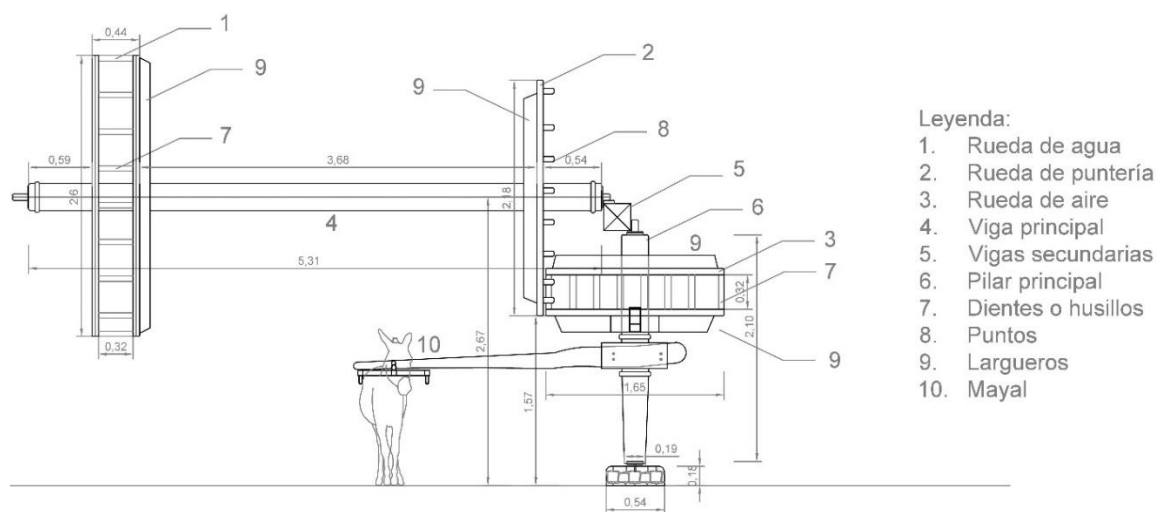


Figura 13. Alzado de la noria diseñada para el castillo de Niebla

6.1. Rueda de agua

La rueda de agua de la noria del castillo de Niebla tiene un diámetro de 2,60 metros y está conformada por dos anillos de 6 centímetros de espesor. Cada aro se compone de 11 piezas de arco de circunferencia.

Los dos anillos de la rueda de agua se enfrentan entre sí y se conectan mediante 22 dientes distribuidos uniformemente en la circunferencia. Los dientes mantienen una forma cuadrada de 6 x 6 centímetros y una longitud de 44 centímetros. Para facilitar su montaje y asegurar su perdurabilidad, los dientes van insertados y encolados a 5,5 centímetros en el centro del anillo. Se comprueba que los dientes quedan perfectamente perpendiculares a la rueda.

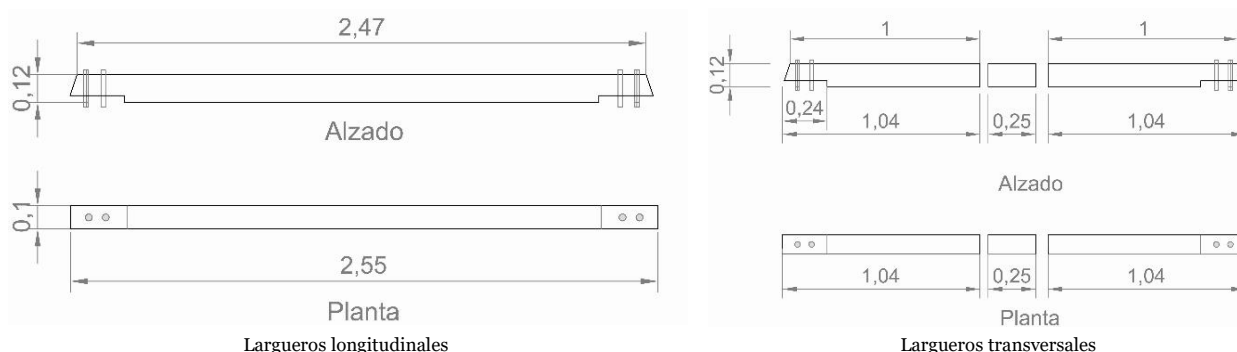


Figura 14. Diseño de los largueros de las ruedas

Para conectar con la viga principal y reforzar la estructura, en la rueda de agua se han instalado unos largueros o bastidores y unas crucetas de refuerzo. Los largueros recorren longitudinal y transversalmente la rueda y, para acoplar a los anillos de rueda, se han cortados sus extremos a inglete. La cruceta de refuerzo (con el mismo diseño en todas las ruedas de la noria) se sitúa detrás del larguero, es decir, en el interior, entre los dos anillos. Estas piezas se construyen para reforzar los dos largueros porque inevitablemente uno de ellos debe ser cortado para poder montar la estructura (Figura 14, Figura 15).

Al encontrarse el pozo actualmente colmatado, en el proyecto no se contempló la posibilidad de que la noria elevara agua. En caso de que en algún momento se decida revertir esta situación, será necesario prever el número de arcaduces a disponer en la maroma, ya que su peso podría provocar falta de rigidez de la rueda de agua. Una solución a este problema sería disponer de unos largueros diagonales extras que mantuvieran la rigidez de la rueda.

Durante la ejecución de la obra se decidió restituir en piedra la pileta o artesa que recogía el agua elevada por la rueda. También se acordó no subir el brocal del pozo para no obstaculizar la visión del conjunto (Figura 16).



Figura 15. Rueda de agua.
Obsérvese la cruceta de refuerzo en el interior de la rueda



Figura 16. Noria del castillo de Niebla

6.2. Rueda de puntería

La rueda de puntería tiene un diámetro de 2,18 metros. Consta únicamente de un anillo de 6 centímetros de espesor. Cada aro se compone de 11 piezas de arco de circunferencia.

La rueda de puntería está compuesta por 27 puntos con 21 centímetros de longitud. Mantienen una forma trapezoidal de 6 centímetros en su base y 4 centímetros en su extremo exterior. Para facilitar su montaje, los puntos van insertados y encolados 6 centímetros y posicionados a 12 centímetros del eje del punto en el exterior del anillo. Se ha asegurado que los puntos quedan perfectamente perpendiculares a la rueda y que, al acoplar por la cara exterior, no quedan huecos donde se pueda depositar el agua de la lluvia.

Para conectar con la viga principal, en la rueda de agua se han instalado unos largueros o bastidores y unas crucetas de refuerzo. Los largueros recorren longitudinal y transversalmente la rueda y, para acoplar a uno de los anillos de rueda, se han cortados sus extremos a inglete. La cruceta de refuerzo (con el mismo diseño en todas las ruedas de la noria) se sitúa detrás del larguero, es decir, en el interior, entre los dos anillos. Estas piezas se construyen para reforzar los dos largueros porque inevitablemente uno de ellos debe ser cortado para poder montar la estructura (Figura 17, Figura 18, Figura 19).



Figura 17. Sistema de engranaje entre ambas ruedas

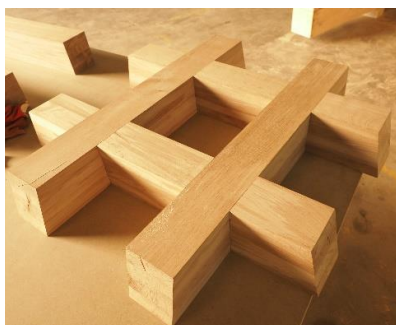


Figura 18. Crucetas de refuerzo en taller



Figura 19. Rueda de puntería y rueda de aire.
Obsérvese la cruceta de refuerzo de la rueda de puntería

6.3. Rueda de aire o motriz

La rueda de aire tiene un diámetro de 1,65 metros. Consta de dos anillos de 6 centímetros de espesor enfrentados entre sí. Cada aro se compone de 11 piezas de arco de circunferencia.

La rueda de aire contiene 22 dientes de 44 centímetros de longitud. Mantienen una forma trapezoidal de 5 centímetros en su extremo interior y 4 centímetros en su extremo exterior. Para facilitar su montaje y asegurar su perdurabilidad, los dientes van insertados y encolados 6 centímetros y posicionados a 4 centímetros del eje del diente en el exterior del anillo. Se ha asegurado que los dientes quedan perfectamente perpendiculares a los anillos, pues un pequeño desvío provocaría un problema de engranaje con la rueda de puntería (Figura 20).

Al igual que en las demás ruedas, a la rueda de aire se le han instalado unos largueros o bastidores y unas crucetas de refuerzo para acoplar al pilar central. Sin embargo, el montaje es diferente ya que estos largueros y la cruceta se disponen horizontal y no verticalmente como en las demás ruedas y, en esta ocasión, la rueda posee doble sistema de largueros. Además, los largueros de la cara superior e inferior son distintos. Los largueros instalados en el anillo superior mantienen el mismo diseño que en las otras ruedas, pero los dos bastidores de la cara inferior se encastran en el interior del pilar. De esta forma, la rueda de aire descansa sobre los bastidores y el pilar (Figura 21). Ambos largueros se atornillan en sus extremos a inglete. Y la cruceta de refuerzo (con el mismo diseño en todas las ruedas de la noria) se encuentra en el interior del anillo superior.



Figura 20. Rueda de aire en la noria restaurada en Pozo de los Frailes (Almería). Obsérvese la configuración de los dientes que sobresalen en sus anillos

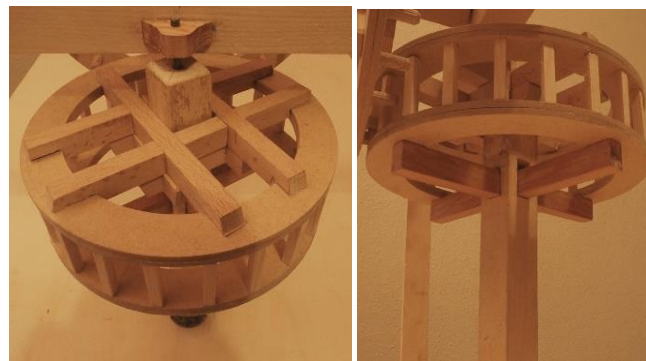


Figura 21. Rueda de aire. Obsérvese los largueros en la cara superior e inferior. Imágenes de la maqueta realizada

6.4. Viga principal

La viga principal o árbol grande se proyectó para la sujeción con las ruedas de agua y puntería de 5,30 metros de longitud y con una sección cuadrada de 0,25 x 0,25 metros. Posteriormente, durante la ejecución de la obra, se decidió acortar la viga a 3,84 metros y disminuir su sección a 0,20 x 0,20 metros. El motivo por el cual se decidió en obra disminuir la longitud de la viga fue para que uno de los pilares que soporta la viga secundaria, coincidiera con un pilar metálico ya instalado en la anterior restauración de la barbacana. Se cambiaron los pilares secundarios de piedra caliza por metálicos para armonizar todo el conjunto.

La viga principal está apoyada en el muro reconstruido del pozo sobre una placa de acero inoxidable. Sobre ella se ha soldado una placa y se ha insertado el perno de acero galvanizado existente en el extremo de la viga que permite su giro. En el otro extremo, la viga principal está apoyada en una viga secundaria de madera y tiene un sistema de movimiento similar (Figura 22, Figura 23).



Figura 22. Ejemplo de cojinete de madera donde se introduce el perno de una viga circular para su giro. Noria restaurada en Pozo de los Frailes (Almería)



Figura 23. Cojinete de acero inoxidable en la noria en el castillo

6.5. Pilar central

El pilar central o árbol chico se diseñó con 2,10 metros de altura. Para que coincidiera con el forjado superior y el pilar metálico existente en el adarve, y así quedara más acorde con el entorno. Durante la ejecución de la obra se decidió aumentar su altura a 2,30 metros. La base inferior del

pilar posee una placa con un perno de acero inoxidable en su centro (macho) que gira sobre otra atornillada al suelo (hembra). En la base superior del pilar posee otra placa de acero inoxidable con perno giratorio.

A 1,40 metros de la base inferior, el pilar contiene en su centro un hueco rectangular vertical para insertar los dos bastidores centrales del anillo inferior. De este modo, la rueda de aire puede descansar sobre ellos. Esta apertura es diferente en sus caras. En proyecto se diseñó que dos caras opuestas entre sí tuvieran una altura de 15 centímetros y las otras dos, una altura de 30 centímetros. De este modo, se introducía el primer larguero horizontal de 15 centímetros de altura que se apoyaba sobre el pilar. Y gracias a la abertura diseñada de 30 centímetros, posteriormente se insertaba el segundo bastidor de 15 centímetros. Este segundo larguero se dejaba caer sobre el primero. Esto es posible porque ambos largueros contienen una muesca en su centro de 8 centímetros para que se pueda introducir y encajar el segundo bastidor. Una vez situadas ambas piezas, el espacio sobrante del hueco de 30 centímetros se rellena con tacos de madera (Figura 24).

Para que el pilar central pudiera girar con facilidad, se diseñó la instalación de dos pernos de acero galvanizado insertados en el centro de ambos extremos. En el superior se proyectó que este giro se realizara sobre un cojinete del mismo material anclado a la viga secundaria y, en el extremo inferior, sobre un apoyo de piedra caliza (Figura 25). Una de las operaciones más delicadas y donde había que extremar la precaución era en la inserción de los pernos en el interior de la viga y del pilar. Si esta operación no se realizaba con sumo cuidado, y el perno no se encontraba perpendicular y perfectamente centrado, se podía producir una inclinación, lo que conllevaba que las ruedas no engranaran correctamente. Sin embargo, durante la ejecución de la obra, los carpinteros decidieron cambiar el sistema de anclaje por dos placas de acero inoxidable atornilladas a la base superior e inferior del pilar. De este modo no era necesario perforar su centro y no hay margen de error en su verticalidad (Figura 26).



Figura 24. Pilar central y rueda de aire en la noria restaurada en Rodalquilar (Almería). Obsérvese el modo en que se resuelve la unión entre el pilar y la rueda. En esta noria, la inserción se encuentra a la altura de los largueros superiores. En el caso de Niebla, el hueco está en los largueros inferiores



Figura 25. Pilar central de la noria de Allariz. Obsérvese el sistema de anclaje con la viga secundaria



Figura 26. Sistema de anclaje empleados en la viga y pilar principal de la noria en el castillo de Niebla

6.6. Viga secundaria

La viga secundaria sirve de apoyo a la viga principal y da soporte al pilar central. Tiene una longitud de 5,63 metros. En proyecto se determinó que esta viga, con el tiempo, podría flectar, por lo que se diseñó una sección cuadrada de 0,25 x 0,25 metros.

6.7. Pilares secundarios

Los pilares secundarios sirven de apoyo a la viga secundaria y da soporte al pilar central. Según proyecto, descansaba sobre dos pilares de piedra caliza. Durante la ejecución de la obra se decidió modificar por pilares metálicos para que coincidiera con el pilar metálico ya instalado durante la restauración del adarve, y así quedara más acorde con el entorno. Tienen la misma altura que el pilar central.

7. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA

Para la rueda de agua, la rueda de puntería y la rueda de aire o motriz, la especie de madera elegida fue el roble europeo. Se establecieron las siguientes características: clase resistente C24 según UNE-EN 338 y UNE-EN 1912 y clase de uso 3.2 según UNE-EN 335, por su buen comportamiento al exterior en Andalucía y por su gran resistencia y durabilidad (10-12). Además, este tipo de madera es apto para el tratamiento de protección con autoclave con penetración profunda (P8 y P9 75% del volumen) y su posterior aplicación de lasur incoloro (penetración P2). Este producto disminuye la permeabilidad al vapor de agua, no constituyen una barrera y protege la madera frente a los rayos ultravioleta. Para las vigas y los pilares, la madera elegida fue el pino silvestre procedente de España, por su buen comportamiento al exterior en Andalucía. Es una especie muy durable y apta para el tratamiento de protección con autoclave y posterior aplicación del lasur incoloro. La madera elegida para los dientes de las ruedas fue madera de encina por su buen comportamiento al exterior en Andalucía y su gran resistencia al desgaste. Para ambas, se

establecieron las siguientes características: clase resistente C22 y clase de uso 3.2. Además, este tipo de madera es apto para el tratamiento de protección con autoclave y para la aplicación de lasur incoloro.

8. PROCESO CONSTRUCTIVO

El corte y acople de los elementos de madera de las ruedas se realizó en taller. En primer lugar, se procedió de manera individual a cortar y dar forma circular a los tramos de 3 centímetros de espesor de cada uno de los aros. En segundo lugar, los dos aros que forman los anillos se encolaron, se atornillaron y se ensamblaron a maticorte. Es decir, las juntas del primer aro se encuentran de tal modo que no coincide con el segundo aro.

Una vez contruidos los cinco anillos de 6 centímetros de espesor, se acoplaron los largueros transversales y longitudinales. Los largueros longitudinales son una única pieza atornillada de extremo a extremo a los anillos. Sin embargo, los largueros transversales, para poder instalarlos, estaban diseñados en tres tramos: dos largos y uno pequeño intermedio. El tramo intermedio está atornillado al larguero longitudinal y a la viga o pilar de la rueda. Para fortalecer los puntos débiles de los largueros transversales se construyeron las crucetas de refuerzo de 0,80 m de longitud. Atornillados los largueros y las crucetas, se procedió a la colocación de los dientes y los puntos en uno de los anillos de cada rueda para poder acoplar seguidamente el segundo anillo. Construidas las ruedas, se elaboraron de manera individual la viga principal, la secundaria y el pilar central.

Preparado todo el material, se envió al lugar del castillo don-de se iba a instalar la noria. Se mantuvo una zona habilitada para su almacenaje. Previo al montaje de la noria, se ejecutó la consolidación del apoyo de la viga principal en el muro del pozo y se instalaron los pilares metálicos secundarios para el apoyo de la viga secundaria. Se aseguró que la altura de ambos apoyos fuera la correcta ya que, si se produce un desnivel, provocaría la inclinación de la viga central. Una vez realizado este trabajo se procedió al montaje de la viga secundaria y del pilar central. En el pilar central se acopló previamente la rueda de aire horizontal. Una vez estabilizada y comprobada la verticalidad del pilar central, se ensamblaron la rueda de agua y la de puntería a la viga central sin fijación definitiva (Figura 27). Esta operación era de suma importancia puesto que, si no se encontraba bien niveladas, provocaría que el sistema de engranaje de la rueda de puntería y la de aire no coincidieran. La fijación definitiva de ambas ruedas a la viga principal se realizó in situ, centrando la rueda de agua con el brocal del pozo y haciendo coincidir los dientes de la rueda de puntería con los de la rueda de aire. Todo el proceso de instalación de la noria en el castillo de Niebla se efectuó en un día.



Figura 27. Izado de la viga principal con la rueda de la puntería y la rueda de agua. Fuente: Juan Martín

9. CONCLUSIONES

La noria de madera que se utilizaba en el castillo de Niebla para la obtención de agua es un elemento poco común en la actualidad. Para la redacción de este proyecto y posterior puesta en obra ha sido necesario realizar una profunda investigación a través del estudio de los antiguos tratados hidráulicos y de otras norias restauradas en España. El primer objetivo era que cada una de las piezas que componen esta estructura representaran y reflejasen, con la mayor exactitud posible, el mecanismo de elevación utilizado durante siglos. El segundo era que esta noria perdurarse en el tiempo. Para ello, se tomó la decisión de establecer y diseñar piezas que se pudieran reponer fácilmente en las tareas de mantenimiento.

Al encontrarse este ingenio hidráulico a la intemperie y sin protección frente a las acciones de la lluvia y del sol, además de exigir una alta resistencia y protección de la madera, durante la redacción del proyecto se procuró evitar la acumulación del agua de lluvia en las zonas más problemáticas. Se ha evitado que queden huecos libres donde se pueda acumular el agua. Sin embargo, existen lugares en los que es necesario prestar especial atención. Se deberá inspeccionar en la medida de lo posible el atornillado y las juntas de encolado de los anillos de la cara superior de la rueda de aire horizontal.

Junto con el proyecto se entregó una maqueta a escala 1/10 de la noria en donde se quedaba plasmado el análisis realizado de cada uno de sus componentes y simulado su movimiento para que funcionara correctamente. La empresa constructora, previo al comienzo de la construcción de la noria, realizó además una maqueta a escala 1/2 en madera DM de las ruedas de aire y de puntería para observar y asegurar su sistema de engranaje.

En el proceso constructivo fue muy importante extremar las precauciones a la hora de nivelar y equilibrar las piezas. Los apoyos y los elementos móviles se debían encontrar bien posicionados, pues una pequeña inclinación de milímetros podía provocar que el engranaje de las ruedas no se produjera adecuadamente. De igual modo, la verticalidad de los dientes, en especial la rueda de aire y la de puntería, tenían un papel relevante en el engranaje y el movimiento de las ruedas. Otro punto débil donde se extremó la precaución fue en el encuentro de la viga con el muro del pozo. La viga no debía quedar directamente embebida al muro, sino que se proyectó un apoyo de acero inoxidable que mantuviera una ventilación adecuada y evacuara el agua de manera eficiente. Una vez finalizada la construcción de la noria se recomendó el movimiento constante de la misma para acople de todos sus elementos de madera.

El objeto de este proyecto era la definición de las soluciones constructivas necesarias para el restablecimiento del mecanismo hidráulico de la antigua noria mostrando su configuración y funcionamiento. De esto modo, el departamento de Conservación del Patrimonio Histórico de la Consejería de Cultura en Huelva ha logrado ampliar la oferta turística del castillo, y poner en valor su tradicional sistema hidráulico de abastecimiento de agua.

AGRADECIMIENTOS

A D. Juan José Fondevilla Aparicio, jefe del departamento de Conservación del Patrimonio Histórico de la Delegación Territorial de Cultura de Huelva, principal impulsor de este proyecto. Al artista y carpintero D. Francisco Rodríguez Remiseiro, Barro (Pontevedra) y a D. Celestino Rodríguez Feijoo, arquitecto técnico y director de la oficina de Urbanismo del Ayuntamiento de Allariz (Orense), responsables de la noria construida en el Parque Etnográfico del Río Arnoia (Ourense).

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

La autora de este artículo declara no tener conflictos de intereses financieros, profesionales o personales que pudieran haber influido de manera inapropiada en este trabajo.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Candela Bandrés Mariscal: Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Metodología, Administración de proyecto, Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición.

REFERENCIAS

- (1) Ladero Quesada, M. A. (1992). Niebla, de reino a condado. Noticias sobre el Algarbe andaluz en la Baja Edad Media. Madrid: Real Academia de la Historia.
- (2) Tabales Rodríguez, M.A. et. al. (2022). Primeros estudios arqueológicos de aproximación al Castillo de Niebla. Sevilla: Consejería de Turismo, Cultura y Deporte. Junta de Andalucía.
- (3) Carriazo Rubio, J.L. (2022). Una fortaleza en obras en el Siglo de Oro. En Carriazo Rubio, J.L. (Coord.), *El Alcázar de Niebla. Estudio histórico-documental (siglos XV-XIX)* (pp. 129-176). Sevilla: Consejería de Turismo, Cultura y Deporte. J. Andalucía.
- (4) Jiménez Hernández, A. (2021). *Informe relativo a la restitución de la noria del Castillo de Niebla*. Informe del autor.
- (5) Vallejo y Ortega, J.M. (1833). *Tratado sobre el movimiento y aplicaciones de las aguas; en el cual se manifiesta por métodos sencillos, claros y exactos, cuanto pertenece a su conducción, distribución y elevación...* (Tomo III). Imprenta de D. Miguel de Burgos. Recuperado de <http://www.bibliotecavirtualdeandalucia.es/catalogo/es/consulta/registro.do?id=9094>
- (6) Córdoba de la Llave, R. (2004). La noria de tiro en la Córdoba bajomedieval. Elementos y funciones. En Gómez Navarro, S. (Coord.), *El agua a través de la historia* (pp. 79-96). Córdoba: Asociación Arte Arqueología Historia de Córdoba.
- (7) Ibn Ismail Ibn al-Razzaz, A. J. y Routledge Donald, H. (ed. y trad.) (1988). *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices: Kitáb fi ma'rifāt al-hiyāl al-handasiyya*. Islamabad: Pakistan Hijara Council.
- (8) Turriano, J., y Reti, L. (19--?). *Los veinte y un libros de los ingenios, y máquinas de Juanelo, los cuales le mandó escribir y demostrar el Católico Rey D. Felipe Segundo, Rey de las Españas y Nuevo Mundo: dedicadas al Serenísimo Señor Don Iuan de Austria, Hijo de el Católico Rey D. Felipe quarto, Rey de las Españas*. [S.l.]: [s.n.].
- (9) Caro Baroja, J. (1955). Sobre la historia de la noria de tiro. *Revista de dialectología y tradiciones populares*, tomo 11, 1, 15-79.
- (10) AENOR-EN (2016). UNE-EN 338:2016. *Madera Estructural. Clases resistentes*. Asociación Española de Normalización (AENOR).
- (11) AENOR-EN (2012). UNE-EN 1912:2012. *Madera estructural. Clases resistentes*. Asignación de calidades visuales y especies. Asociación Española de Normalización (AENOR).
- (12) AENOR-EN (2013). UNE-EN 335:2013 *Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera*. Asociación Española de Normalización (AENOR).