

Levantamiento y modelización tridimensional de la Torre del Negro o de Arráez, torre post-litoral del siglo XVI en El Algar (Región de Murcia, España)

Graphic survey and three-dimensional modelling of the Negro Tower or Arráez, post-coastal tower of the sixteenth century in El Algar (Region of Murcia, Spain)

Josefina García-León ^a, Pedro Enrique Collado-Espejo ^b, Filippo Fantini ^c, Francisco Joaquín Jiménez-González ^d

^a Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Spain, josefina.leon@upct.es

^b Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Spain, pedroe.collado@upct.es

^c Università di Bologna, Bologna, Italy, filippo.fantini2@unibo.it

^d Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Spain, franciscoj.jimenezgonzalez@upct.es

Abstract

Post-coastal towers or rural fortress towers, built in the sixteenth century on the Mediterranean coast, had the mission of protecting the population and enhancing the repopulation of these areas, heavily punished by incursions by berber pirates. The Negro Tower or Arráez Tower, in El Algar-Cartagena (Region of Murcia, Spain), is one of those post-coastal lookout towers and was built in 1585. It is shaped like a truncated pyramid, square plan and a height of about 14,00 m. Originally, it had three floors and a terrace. Despite its degree of protection (it is a monument), its current state of conservation is semi-ruined. It has no cover, the vault of the first floor has collapsed and presents cracks that threaten its stability. Therefore, a research project has been developed that has included, among other aspects, the graphic survey with two complementary techniques: digital photogrammetry and 3D laser scanning. The result is an exhaustive graphic documentation that allows understanding the construction and allows the consolidation and volumetric recomposition of the tower. With this work, it is intended to contribute to the conservation and recovery of the heritage value of the Tower, as well as the integration of the historical monument in its natural and landscape environment.

Keywords: Negro Tower, 3D laser scanner, photogrammetry, conservation, graphic documentation.

1. Introducción

A finales del siglo XVI, más concretamente entre 1568 y 1571, el mar Mediterráneo se había convertido en la frontera natural entre el imperio español y el turco. Por ello, la costa española (litoral andaluz, murciano, valenciano y mallorquín), sufría continuos ataques de piratas turco-berberiscos procedentes de ciudades como Tetuán, Orán, Argel o Bugía, en el norte de África (Velasco, 2017). Estos ataques ponen en eviden-

cia que la línea de costa no dispone de una buena defensa. Será entonces cuando el rey Felipe II encargue un ambicioso proyecto que consiste en la construcción de una extensa red de torres vigías y de defensa del litoral Mediterráneo, especialmente en las zonas de costa más asediadas. La nueva red de torres costeras, que se construirá entre finales del siglo XVI y principios del XVII, tiene una doble misión: primero, debe vi-

gilar y defender el frente costero de los ataques de piratas; y segundo, las nuevas torres deben servir para alertar y proteger a la población de la zona. Así a finales de la década de 1560, la Corona encarga al ingeniero militar, de origen italiano, Giovanni Battista Antonelli el proyecto de fortificación y defensa de todo este litoral, debiendo planificar la construcción de torres de vigilancia y defensa con la fortificación urbana (Gómez, Munuera, 2002), abarcando desde la costa de Cataluña hasta la bahía de Cádiz, incluyendo las costas mallorquinas. Para el litoral murciano, los encargados de proyectar las nuevas torres y mejorar las existentes serán Antonelli y el arquitecto militar y experto en fortificaciones Vespasiano Gonzaga Colonna.

El éxito o fracaso de las incursiones de piratas dependía, en gran medida, de la rapidez en el aviso entre las diferentes torres (costeras y de interior). Por tanto, para la ubicación de estas torres se tuvo muy en cuenta que estuvieran en contacto visual entre ellas y así coordinar los avisos (García-León, *et al.*, 2019). Además, la red de torres vigía y de defensa del litoral se realizaría en base a tres tipos de construcciones. Un primer tipo serían las torres de la costa (primera red de alerta y defensa). En este caso, las torres eran artilladas, es decir, contaban con una o varias piezas de artillería para poder disparar a los barcos en su aproximación a la costa. Un segundo grupo lo formaban las torres-fortaleza, situadas al interior pero en contacto visual con las torres del litoral. Éstas se utilizaban como alerta y defensa de las poblaciones y explotaciones agrícolas que se encontraban dispersas en pequeños núcleos y alejadas de la protección de castillos o fortalezas más importantes. El tercer grupo eran las torres de interior, alejadas de la costa pero que debían servir de aviso y protección a poblaciones más importantes (agrícolas y de explotación minera), que podrían verse igualmente atacadas por los piratas norteafricanos (Rubio, 2000).

Para el Reino de Murcia se proyectaron 36 nuevas torres pero sólo se construyeron 12. Con el tiempo, esta red de torres costeras y de interior ha perdido una de sus características principales: la unidad. Además, muchas han desaparecido y son varias las que están mal conservadas y aban-

donadas (Cámara, 1991; García-León *et al.*, 2018). Por otra parte, no existe documentación gráfica precisa de estas torres, lo que dificulta una posible intervención. Y al tratarse de inmuebles protegidos por la Ley 4/2007 de Patrimonio Cultural de la Región de Murcia, si se pretende una reconstrucción total o parcial ésta debe de potenciar “efectos de percepción de los valores culturales y el conjunto del bien”, quedando diferenciados los añadidos “a fin de evitar errores de lectura”, además de tener un uso respetuoso y compatible con todos sus valores patrimoniales. Por tanto, cualquier tipo de intervención que se pudiera plantear debería cumplir tres objetivos básicos: consolidar y recomponer la torre; conseguir que sea lo más accesible y segura posible; y darle un uso cultural. Así mismo, la metodología científica de análisis y los criterios de actuación y control de ejecución deben ser respetuosos con los valores históricos, arquitectónicos, sociales y culturales que atesora la Torre en cuestión, diferenciando sutilmente materiales antiguos de los nuevos (Collado, *et al.*, 2018).

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha realizado un exhaustivo proyecto de investigación cuyo primer objetivo ha consistido en obtener una documentación gráfica completa y detallada de la Torre del Negro o de Arráez a través del uso de fotogrametría digital y láser escáner (Yastikli, 2007). Se ha realizado un estudio histórico-constructivo y un levantamiento gráfico, con modelos digitales tridimensionales, para analizar y documentar las características arquitectónicas y constructivas de la torre y su estado de conservación. Con esta información se ha elaborado una propuesta de intervención centrada en la recuperación integral de la construcción y su puesta en valor como elemento patrimonial, contribuyendo así a su reconocimiento y difusión como patrimonio histórico y cultural.

2. Una torre-fortaleza en ámbito rural: la Torre del Negro

La Torre del Negro o Torre de Arráez, en El Algar - Cartagena (Región de Murcia, España), es una construcción de 1585, (Fig. 1). Se encuentra en el entorno inmediato del Mar Menor y se trata de una torre-fortaleza en entorno rural, en el in-

terior, pero con contacto visual con las torres defensivas costeras, y su misión era recibir y transferir las alertas de las torres costeras y proteger a la población, especialmente a los agricultores, de ataques de piratas (Pérez, 2007). Por tanto, formaba parte de la red de torres de vigilancia y defensa construidas entre los siglos XVI y XVII.



Fig 1. Imagen actual de la fachada Sur de la Torre del Negro y vivienda adosada (Autores).

El nombre de Torre del Negro le viene porque entre los miembros de la guardia había un hombre de color, reclutado entre los esclavos de la galeras reales; y Torre de Arráez posiblemente para recordar y defenderse de Morato Arráez, un pirata berberisco asiduo de estas costas. (Pérez, 2007). En origen, la Torre del Negro era una construcción exenta, pero en la actualidad tiene adosada una vivienda de uso doméstico rural privado. En diseño, materiales y sistemas constructivos, es un claro ejemplo tipológico de las torres que se construyeron para la defensa del litoral de Murcia (Rubio, 2000). No tenía una función propiamente defensiva sino que se trata de una casa-fuerte, lo que se refleja en su sistema constructivo. Está estructurada en tres plantas y cubierta plana con acceso desde el interior, con una superficie construida total de 234,96 m². La torre tiene base cuadrada, con una superficie de 66,84 m² en planta baja, y una ligera inclinación hacia el interior de 2,68 grados sexagesimales (según medición con el modelo tridimensional obtenido), formando así una pirámide truncada. La cubierta tiene una superficie de 51,33 m², y una altura de 13,14 m. desde arranque de muros hasta la cubierta (Fig. 4). Para la construcción de la torre se utilizó el sistema estructural de muros

de carga de mampostería de piedra labrada y mortero de cal (Velasco, 2017).

El espesor de los muros varía entre 1,53 m. en la base y 0,60 m. en cubierta. La estructura horizontal se resolvió con una bóveda de piedra, con relleno de tierra y cal, en planta baja y primera, y un forjado tradicional (vigas de madera y entrevigado de ladrillo macizo), en cubierta. Esta solución estructural (que es también el empleado para las torres vigía y defensivas de la costa), aporta gran estabilidad y resistencia al conjunto. Los huecos y esquinas se realizaron con ladrillo macizo (salvo en planta baja, donde todo el muro es de mampostería). Como la torre también debía servir de refugio, el acceso es independiente en planta baja y primera; no habiendo comunicación entre ellas. A planta primera se accedería por una escala portátil y para el resto de plantas se realizó una escalera interior, en esquina Noroeste, de caracol. Todos los paramentos fueron revestidos con mortero de cal y yeso por lo que en origen la torre destacaría en su entorno paisajístico, por su color blanco.

El estado actual de conservación de la Torre es muy precario, en semi-ruina (Fig. 2). El factor principal del deterioro es la falta de un mantenimiento adecuado y la alta exposición a los agentes meteorológicos, muy agresivos en esta zona de costa (Collado, *et al.*, 2018). Esto ha favorecido la erosión de la envolvente, (desprendimientos del revoco y alguna pérdida de sección por caída de mampuestos). Los ladrillos de esquinas y jambas de huecos presentan disgregación y arenización. La bóveda de planta baja está bien pero a partir de la planta primera todo el interior está derruido, quedando aún parte de los escombros sobre la bóveda de planta baja, ver figura 3. Sólo se conserva, en planta primera, una reja y la barandilla del balcón, elementos de forja con oxidación y corrosión. El resto de huecos (ventanas y puerta de acceso en planta primera) están abiertos, sin las carpinterías.

Afortunadamente, sobre la puerta de acceso a planta baja, se mantiene una placa de mármol, con la inscripción: “Reynando la mag. del rey don felipe sr. do deste juan giner pagador de sus armadas y galeras y regidor de cartagena mandó hazer esta torre año 1585”, Sin embargo, el reloj

solar que había en esta misma fachada se ha perdido.



Fig. 2. Imagen actual de la esquina Noreste de la Torre del Negro (Autores).

3. El levantamiento gráfico y la modelización tridimensional de la Torre. Metodología.

La toma de datos se realizó con la multiestación Leica Nova MS50 con 8 estaciones vinculadas mediante topografía clásica (Fig. 3), obteniendo nubes de puntos con una densidad de 1cm a una distancia variable entre 8m. y 18m. Para la fotogrametría se utilizó una cámara Canon EOS 700D, con una focal de 55mm, sobre trípode.

Para la correcta alineación de las nubes y el control del error se midieron 37 puntos de apoyo y

control repartidos en toda la superficie de la torre, tanto en el exterior como en el interior. En total fueron grabados 17 millones de puntos, que han sido volcados y depurados en el software Infinity.



Fig. 3. Toma de datos con la multiestación en el interior de la primera planta de la Torre (Autores).

Tras este volcado de los datos se realizó el ajuste entre nubes de puntos en el programa 3D Reshaper. Seguidamente se ha realizado la malla y entre las diversas técnicas aplicadas para obtener un modelo 3D flexible y preciso, se decidió ejecutar un modelo con un sistema procedural que

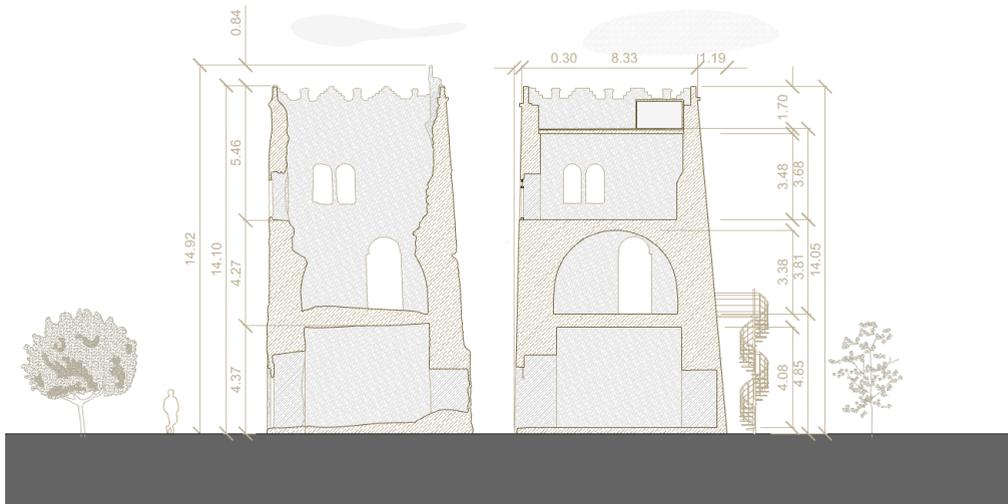


Fig. 4. A la izquierda, sección del estado actual. A la derecha, sección con la propuesta de rehabilitación (Autores).

implementa las superficies de subdivisión. Otros autores ya habían experimentado con técnicas similares, pero en ausencia de soluciones automáticas o semiautomáticas, aplicándolas al patrimonio cultural para obtener una imagen fotorealista de las fortificaciones (Rodríguez-Navarro, Fantini, 2012). La fuerza de las superficies de subdivisión es el nivel de detalle variable (LOD) y entre sus debilidades ha estado durante mucho tiempo la imposibilidad de realizar operaciones booleanas en estos modelos digitales. Una limitación sustancial al uso de esta forma de representar objetos en 3D fue la necesidad de modelar objetos con mallas poligonales cuadrangulares, que notoriamente no pertenecen al mundo de los programas dedicados al levantamiento digital donde la casi totalidad de las aplicaciones gestionan triángulos. En el caso de la Torre del Negro, se decidió experimentar con un nuevo sistema de modelado que admite operadores booleanos en modelos cuadrados dominantes convertidos en superficies de subdivisión. Estos modelos se obtienen a través de tratamientos expeditivos en mallas de alto detalle que, después de una partición semántica, *defeaturing* (eliminación de características morfológicas para crear modelos topológicamente simplificados) y finalmente de *remeshing* de dominante cuadrado (usando el plugin Exoside Quad Remesher 1.0), se mezclan y componen para obtener un modelo LOD capaz de soportar operaciones booleanas (secciones, vistas axonómicas en despiece, divisiones, etc.) (Figs. 5 y 6). Este modelo se adapta a la verificación de hipótesis de diseño sin introducir las simplificaciones clásicas que a menudo son necesarias en muchas aplicaciones actuales destinadas al diseño, al tiempo que mantiene la posibilidad de revisiones constantes gracias al sistema procedural.

4. Recomposición volumétrica y propuesta de rehabilitación integral

El análisis integral desarrollado tiene como fin la rehabilitación de la Torre del negro y su correcta conservación y uso como referente cultural. Esto incluye definir unos criterios y metodología de intervención que permitan la recuperación integral de la Torre y su puesta en valor. La rehabilitación debe potenciar la construcción como re-

curso cultural y turístico, contribuyendo también a la mejora del singular espacio natural y paisajístico en el que se ubica.

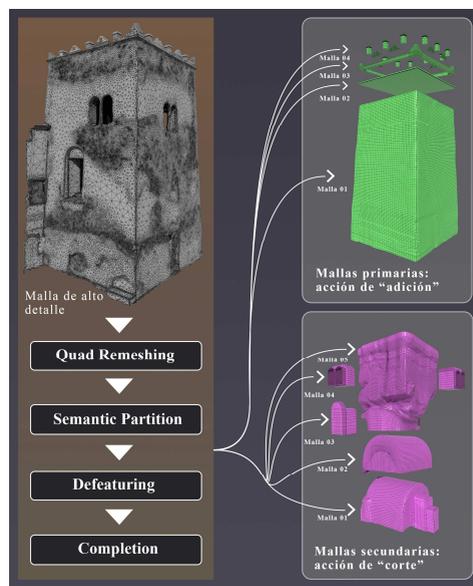


Fig. 5. Flujo de trabajo para obtener un modelo LOD con superficies de subdivisión (Autores).

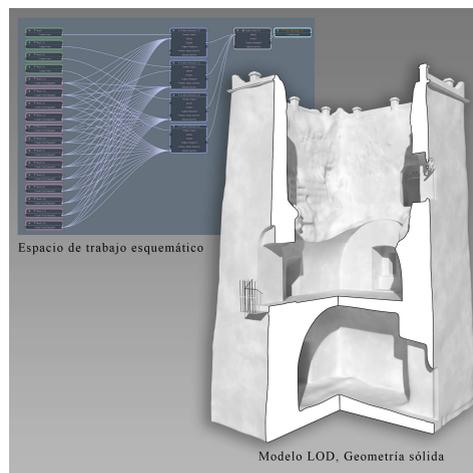


Fig. 6. Modelo 3D LOD obtenido mediante modelado de procedimientos integrado con mallas de sensores activos y pasivos (Autores).

Partiendo del modelo obtenido, se han añadido las soluciones constructivas necesarias para la recomposición volumétrica de la Torre. Se ha proyectado la bóveda de la planta segunda, el

forjado plano en cubierta, la escalera interior de ladrillo macizo así como una escalera exterior de caracol para acceder a la planta primera (Fig. 4).

La propuesta de rehabilitación integral incluye consolidar y recomponer volumétricamente la edificación. Los muros estructurales no tienen grandes deterioros por lo que la intervención se limitaría a procesos de limpieza, eliminación del biodeterioro y revestimientos deteriorados, la consolidación con mampuestos similares a los originales y la ejecución de un nuevo revoco exterior para recuperar el color blanco original. Se ha planteado la reintegración de todos los elementos faltantes, pero con materiales (piedra, ladrillo, madera y forja) y sistemas constructivos tradicionales. Se propone la reconstrucción de la bóveda del primer piso (con ladrillo macizo), el forjado de madera de la cubierta y la escalera interior de caracol. Los ladrillos macizos disgregados de esquinas y jambas se eliminarán y se colocarán nuevos ladrillos de características similares a los originales. Es necesario limpiar y

proteger la reja y barandilla metálica, así como diseñar y colocar nueva carpintería de madera en puertas y ventanas. Se proyecta reconstruir la cubierta recuperando las singulares almenas que la coronan; y para acceder a ésta, se ha diseñado un sistema, en acero corten y de pequeñas dimensiones, para cerrar el hueco de acceso.

La intervención también plantea la mejora de las condiciones de accesibilidad y seguridad del edificio. Para ello, se ha diseñado un camino de acceso a la torre desde la carretera más cercana, y se reacondiciona el entorno inmediato. Se pretende crear una agradable zona verde que invite a caminar, descansar, reconocer y disfrutar de este paisaje natural excepcional en el que se ubica la Torre, como puede verse en la figura 7. La planta baja de la construcción es accesible por la puerta existente y para el acceso a la planta primera se propone una escalera exterior. La accesibilidad universal no es posible con esta solución pero hay que tener presente que se trata de una construcción histórica y la intervención debe

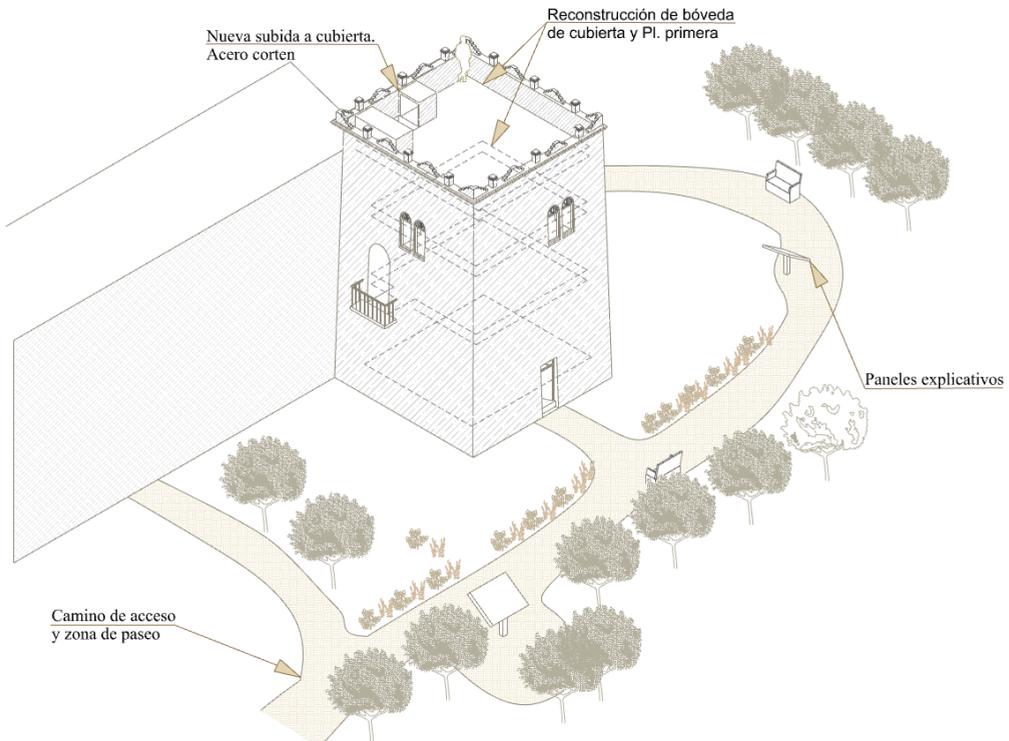


Fig. 7. Axonometría de la propuesta de restauración y su entorno (Autores).

intentar recuperar la imagen original sin alterar su configuración arquitectónica. Por ello se propone el acero corten como material, con el objetivo de no alterar en exceso la imagen exterior de la torre.

Finalmente, se pretende la puesta en valor de la Torre del Negro como recurso cultural a través de su musealización. Para llenar de contenido la visita hay que dotar el interior de la torre de paneles informativos, didácticos y divulgativos que expliquen el contexto histórico de su construcción y la importancia documental, social y cultural de estas edificaciones. Estos paneles de completarían con material audiovisual de los propios modelos gráficos generados en este estudio.

5. Conclusiones

La Torre del Negro o Torre de Arráez, en El Algar - Cartagena, es una construcción del tipo torre-fortaleza, en ámbito rural, construida en 1585. Formaba parte de la extensa red de torres vigía y de defensa del litoral murciano que se construyen entre los siglos XVI y XVII para hacer frente a los frecuentes ataques a la costa de piratas berberiscos. Su misión era recibir y transferir las alertas de las torres costeras y proteger a la población del entorno.

A pesar de tratarse de un BIC con categoría de monumento, el estado de conservación de la torre es de semi-ruina. Por lo que se ha desarrollado un proyecto de investigación con el fin de conocer a fondo esta torre y proponer su rehabilitación y puesta en valor.

El proyecto parte del análisis integral (histórico, arquitectónico, material, constructivo, y cultural) y un completo levantamiento gráfico (con modelos digitales tridimensionales), para poder documentar las características arquitectónicas y constructivas de la torre y su estado real de conservación. Este análisis permite elaborar una justificada propuesta de intervención con el objetivo de lograr la rehabilitación integral de la torre y su puesta en valor (a través de su musealización), así como la mejora de sus condiciones de accesibilidad y seguridad: Todo ello desde el conocimiento y absoluto respeto a su entidad monumental.

Se ha comprobado una de las características fundamentales de estas torres vigía y de defensa de la costa: el contacto visual entre ellas. En este caso, no sólo entre la Torre del Negro y las torres costeras del Mar Menor (Torre de la Encañizada, Torre del Estacio y Torre de San Antonio), sino también con las otras torres-fortaleza rurales del entorno (Torre del Rame, Torre de Aredo y Torre Blanca) (García-León, *et al.*, 2019). Este hecho era fundamental para el buen funcionamiento del sistema de vigilancia, alerta y defensa que se había construido en aquella época.

El análisis histórico, constructivo y gráfico ha permitido conocer las características generales de la construcción, como materiales, tipología de muros, bóvedas, cubierta, escalera... Se han obtenido las superficies, grosos de muros y la inclinación exacta de los mismos, volumetría ideal y el mapa detallado de deterioros.

Toda esta información ha permitido proyectar la consolidación estructural, la reintegración de los elementos faltantes, recomposición volumétrica y la reconstrucción de la cubierta, bóvedas y escaleras interior y exterior; además de recuperar la imagen original de la Torre a través de la recuperación del revoco blanco original.

Por último, y partiendo de la idea de que la mejor manera de asegurar la conservación y mantenimiento de construcciones históricas es darles un uso (compatible y respetuoso con todos sus valores patrimoniales), se ha planteado la puesta en valor de la Torre del Negro a través de su musealización.

De esta forma la Torre del Negro o de Arráez se convertiría en un referente histórico, social y cultural de esta zona del Mar Menor y se mostraría como ejemplo real de la importancia del sistema de vigilancia y defensa de la costa mediterránea diseñado y construido entre finales del XVI y principios del XVII. Además, esta torre es un ejemplo real de torre-fortaleza rural o casa-fuerte, de las varias que formaban parte de la red interior de torres vigía y de defensa y su rehabilitación integral y musealización permitiría el reconocimiento y divulgación de un patrimonio cultural tan importante y singular de la Región

de Murcia, el de estas torres, pero que está en riesgo de caer en el olvido.

Bibliography

- Cámara, A. (1991). “Las torres del litoral en el reinado de Felipe II: una arquitectura para la defensa del territorio (y II)”, *Espacio, Tiempo y Forma. Serie VII, Historia del Arte*, 4, pp. 53-94.
- Collado-Espejo, P.E.; García-León, J.; García-Vives, J.F. (2018). “Estudio integral de la Torre Navidad, en Cartagena (España), para su correcta conservación, puesta en valor y musealización”, in *FORTMED 2018. Defensive Architecture of the Mediterranean*, Politecnico di Torino, Torino, vol. IX, pp. 1179-1186.
- García-León, J.; Collado-Espejo, P.E.; Jiménez-González, F.J. (2019). “Negro Tower: Documentation, conservation and restoration”, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS Archives)*, XLII-2/W15, pp. 489-496, in <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-489-2019>.
- García-León, J.; Collado, P.E.; Ramos, M.; Cipriani, L.; Fantini, F. (2018). “Las torres vigía artilladas de Felipe II en la Región de Murcia. Representación tridimensional virtual de la Torre Navidad”, in *FORTMED 2018. Defensive Architecture of the Mediterranean*, Politecnico di Torino, Torino, vol. IX, pp. 997-1004.
- Gómez, A.; Munuera, D. (2002). “El sistema defensivo de los Austrias”, in *Estudio y catalogación de las defensas de Cartagena y su bahía*, Dirección General de Cultura, Servicio de Patrimonio Histórico, Murcia, pp. 122-170.
- Pérez, L.M. (2007). “El patrimonio defensivo del Mar Menor en época moderna y contemporánea: Torres, fortalezas y baterías”, *Cartagena Histórica, julio-septiembre*, 20, pp. 4-18.
- Rodríguez-Navarro, P.; Fantini, F. (2012). “The interpretation of archaeological persistence to generate digital 3D architectural typologies. The case of ksar Tatiouine in the Moroccan High Atlas”, in *Cultural Heritage and New Technologies Workshop 16, November 14-16, 2011 proceedings*, Phoibos Verlag, Vienna, pp. 326-335.
- Rubio, J.M. (2000). *Historia de las torres vigías de la costa del reino de Murcia (ss. XVI-XIX)*, Real Academia Alfonso X El Sabio, Biblioteca de Estudios Regionales, Murcia.
- Velasco, F. (2017). “La construcción de torres de defensa en el litoral de Lorca, Mazarrón y Cartagena durante el siglo XVI”, *MURGETANA*, 136, pp. 57-83.
- Yastikli, N. (2007). “Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning”, *Journal Cultural Heritage*, 8, 4, pp. 432-427, in <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207407001082>.