

Aplicación de la digitalización para el estudio, conservación y explotación turística del patrimonio: un caso práctico de un conjunto de bodegas subterráneas - declaradas Bien de Interés Cultural (BIC)¹

Fernando Blaya²; Silvia Nuere³; Manuel Islán⁴; Francisco Reyes-Téllez⁵

Recibido: 20 de abril de 2016 / Aceptado: 24 de junio de 2016

Resumen. España es un país con un gran patrimonio cultural que las instituciones públicas deben conservar y explotar para mantener en unas buenas condiciones año tras año. Para ello las nuevas tecnologías digitales permiten hacer un inventario exhaustivo y fiable de todo nuestro patrimonio para mostrarlo tanto en imágenes estáticas como en movimiento y así fomentar un turismo cultural.

La metodología empleada para llevar a cabo esta tarea está basada en la ingeniería inversa, herramienta que nos permite conocer detalles de su forma, textura, detalles constructivos y posicionamiento georreferenciado. Asimismo podemos realizar un catálogo digital con las características formales tanto de los objetos como de los espacios turísticos, con la ventaja, por ejemplo, de poder reproducirlos en tres dimensiones para distintos fines.

La ingeniería inversa es una excelente herramienta para la innovación y una estrategia de enseñanza para adquirir las competencias de diseño e innovación requeridas en la formación de ingenieros.

Palabras clave: Digitalización; fotogrametría; arqueología industrial; ingeniería inversa.

[en] Scanning application for the study, preservation and exploitation of heritage tourism: a case study of a set of underground cellars - declared Spanish good of cultural interest (BIC)

Abstract. Spain is a country with a wide tourist heritage. All the public institutions should be interested in preserving and conserving it in good conditions year after year. New digital technologies may allow making a thorough and reliable inventory of all of our goods so as to show them whether with static or in movement images in order to promote cultural tourism.

The methodology used to accomplish this task is based on reverse engineering, tool that allows us to know details of its shape, texture, construction details and geo-referenced positioning. Inverse engineering will help us to create a digital catalogue with all the formal characteristics of the objects

¹ Este artículo recoge resultados de la investigación “Inventario digital integral del conjunto de bodegas de la localidad de Aranda de Duero”, financiado mediante convenio de acuerdo al Artículo 83 de la LOU entre la Universidad Rey Juan Carlos y el Ilmo. Ayuntamiento de Aranda de Duero, en el año 2013.

² Universidad Politécnica de Madrid (España)
E-mail: fernando.blaya@upm.es

³ Universidad Politécnica de Madrid (España)
E-mail: silvia.nuere@upm.es

⁴ Universidad Politécnica de Madrid (España)
E-mail: manuel.islan.marcos@upm.es

⁵ Universidad Rey Juan Carlos (España)
E-mail: francisco.reyes@urjc.es

and tourist spaces. It will be possible then to reproduce them in a three dimensional way for different uses.

Reverse engineering is also an excellent tool for innovation and a teaching strategy to acquire the skills required for design and innovation in the training of engineers.

Keywords: Digitalization; photogrammetry; industrial archaeology; reverse engineering.

Sumario. 1. Introducción. 2. Breve historia de las bodegas de Aranda de Duero (Burgos). 3. Metodología empleada. 3.1. Arqueología Arquitectónica. 3.2. Ingeniería inversa. 4. Tecnología empleada. 4.1. Escáner láser. 4.2. Fotografía panorámica. 4.3. Fotogrametría. 4.4. Vídeo y vídeo panorámico. 4.5. Planimetría. Plano de planta. Infografías 2D. 5. Resultados complementarios. 6. Conclusiones. 7. Referencias bibliográficas.

Cómo citar: Blaya, F.; Nuere, S.; Islán, M.; Reyes-Téllez, F. (2017) Aplicación de la digitalización para el estudio, conservación y explotación turística del patrimonio: un caso práctico de un conjunto de bodegas subterráneas - declaradas Bien de Interés Cultural (BIC). *Arte, Individuo y Sociedad* 29(1) 167-180

1. Introducción

El objeto de este artículo es explicar mediante un ejemplo concreto y específico –la digitalización de las bodegas de Aranda de Duero (Burgos)–, la gran utilidad que suponen las herramientas digitales (fotogrametría y digitalización tridimensional), para la promoción turística y para la conservación del Patrimonio Español, y en este último caso, muy especialmente a la hora de generar un inventario de bienes culturales.

Para comprender el proceso de digitalización que se llevó a cabo sobre las bodegas -proceso al que vamos a referirnos-, es importante conocer y entender las nuevas técnicas que nos permiten llevar a cabo estas labores, como paso previo para el mejor conocimiento de nuestro patrimonio cultural.

Téngase en cuenta que una buena conservación y difusión de los Bienes de Interés Cultural (BIC) pasa por su promoción turística y ello puede ser posible a través de un estudio en forma de inventario que desarrolle e integre diferentes tecnologías del campo de la digitalización tridimensional, de la comunicación y la información (TIC) y de la gestión documental del Patrimonio, todo lo cual será capaz de generar interesantes recursos de explotación. (Blaya-Haro, 2014)

A lo largo del artículo se mostrarán ejemplos de escaneados y digitalizaciones, infografías de alta calidad, y fichas de inventariado, como ejemplo de los resultados que se obtuvieron durante el estudio de las mencionadas bodegas, todo ello gracias al convenio de investigación que se suscribió con el Ilmo. Ayuntamiento de Aranda de Duero.

2. Breve historia de las bodegas de Aranda de Duero (Burgos)

Localizada en el extremo sur de la actual provincia de Burgos, Aranda de Duero ocupa una situación privilegiada en la ribera del Duero, situada en la margen derecha del río. Durante los siglos XIV y XV dominó su región como principal centro económico y administrativo.

En la actualidad, el conjunto de Aranda de Duero conserva, junto a la trama medieval y los restos de la muralla, edificios de relevante interés declarados de interés cultural como la Iglesia de Santa María, la Iglesia de San Juan y un rollo de justicia. (Anexo del BOE nº 175, jueves 23 julio 2015. Sec. III. Pág. 62237).

Desde tiempos inmemoriales la economía de las orillas del río Duero se hallaba ligada a la viticultura, pero no fue hasta el siglo XII cuando los arandinos enfrentaron la necesidad de excavar una amplia red de bodegas por el subsuelo de su ciudad, con el fin de conservar los vinos que a partir de la Edad Media empezaron a elaborarse a mayor escala. Según los estudios realizados, entre los siglos XII y XVIII se llegaron a excavar bajo la población unos siete kilómetros de galerías que oscilan entre los nueve y doce metros de profundidad. Un inteligente sistema de ventilación, unido a la ausencia de ruidos y vibraciones, y a la temperatura anual de entre once y trece grados centígrados con un nivel de humedad constante, hicieron de estas bodegas el enclave perfecto donde madurar y conservar los vinos de la región.

A mediados del siglo XIX, según leemos en el diccionario geográfico Madoz, la mayor parte de las casas de Aranda de Duero, tenían debajo “espaciosas cuevas o bodegas para la conservación del vino en cubas de madera de cabida de 100 a 300 arrobas, bastante profundas aquellas, y cavadas en terreno compuesto de una greda arenosa y muy dura, que evita las filtraciones del agua, y hace que no necesiten bóvedas ni arcos para su sostenimiento, excepto en casos raros”. En aquellos tiempos, la principal producción de Aranda de Duero era la del vino, siendo la mitad de su cosecha de consumo propio y la otra mitad para exportar por tierras burgalesas, de Soria y Segovia.

El conjunto actual de bodegas tradicionales de Aranda de Duero “se caracteriza, desde un punto de vista histórico y etnográfico, por su estrecha vinculación al nacimiento y desarrollo urbano de la villa. De hecho, el desarrollo en superficie de la villa se produce paralelamente a su desarrollo en profundidad, horadándose el subsuelo mediante un complejo entramado de túneles y galerías”.(Anexo BOE Nº 175/ jueves 23 de julio de 2015. Sec. III. Pág. 62237)

Se han conservado unas 135 bodegas, ubicadas en una extensión de ochocientos por trescientos ochenta metros. Según el BOE nº 175, gran parte del complejo bodeguero ya estaba construido en el último cuarto del siglo XV. La mayor parte de las bodegas conservadas se encuentran bajo el centro histórico de la villa.

3. Metodología empleada

Para estudiar a fondo las bodegas de Aranda de Duero se tuvieron en cuenta aspectos como la búsqueda previa de información, fotografías, planos y reseñas bibliográficas con el fin de conocer lo más fielmente posible las características del objeto de estudio.

A la hora de estudiar las bodegas arandinas, se tuvieron especialmente en cuenta dos novedosas técnicas: la Arqueología Arquitectónica y la Ingeniería Inversa. Estas técnicas hacen necesario el trabajo de campo para obtener los datos imprescindibles para elaborar el material definitivo. Veamos a continuación de qué modo se aprovechó cada una de ellas.

3.1. **Arqueología Arquitectónica**

Esta disciplina constituye hoy día un elemento imprescindible en el conocimiento de la vida de un monumento. Hasta hace escasos años el estudio de un inmueble o monumento era abordado a partir de las diferentes manifestaciones de su estilo o estructura, pero no se consideraban otros elementos significativos relacionados con cambios estructurales, de materiales o incluso posibles reformas sufridas a lo largo de su existencia. Harris (1991) permitió reconocer los diferentes procesos de actuación sobre cualquier bien histórico, planteando sus evidentes unidades, que pasaron a denominarse Unidades Estratigráficas, con sentido en sí mismas y diferentes a otros elementos diferenciados del conjunto. Interesa resaltar que el hecho de considerar unidades estratigráficas en cualquier Bien Histórico -en el caso que nos ocupa, las bodegas históricas de la localidad de Aranda de Duero-, ha supuesto un avance significativo en el conocimiento de la vida de los edificios y construcciones históricas, ya que ha permitido diferenciar elementos y procesos de construcción, reformas y reconstrucciones dentro de los mismos.

A la hora de manejar el concepto de Arqueología Arquitectónica en el estudio de las bodegas arandinas, se mostró particular interés por algunos temas concretos: se profundizó sobre la investigación del empleo y tipo de herramientas históricas con que fueron excavadas las bodegas, así como sobre el porqué y las características de los diferentes materiales utilizados, y sobre toda una serie de datos intangibles que resultaron tan importantes como el estudio in situ de las propias bodegas.

Además, por otra parte, también se tuvo muy en cuenta la importancia histórica y cultural del patrimonio vitivinícola de esta localidad –Aranda de Duero-, algo que puede comprobarse atendiendo simplemente a las dimensiones de las naves y túneles que componen las bodegas estudiadas, estimados para el almacenamiento de la cosecha en 1584 en una longitud que pudo superar los siete kilómetros (Iglesia, 2003).

Debido a la amplitud de las bodegas y a su importancia como reflejo subterráneo del plano urbano de la villa, los objetivos iniciales consistieron, en la realización de trabajos de digitalización mediante escaneado de los túneles, inventario gráfico y planimetría del conjunto. Pero además se realizó la innovadora creación de unas rutas panorámicas geoposicionadas por los diversos interiores y exteriores. También se llevaron a cabo contenidos de realidad aumentada y se implementó todo lo anterior en aplicaciones multiplataforma de alto impacto en la valorización del Patrimonio.

3.2. **Ingeniería inversa**

La Ingeniería Inversa fue escogida como método de investigación principal en el caso específico de las bodegas arandinas. Se trata de un método consistente en revertir el proceso habitual con que se ha venido trabajando en la ingeniería. Es decir, que en vez de partir de teorías y datos técnicos para llegar hasta la elaboración de un producto, se parte directamente de un producto ya elaborado para profundizar en su estudio técnico y teórico con el fin de entender de qué está hecho, qué lo hace funcionar y cómo está fabricado, pero sumando a todo ello, además, la posibilidad de recrearlo, modificarlo y mejorarlo.

El término de “Ingeniería Inversa” fue acuñado por el Ministerio de Industria y Tecnología japonés tras considerar que la copia masiva de tecnología, asimilada

y mejorada posteriormente por las empresas, constituía una interesante estrategia de crecimiento. Como dejó comentado Julián Pavón (2006), este método se ha convertido en una estrategia alternativa de innovación tecnológica. Dentro de las acciones propuestas por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) podemos citar la Ingeniería Inversa como una medida de apoyo en la primera fase de generación de ideas a la hora de elaborar un diseño.

La Ingeniería Inversa constituye la tecnología más adecuada para el desarrollo del estudio pormenorizado de un bien de interés cultural como era el caso de las bodegas subterráneas de la localidad de Aranda de Duero. El objetivo fundamental consistía en determinar sus características, formas y funciones, para poder reproducirlas e incluso mejorarlas. Partiendo del objeto real, las bodegas subterráneas, y mediante técnicas de digitalización, se obtuvo una reproducción de las mismas. Esta recogida de datos hizo posible recrearlas mediante un vídeo panorámico que sirvió a su vez para su promoción turística, ya que nos permitía experimentar un recorrido virtual por las mismas. Y todo ello, con el valor añadido de que, en caso de deterioro o pérdida de parte del patrimonio bodeguero de Aranda, el citado vídeo posibilitaría su rehabilitación fidedigna, gracias a que para su realización había sido necesario obtener tanto los datos geoposicionados de cada lugar como las características de sus texturas y colores originales.

Basándose en la digitalización y escaneado de los lugares, que generaron una serie de rutas panorámicas geoposicionadas 360-180° tanto de interior como de exterior, -y que permitieron recrear un paseo virtual por las bodegas-, se estaba favoreciendo al mismo tiempo la tarea del inventariado de las bodegas, tan útil y necesario a la hora de estudiar y catalogar el conjunto como bien histórico. Y finalmente, como beneficio añadido, toda la información obtenida se implementaría en aplicaciones multiplataforma que resultarían de alto impacto en la valorización del Patrimonio.

La técnica empleada para obtener el volumen de un objeto a través de la fotografía no es nueva. Entre 1860 y 1868, François Willème investigó la manera de crear una escultura a partir de la unión de varias fotografías realizadas a un objeto –o sujeto– desde distintos puntos de vista (Fig. 1a). El experimento fue realizado en París y a esta técnica se la denominó Fotoescultura, palabra que planteó en su tiempo un gran debate al ponerse en duda que las obras resultantes pudieran ser o no ser consideradas como arte. El dilema quedó resuelto dejándolas finalmente definidas como “arte industrial” (Azcúe y Fernández, 2014, p. 110). El invento fue patentado en 1860 en el Departamento de Comercio de París (Fig. 1b). Para llevar a cabo esta técnica se necesitaba una habitación circular de unos diez metros de diámetro, iluminada desde el techo, con pequeñas ventanas en las paredes, una cada 15° y una base en el centro donde se colocaba el modelo. Sobre la parte superior del modelo, colgaba una bola de metal que servía de referencia para el enfoque. A continuación se disparaban simultáneamente veinticuatro fotografías. Los perfiles obtenidos se proyectaban en un cuarto oscuro mediante la linterna mágica, sobre una pantalla transparente de papel donde se dibujaban los veinticuatro perfiles para posteriormente, mediante un pantógrafo, traspasar el resultado a un bloque de arcilla o madera.

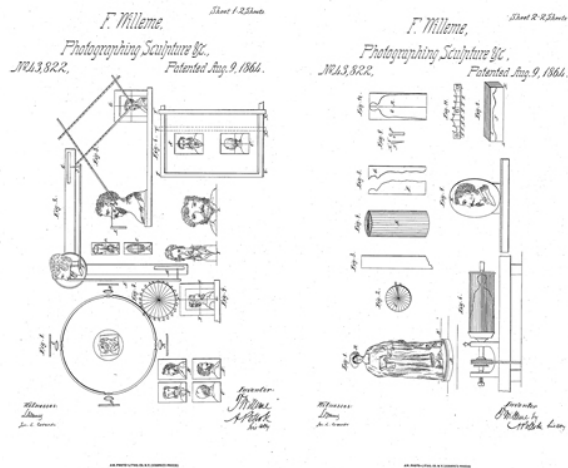


Figura 1a. Toma de fotoescultura al almirante Farragut. Disponible en: http://www.luminous-lint.com/z01/slideshow/_photosculpture_description_01/F/D/ [2015, 14 de diciembre].

Figura 1b. Patente americana de Willème. 9 de agosto de 1864. Disponible en: <http://www.google.com/patents/US43822> y en Newhall, 1958. [2015, 15 de enero].

En el siglo XIX, mediante la técnica de la fotoescultura, inventada por Willème, se buscaba, entre otras cosas, la posibilidad de obtener una copia fiel de los personajes retratados, para de esta manera poder dejar su huella y recuerdo a través de las esculturas que se realizaban a posteriori. Podemos considerar esta tecnología descubierta en el siglo XIX como el antecedente de la ingeniería inversa, especialmente por las similitudes que comparte con tecnologías que se manejan hoy en día, como son el escaneo 3D, la fotogrametría y el prototipado rápido (Walters y Thikell, 2007). Actualmente, gracias a las nuevas tecnologías de digitalización podemos realizar un catálogo virtual del patrimonio cultural para su difusión y conservación. Existen en el mercado diversos programas informáticos que, una vez tomadas todas las fotografías necesarias, son capaces de reestructurar el objeto en tres dimensiones para su posterior utilización. A través del escaneado y fotogrametría obtendremos la forma tridimensional de los espacios, de las bodegas en este caso particular, consiguiendo todo tipo de detalles de las zonas estudiadas. A continuación se pueden reproducir mediante impresión 3D o incluso crear vídeos promocionales o turísticos para su visita virtual, como ya se ha explicado.

4. Tecnología empleada

Detallamos a continuación las técnicas empleadas durante el estudio de las bodegas de Aranda de Duero y los fines que se persiguieron con cada una de ellas.

4.1. Escáner láser

Se trata de un método de ingeniería moderna destinado a capturar rápidamente las formas de distintos objetos, edificios o paisajes –en este caso las bodegas-, que funciona por la dirección controlada de rayos láser y de una medición subsiguiente de la distancia en cada una de las direcciones en las que se apuntó.

Conviene advertir que, en caso de georreferenciar los escaneados, también resultará necesario disponer de un equipo de escáner láser terrestre con equipo GPS.

El escáner láser se aplica tanto a los exteriores de los espacios (monumentos y edificios) como a los interiores, consiguiendo una documentación de carácter técnico consistente en la obtención de una planimetría, datos físicos y geométricos, e infografías 2D y 3D de alta calidad. Posteriormente, a través de los vídeos realizados, también se podrán mostrar tridimensionalmente itinerarios virtuales.

La digitalización tridimensional es una técnica basada en el registro de superficies reales con el fin de obtener un modelo volumétrico virtual. Normalmente para digitalizar un objeto y obtener una buena calidad se necesita hacer diversas exploraciones para asegurarnos de que se completa toda la superficie. En el caso de querer escanear una escultura deberemos hacerlo por partes, la cara anterior, la posterior, la parte de arriba y también las de aquellas zonas que son comunes a varias de ellas. Pero estas exploraciones son independientes y será en el ordenador donde se montarán posteriormente, mediante software, siempre y cuando existan puntos de referencia comunes a todas las tomas o zonas de solape. Para ello se suelen emplear esferas y/o dianas como puntos de referencia porque su geometría es identificable desde cualquier posición (Fig. 2).



Figura 2. Preparación de puntos de escaneo y de referencia (esferas blancas).
Fotografía del autor.

En el proceso llevado a cabo en las bodegas de Aranda de Duero se empleó un escáner de diferencia de fase FARO Focus 3D S120 que infiere o deduce de la diferencia de fase entre el haz emitido y el haz recibido la cantidad de longitudes de ondas enteras que ha recorrido y, por tanto, la distancia entre el equipo y el objeto a explorar.

La toma de datos debía llevarse a cabo teniendo siempre al menos tres puntos de referencia comunes para poder enlazar tomas consecutivas. Siempre que se trabaje en un lugar cerrado es recomendable situar las esferas o dianas de manera que, en la consecución de tomas, siempre haya tres de ellas en común.

El ensamblaje se realizó posteriormente mediante un programa informático encargado de gestionar las nubes de puntos y que iba identificando los distintos puntos de unión, aprovechando en primer lugar las esferas de control o los targets (dianas) añadidos a la escena. Si, por una mala planificación en la toma de datos, alguna escena careciera de las tres restricciones necesarias para situar cualquier nube de puntos, se buscarían referencias naturales a través de la coincidencia de planos, puntos de esquina, o salientes en la geometría de la superficie.

En todo momento y en cada punto se registraron la gama cromática y las texturas, para poder reproducirlas posteriormente. Todo este proceso generó un fichero con toda la información que nos permitió su posterior gestión en distintas aplicaciones (infografías 2D y 3D y vídeos de itinerarios virtuales.)

4.2. Fotografía panorámica

Definiremos la fotografía panorámica o panorámica equirectangular como aquella que tiene una relación de aspecto igual o mayor que la percibida por el ser humano y que normalmente tiene una proporción de 2:1. Pero para cubrir un espacio mayor es recomendable tener en cuenta lo que rodea a la posición de disparo de la cámara, es decir 360° en el eje horizontal y 180° en el eje vertical.

Su obtención se basa en la realización de series de fotos con distintos ángulos desde un único nodal, por medio de una cámara montada en un soporte motorizado que de forma programática cubre la totalidad de la esfera en los dos ejes anteriormente mencionados con un solape de fotos entre un 20% y un 25% de su superficie de exposición. Además se necesita un software que, mediante cosido o *stitching*, una, mediante solape, las distintas imágenes que conforman la escena. En el caso que nos ocupa, durante el proceso llevado a cabo en las bodegas arandinas, la mayor dificultad residió en el ajuste de la exposición de la cámara de fotos, debido a las bajas condiciones de luminosidad que contrastaban con los focos de luz situados en el interior de los túneles. También fue necesario evitar la presencia humana, o de cualquier movimiento, durante la toma de fotografías. Cualquier aparición inesperada, ya fuera de personas o de animales, obligaba a repetir el proceso, por lo que se trató siempre de realizar las tareas en las horas con menor posibilidad de sorpresas (Fig. 3).

Las características y complejidad de este conjunto patrimonial, consecuencia de la propia estructura de las bodegas, y el hecho de que la mayoría tengan una titularidad y uso privado, dificultan en gran medida el acceso y conocimiento generalizado de este conjunto. (Anexo BOE N° 175/ jueves 23 de julio de 2015. Sec. III. Pág. 62237).



Figura 3. Toma de fotografías de la fachada de la Iglesia de Santa María y vista con *Oculus*. Fotografías del autor.

Las cámaras fotográficas permitieron obtener detalles de interiores y exteriores a modo de una colección de fotografías clásicas, además de los panoramas geoposicionados 360-180 de alta resolución que permitirían generar los itinerarios panorámicos para los navegadores de internet existentes.

4.3. Fotogrametría

La fotogrametría es una técnica que permite la restitución tridimensional a partir de fotografías, tanto de la geometría en cuanto a forma y dimensiones como a su textura o aspecto material. La cantidad de fotos necesarias depende de su buena ejecución. El objetivo consiste en conseguir restituir el total del espacio fotografiado gracias al total de las fotografías obtenidas.

Existen diversos programas que procesan las imágenes tomadas y las alinean para recomponer el objeto fotografiado en tres dimensiones (3D).

Una vez que la geometría ha sido editada se puede texturizar y de esta manera conseguir ortofotos. La ortofotografía es una técnica ampliamente empleada en la cartografía, la fotogrametría, el urbanismo y la arqueología, entre otras ciencias. Presenta la ventaja de reflejar una misma escala en todos los elementos fotografiados, eliminando la posibilidad de errores o deformaciones y posibilitando la obtención de mediciones exactas.

El proceso seguido por el programa que se utilizó para la fotogrametría de las bodegas, funciona en tres etapas. Empezando por el cargado de las fotografías, siguiendo con el alineamiento de las imágenes mediante la búsqueda de puntos

comunes, y terminando con la construcción geométrica, consistente en un mallado poligonal 3D mediante la estimación de las distintas posiciones de la cámara y las propias imágenes. Una vez editada, la geometría puede texturizarse y usarse para la generación de ortofotos. Finalmente se pueden exportar los datos a distintos tipos de formatos dependiendo del fin último que se les quiera dar, como por ejemplo, para su uso como realidad aumentada, para localización precisa de detalles, para poner en marcha un proceso de ingeniería inversa, etc. (Fig. 4).

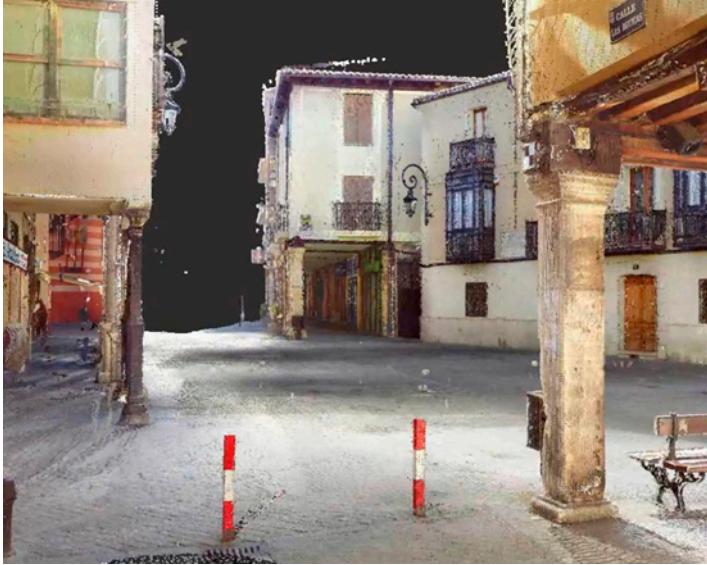


Figura 4. Vista de la plaza Trigo. Fotografía del autor.

4.4. Vídeo y vídeo panorámico

La creación de un vídeo constituye un objetivo fundamental dentro de todo el proceso, ya que, además de servir para posibilitar la localización del objeto referenciado en el espacio, funcionará a su vez como un importante recurso para el fomento y promoción del Patrimonio Cultural. Si nos centramos en aspectos relacionados con el turismo, el vídeo resulta realmente interesante por su capacidad de recrear itinerarios que simulen un recorrido real, lo que permitiría visualizar el patrimonio filmado en cualquier momento y desde cualquier lugar.

El procedimiento para generar un vídeo panorámico es similar al de la realización de la fotografía panorámica. En este caso la captura de imágenes se consigue mediante seis cámaras montadas sobre un soporte con configuración de cubo lo que permite que las imágenes se solapen. Para que los puntos de inicio de la grabación coincidan, las cámaras deben estar sincronizadas. Como resultado final se generará un vídeo que es una proyección cilíndrica de las distintas fuentes de vídeo colocadas en un espacio esférico.

4.5. Planimetría. Plano de planta. Infografías 2D

A pesar de frecuentes irregularidades de los espacios que presentaban las bodegas arandinas, gracias a la digitalización pudimos obtener planos de planta muy precisos del lugar objeto de estudio. Con una herramienta informática, inicialmente diseñada para la generación de modelos digitales topográficos, se realizaron las secciones que servirían de base para los contornos del espacio. Posteriormente se importó a programas vectoriales de CAD para la ejecución de los planos que correspondiesen y a partir de ahí se pudo superponer ese perfil con una imagen fotográfica del lugar, que previamente habíamos editado. Las fotografías nos aportaron la textura de los materiales.

Mediante este procedimiento pudimos producir las infografías 2D o planos texturizados que nos dieron una visión global de las dimensiones y posiciones de los elementos estudiados con respecto a la posición real (Fig. 5).

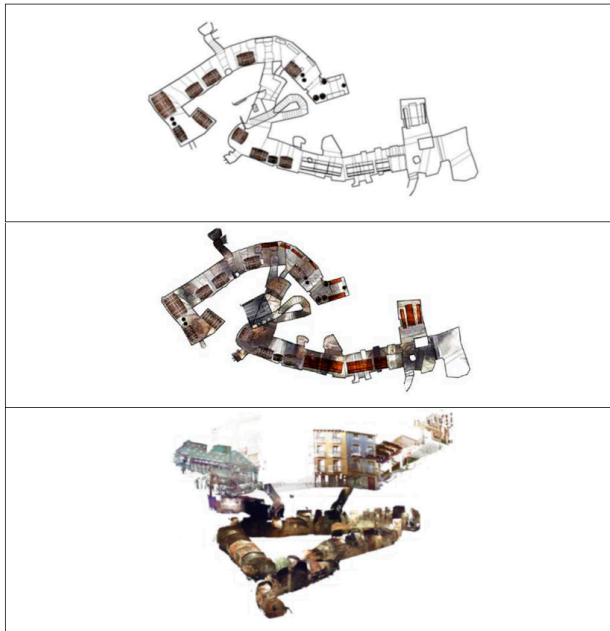


Figura 5. Contornos extraídos del programa informático, imagen superpuesta e infografía 3D de alta calidad. Fotografía del autor.

5. Resultados complementarios

Entre los resultados más importantes que se obtuvieron a lo largo de todo el proceso, cabe citar los siguientes: el desarrollo de una base de datos relacional que optimiza la gestión de datos -por cada bodega se realizaron fichas donde se precisó su ubicación y se describieron y enumeraron los elementos que la componen y sus características peculiares con infografías en 2D y 3D (Fig. 6); una aplicación en modo web que permite la presentación multiplataforma; la generación de infografías 2D y 3D de

alta resolución; los vídeos de alto impacto; un sistema de proyección 360 sobre un “cave”; la creación de un entorno de realidad virtual de inmersión; y una aplicación de realidad aumentada.

Además de las fichas realizadas de cada bodega se crearon vídeos de rutas panorámicas desde el exterior al interior de las bodegas así como de los recorridos íntegros de las bodegas.

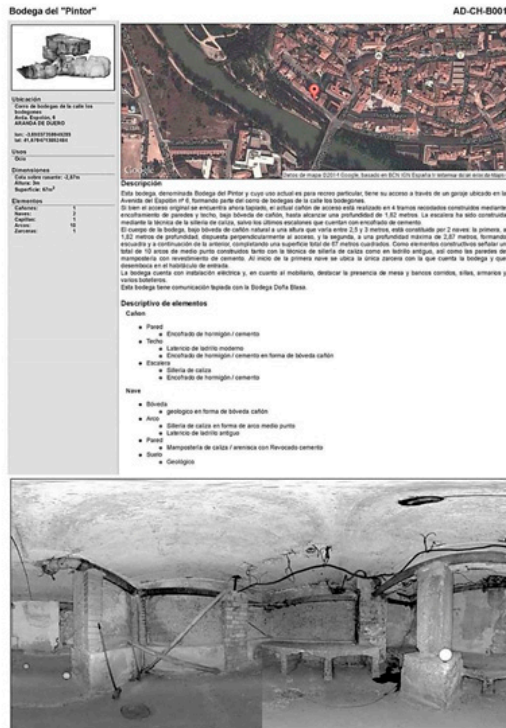


Figura 6. Ficha y panorama de la Bodega “del Pintor”. Imágenes del autor.

6. Conclusiones

Sumados a toda la documentación recogida desde el siglo XVI, los trabajos llevados a cabo sobre las bodegas de Aranda de Duero –de los que hemos estado hablando-, desembocaron en la conclusión de que dichas bodegas resultan inequívocamente merecedoras de una atención especial por sus características, por su amplitud y por el legado histórico que suponen, recalcando la necesidad de organizar una buena gestión de las mismas, su protección y conservación y la posibilidad de considerarlas como un recurso turístico encargado de la transmisión cultural del patrimonio español.

La culminación de los trabajos y estudios realizados sobre las Bodegas de Aranda de Duero obtuvo como conclusión la Resolución de 15 de mayo de 2013, por la que la Dirección General de Patrimonio Cultural decidió abrir el expediente para su declaración como Bien de Interés Cultural con la categoría de Conjunto Etnológico

(BOCyL Núm. 110, 11 de junio de 2013). Posteriormente, según acuerdo 40/2015 de 25 de junio, la Junta de Castilla y León, declaró las Bodegas de Aranda de Duero (Burgos) como Bien de Interés Cultural con categoría de Conjunto Etnológico.

Toda la documentación obtenida del trabajo de investigación mediante ingeniería inversa fue imprescindible para su declaración como Bien de Interés Cultural. Nos referimos a la documentación planimétrica, incluyendo tanto al conjunto de infraestructuras y elementos auxiliares que conforman las bodegas, como la red de galerías del subsuelo y los accesos y dependencias relacionados.

El origen medieval de las bodegas redundó en la importancia –según fundamentó la incoación de BIC-, de seguir conservando y transmitiendo tan rico y valioso legado: “las bodegas de Aranda de Duero constituyen un patrimonio singular, representativo de un pasado y de unas formas de vida digno de ser conservado y transmitido a generaciones futuras”.(Anexo BOE N° 175/ jueves 23 de julio de 2015. Sec. III. Pág. 62237)

Nos debemos referir también al vídeo promocional de la villa en el que pueden contemplarse parte de los resultados elaborados durante el estudio de las bodegas a que nos hemos estado refiriendo, así como varios enlaces a fotografías virtuales de cada una de las diecisiete bodegas visitables en la actualidad.

Presentado como documento científico, el trabajo de digitalización de las bodegas ayudó a que fueran declaradas como Bien de Interés Cultural (BIC). De hecho, resultó fundamental en el expediente conformado para la consecución de su declaración como Bien de Interés Cultural (BIC).

Para finalizar, podría añadirse como conclusión complementaria que las tecnologías de que actualmente disponemos constituyen una herramienta prácticamente imprescindible para el estudio, conservación y difusión del patrimonio histórico cultural, siendo totalmente recomendable su empleo y fomento en la práctica de numerosas disciplinas, como la arqueología, el inventariado de bienes, o la promoción turística, entre otras.

De forma generalizada, el estudio de los objetos mediante las técnicas aquí expuestas nos permite conocimiento profundo de los mismos y la posibilidad de introducir mejoras o variaciones.

La metodología de estudio aquí presentada es novedosa al proponer la ingeniería inversa como técnica que no solo da a conocer el patrimonio histórico, artístico y cultural, si no que fomenta también la conservación de su incalculable riqueza. La ingeniería inversa es, a su vez, una excelente herramienta para la innovación y una estrategia de enseñanza para adquirir las competencias de diseño e innovación requeridas en la formación de ingenieros (Wanamaker, 2012).

7. Referencias bibliográficas

Acuerdo 40/2015, de 25 de junio, de la Junta de Castilla y León, por el que se declaran las Bodegas de Aranda de Duero (Burgos), bien de interés cultural con categoría de conjunto etnológico (2015).

Arroyave-Londoño, J. F., Romero-Piedrahita, C. A. & Montilla-Montaña, C. A. (2012). Ingeniería inversa de un reductor de tornillo sinfin - corona. *Scientia Et Technica*, XVII(52) 204-210. Recuperado de:
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84925149023> [2015, 8 de octubre]

- Azcue, L. y Fernández, M. (2014). La Photosculpture. Su desarrollo en la España de Isabel II (1860-1868). *Academia- Boletín Real Academia de Bellas Artes de San Fernando*, 116.
- Blaya Haro, F. (2014). *Estudio integral del conjunto de bodegas históricas de la localidad de Aranda de Duero*. Madrid: URJC (Tesis inédita).
- Gauthier, T. (1864). *Photosculpture*. París: Imprimerie administrative de Paul Dupont.
- Harris, E. C. (1991). *Principios de estratigrafía arqueológica*. Barcelona: Crítica, S.A.
- Iglesia, J. (2003). Importancia del vino en el desarrollo económico de villa y tierra de Aranda (s. XVI): estudio de las bodegas. *Biblioteca: Estudio e investigación*, 18, 75-116.
- Newhall, B. (1958). Photosculpture. The reconstruction of Willème's ingenious technique. *Image. Journal of photography and motion pictures of the George Eastman House*, 7 (5), 100-105
- Pavón, J. (2006). De la Ley de Innovación a la Ley de la Ciencia: Historia del camino inverso, *20 años de la ley de la ciencia 1986-2006*, 46. <http://www.madrimasd.org/revista/revistaespecial1/articulos/pavon.asp> [2015, 3 de noviembre]
- Pérez, H. (2013). *Fotografía y arquitectura en España, 1839-1886*. Madrid: UCM Tesis doctoral recogido en <http://eprints.ucm.es/23135/1/T34814.pdf> [2015, 3 de diciembre]
- Resolución de 15 de mayo de 2013. BOCyL Núm. 110, 11 de junio de 2013 (2013)
- Sobieszek, R.A.(1980). Sculpture as the Sum of Its Profiles: François Willème and Photosculpture in France, 1859-1868. *The Art Bulletin*, 62 (4), 617-630
- Walters, P. y Thirkell, P. (2007). New technologies for 3D realization in Art and Design practice. *Artifact*, 1 (4). pp. 232-245.
- Wanamaker, T., & Miller, C. (2012). Implementing reverse Engineering Methodology into First Year Engineering Curricula from a Student Perspective. 66th EDGED mid-Year Conference Proceedings (pág. 133). Galveston, Texas: Purdue University.