

ACTAS de las II JORNADAS de Museos y Colecciones Museográficas Permanentes de la Comunidad Valenciana

NUEVAS TECNOLOGÍAS APLICADAS A LA GESTIÓN TURÍSTICA DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO

3-4 de marzo de 2017 · l'Alfàs del Pi (Alicante)

Carolina Frías Castillejo y
José Antonio López Mira (eds)



ORGANIZAN

Conselleria d'Educació, Investigació, Cultura i Esport -
Dirección General de Cultura y Patrimonio
Agència Valenciana de Turisme
Ayuntamiento de l'Alfàs del Pi (Alicante)

COLABORA

Universidad de Alicante

COORDINACIÓN

Carolina Frías Castillejo y José Antonio López Mira

COMITÉ CIENTÍFICO

Carolina Frías Castillejo (Ayuntamiento de l'Alfàs del Pi)
José Antonio López Mira (Dirección General de Cultura)
Jaime Molina Vidal (Universidad de Alicante)
Javier Muñoz Ojeda (Universidad de Alicante)

ACTAS

Edición: Ayuntamiento de l'Alfàs del Pi
Diseño y maquetación: Andrés Díaz de Miguel
Impresión: Gráficas Cervantes (Alicante)

ISBN: 978-84-697-7374-1
Depósito legal: A-398-2017

ACTAS

II JORNADAS de Museos y Colecciones Museográficas Permanentes de la Comunidad Valenciana

NUEVAS TECNOLOGÍAS APLICADAS A LA GESTIÓN TURÍSTICA DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO

3-4 de marzo de 2017 · l'Alfàs del Pi (Alicante)

ÍNDICE DE PONENCIAS Y COMUNICACIONES

PONENCIA INAUGURAL

- Virtualizar un yacimiento para interpretar el pasado. La guía interactiva de realidad aumentada del Museo al Aire Libre Villa Romana de l'Albir, Javier Esclapés Jover, Carolina Frías Castillejo y Jaime Molina Vidal 14

VIRTUALIZACIÓN DEL PATRIMONIO

PONENCIAS

- Patrimonio Virtual: aplicación práctica del uso de nuevas tecnologías a la documentación y puesta en valor del patrimonio, Javier Esclapés Jover, Daniel Tejerina Antón, Laia Fabregat Bolufer, Jaime Molina Vidal, Francisco Javier Muñoz Ojeda 28
- Nuevas tecnologías al servicio de la difusión y socialización del arte rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica, Juan Francisco Ruiz López 38
- La fotogrametría como herramienta para la documentación arqueológica: el formato tridimensional y su capacidad para la comunicación arqueológica, Marco Aurelio Esquembre Bebia y José Ramón Ortega Pérez 54
- Fotogrametría de restos arqueológicos subacuáticos. El modelo del Pecio Bou Ferrer, José Antonio Moya Montoya y Francisco Javier Muñoz Ojeda 70

COMUNICACIONES

- Detección, registro y análisis de yacimientos mediante el uso de drones: las alquerías islámicas de Albacete, José Luis Simón García, Ignacio Segura Martínez y Fernando Simón Oliver 82
- El empleo de las nuevas tecnologías como herramienta multidisciplinar en el Museo Paleontológico de Elche, Ainara Aberasturi Rodríguez, Ignacio Fierro Bandera, Daniel Vidal y José Manuel Marín Ferrer 91
- Recursos virtuales para mostrar el patrimonio arqueológico y monumental de Petrer (Alicante), Fernando F. Tintero Fernández y Eloi Poveda Hernández 98
- Demostradores Tecnológicos en el Museo de la Telecomunicación Vicente Miralles Segarra, Carmen Bachiller Martín 106

ÍNDICE DE PONENCIAS Y COMUNICACIONES

APPS, NUEVAS TECNOLOGÍAS Y GESTIÓN TURÍSTICA

PONENCIAS

Patrimonio y redes sociales: una alternativa para la divulgación, Mario Agudo Villanueva	112
Accesibilidad al patrimonio en las nuevas tecnologías, Paula Doncel Recas	120
Tecnologies geoespaciales aplicades a l'arqueologia del paisatge, Ignasi Grau Mira	128
Nuevas tecnologías aplicadas a la gestión turística del patrimonio, Rosario Navalón García	140

COMUNICACIONES

Turisteando por nuestra ciudad, esa gran desconocida. "La llave de Elda", entre el patrimonio y la educación, Ana María Esteve López	155
Hacer accesible el patrimonio inmaterial. El proyecto del Museu Oral d'Agost, Jesús Peidro Blanes y Antonia López Abril	165
Itinerarios autoguiados: "memoria de arena", Francisco Javier Parrés Moreno	175

FOTOGRAMETRÍA DE RESTOS ARQUEOLÓGICOS SUBACUÁTICOS. EL MODELO DEL PECIO BOU FERRER

José Antonio Moya Montoya¹
Francisco Javier Muñoz Ojeda²

1. Departamento de Comunicación y Psicología Social (Universidad de Alicante)
ja.moya@ua.es

2. Instituto Universitario de Investigación en Arqueología y Patrimonio (Universidad de Alicante)
fjm.ojeda@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La fotografía es una herramienta bien implantada en la documentación del Patrimonio Cultural Subacuático (PCS), se utiliza con diferentes técnicas y se orienta a tres grandes objetivos: el científico, el documental y el divulgativo. Cada uno de ellos cumple diferentes misiones en la excavación arqueológica subacuática que se pueden resumir de la siguiente forma:

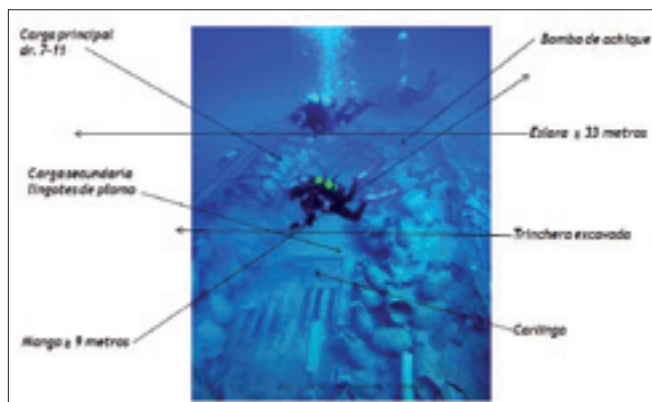
- Fotografía científica: completa la investigación, son imágenes pero se considera un conjunto de datos, ayuda a dar respuesta a las preguntas de investigación y se extiende al trabajo de laboratorio.
- Fotografía documental: completa el diario con más información y documenta la memoria de la intervención, registra datos sobre el color, la forma y la ubicación de los materiales, registra la proporción y la orientación -para lo que incluye una escala gráfica, una flecha de orientación Norte y una carta de color normalizada- muestra el detalle y lo general, los procesos y las etapas de la intervención.
- Fotografía divulgativa: narra el proceso, lo ilustra y lo hace comprensible; destaca el momento, evoca y provoca, invita a pensar y traslada belleza a un público no específico.

La fotogrametría digital participa en estas tres grandes áreas si la metodología es ágil y los equipos asequibles. La evolución de las cámaras digitales ha propiciado un abaratamiento significativo de los equipos y una importante reducción de su tamaño, junto a un aumento de la calidad y la optimización de los formatos de archivo. En este contexto digital, la fotogrametría aplicada al PCS es una técnica reciente que busca agilizar y mejorar el trabajo de documentación del arqueólogo. Actualmente se está generalizando su aplicación en los yacimientos, se aspira a

la sustitución de la planimetría convencional por otro modelo que aporte la misma o mejor información pero de forma más rápida y precisa. La comunicación de los resultados de la investigación empieza a ser una exigencia de la sociedad y la fotogrametría permite extender la documentación científica a otros usos como la divulgación. Para Tejerina (2016) "se está produciendo un cambio de paradigma en la metodología del trabajo de campo que ahora busca una documentación integral de la mano de técnicas que por primera vez nos permiten obtener todo este volumen de información haciendo posible obtener un cuadro completo de toda la escena que tenemos alrededor o de objetos completos en tres dimensiones". La fotogrametría tiene la capacidad de presentar los datos de forma clara, inequívoca y estéticamente agradable.

Para Burke, Smith y Domingo (BURKE-SMITH-DOMINGO, 2007:128) "lo más importante para documentar con precisión un yacimiento es asegurarse de que la localización de cada indicio se puede vincular con el resto, de tal forma que no queden medidas en el aire, reduciendo al mínimo cualquier fuente de error". En esta línea, Caballero (CABALLERO, 2006:75) afirma que "lo que realmente importa como arqueólogos no son los objetos en sí, sino la relación que existe entre ellos (...) excavar es ante todo documentar las relaciones que existen entre contextos". Estas posiciones metodológicas están formuladas para la arqueología en tierra pero son necesariamente extrapolables a la documentación del PCS. Incluso cuando se trata de documentar la excavación de un pecio, considerado como un conjunto único, de un momento exacto, existe una estratigrafía interna que bien documentada puede aportar un valor sustancial. No debería existir diferencia, por tanto, entre la metodología usada en tierra y la usada bajo el agua.

Figura 1.
Fases de la excavación del
Bou-Ferrer en la campaña 2016



La fotogrametría tiene como objeto la obtención de un modelo tridimensional creado a partir de múltiples fotografías tomadas desde diferentes puntos de vista. Las imágenes se procesan con un software específico capaz de detectar puntos comunes que aparecen en varias imágenes, a partir de estos puntos, el programa calcula sus posiciones relativas y los posiciona en un sistema de coordenadas de tres ejes (figura 1).

El yacimiento arqueológico Bou Ferrer es el pecio de un mercante romano de época altoimperial para el que las investigaciones recientes sugieren una eslora superior a los treinta metros. Transportaba una carga principal de ánforas de tipología Dressel 7-11, con cuatro variantes morfológicas, y un cargamento secundario de lingotes de plomo, estibados sobre la línea de crujía, a ambos lados de la quilla. Está localizado frente a la ciudad de La Vila Joiosa, sobre un lecho marino fangoso a 24,5 metros de profundidad, sin presencia de *Posidonia oceanica*, en un ambiente de aguas turbias.

Desde su descubrimiento, en el año 1999, se han realizado diferentes campañas de excavación, todas ellas promovidas por la Generalitat Valenciana. En las intervenciones de los años 2014 y 2015 se realizó un registro tridimensional fotogramétrico para la obtención de modelos 3D y ortofotos de precisión métrica como complemento de las planimetrías y trabajos de documentación. Gracias a la experiencia adquirida y los resultados obtenidos, la planimetría de la campaña 2016 se realizó íntegramente con técnicas de fotogrametría, documentando tres fases de la excavación (figura 2).

Ante cualquier proyecto de restitución fotogramétrica subacuática es necesaria una primera evaluación del yacimiento y de las condiciones físicas reales. Para el caso del pecio Bou Ferrer se dan las siguientes circunstancias: está localizado sobre un fondo a 24,5 metros de profundidad pero la parte inferior del yacimiento supera los 27 metros de profundidad; las aguas son generalmente turbias y la morfología del yacimiento, en su estado



Figura 2.
Calculadoras online TrianCal y
Geogebra

actual, es muy compleja, con importantes desniveles y grandes huecos, que dificultan una captura de imágenes que cubra todos los espacios. La mayoría de autores coincide en señalar que la fase de captura en fotogrametría supone un 70% en el flujo de trabajo completo, frente a un 30% del resto del proceso. En el portal de Internet *Historic England*, especializado en patrimonio cultural, sus autores afirman que “en fotogrametría, la calidad de los resultados depende casi totalmente de la calidad de la captura. La mala fotografía conducirá inevitablemente a resultados inexactos”. Estas recomendaciones se refieren siempre a trabajos de campo realizados en tierra; en el medio subacuático las dificultades obligan a estimar este porcentaje por encima del 90%, teniendo en cuenta la necesidad de planificación, la alta probabilidad de tener que realizar réplicas y los fuertes condicionantes del medio marino. Todas estas circunstancias se acentúan en el caso del pecio Bou Ferrer por las condiciones de su entorno natural.

2. ESTRATEGIA DE CAPTURA

La planificación es imprescindible si se buscan objetivos enfocados a resultados y es necesario optimizar el tiempo bajo el agua para la obtención de unos datos fiables y de calidad. Como hemos citado, es necesario registrar la forma, la textura, las dimensiones y el color, para que se preserve el trabajo de documentación y ofrezca garantías en su estudio posterior.

La realización de una cobertura improvisada registra información insuficiente que repercute en un procesado con errores en el modelo. Autores como Neumann (NEUMANN, 2009), P. Stoermer y Q. Abdullah (STOERMER-ABDULLAH, 2014) han desarrollado métodos para el cálculo del número necesario de fotografías en coberturas fotogramétricas aéreas³, con datos

de la altura de vuelo y distancia focal del objetivo⁴. El ámbito submarino tiene ciertas similitudes con el aéreo ya que las coberturas son, en realidad, vuelos sobre el fondo, y requieren un tipo de cálculo similar al de la fotogrametría aérea, aunque simplificado. En el yacimiento Bou Ferrer hemos utilizado un modelo de Moya (MOYA, 2017:99) modificado y adaptado sobre la base de las recomendaciones de estos autores. Se ha planificado para el registro de la superficie de la trinchera de excavación iniciada en el año 2015, y crear el modelo 3D y las ortofotografías de ese sector. Se trata de un rectángulo perpendicular a la crujía del navío que lo corta a la altura de la carlinga. Las medidas del rectángulo son 6 metros de ancho por 17 metros de largo. A este rectángulo le añadimos 1 metro por cada lado para asegurar el registro de los márgenes, con lo que la superficie a documentar ocupaba una extensión total de 152m².

Es necesario conocer la profundidad del fondo sobre el que está posado el pecio y la profundidad máxima en el interior del sector de excavación para determinar la geometría del yacimiento. En nuestro caso, como ya se ha citado, la profundidad del fondo es de 24,5 metros y la del interior del sector excavado supera ligeramente los 27 metros. Es decir, existe un desnivel interior (eje Z) de 2,5 metros (figura 3).



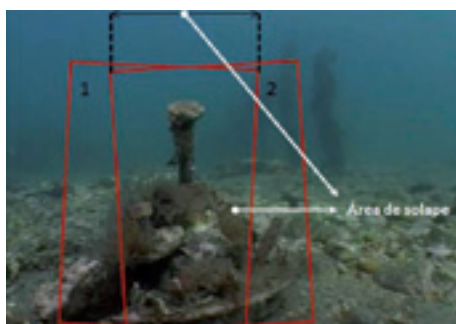
Figura 3.
Vector de
cobertura por
toma fotográfica

3. https://dronemapper.com/uas_photogrammetry_processing

4. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202560249-TOOLS-GSD-Calculator#gsc.tab=0>

El paso siguiente fue decidir el equipo fotográfico que utilizaría para realizar el trabajo, cuál es el tamaño del sensor que incorpora y qué objetivo se va a usar, con los datos de la distancia focal expresados en milímetros. A este cálculo se ha añadido el factor de corrección que produce el índice de refracción del agua de mar que es de 1,33. Para el trabajo que aquí se presenta, el equipo fotográfico incorporaba una lente equivalente en formato completo de 15 mm de DF.

Figura 4.
Representación
gráfica del
concepto de
solape



El paso siguiente fue estimar la porción de superficie del yacimiento que debía cubrir el equipo con el que vamos se pensaba realizar el trabajo en cada toma fotográfica. Conocido el ángulo de visión del objetivo, usamos este dato para resolver el segmento de superficie que cubrirá para una altura dada. La altura se decide en

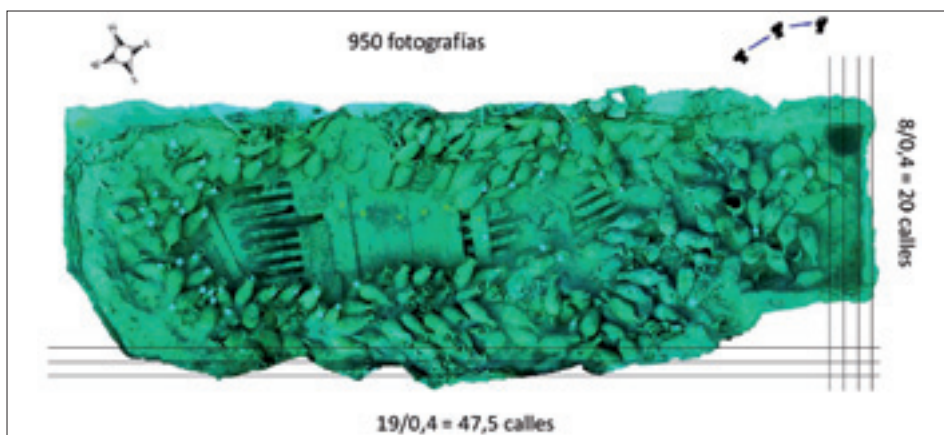
función de la visibilidad del agua, de ahí la importancia de este proceso. El ángulo de visión horizontal de nuestro objetivo bajo el agua es de 84° y un ángulo de visión vertical de 62° .

Se estableció una visibilidad media en el yacimiento de 2 metros, esta distancia será la altura (h) del triángulo formado por el ángulo de visión. Con estos dos datos ya es posible, por trigonometría, despejar el valor de los lados del triángulo teórico que se forma entre el fondo y el sensor de la cámara. Este cálculo se realiza de forma sencilla con la ayuda de alguna de las calculadoras online como *TrianCal*⁵ que nos da como resultado una medida para el lado mayor de 3,6 metros. Una vez realizado el cálculo lo exportamos a una aplicación como *Geogebra*, desde la misma calculadora, para que nos dibuje el triángulo ya resuelto (figura 4).

El resultado es un vector horizontal de 3,6 metros, esta es la longitud que cubrirá cada fotografía que tomemos a una distancia de dos metros del fondo (figura 5).

El proceso se repite para calcular el ángulo vertical y obtener la medida del lado menor del rectángulo (2,4 metros) que se exporta a *Geogebra* para que dibuje el triángulo resuelto, como en el ejemplo anterior.

Figura 5.
Planificación del
número de tomas
para el sector de
excavación



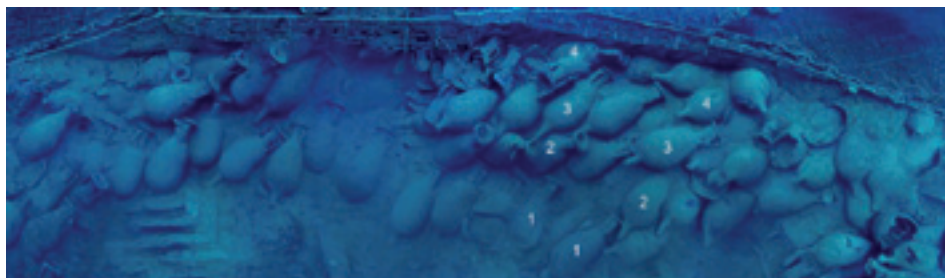


Figura 6.
Alzado
fotogramétrico de
la excavación 2016

El concepto ratio base/altura indica que, para hacer las coberturas fotográficas, debemos tener en cuenta una relación establecida entre la distancia de la cámara hasta el objeto y la distancia que debe desplazarse la cámara para realizar cada fotografía. Se trata de seguir una pauta para generar los ángulos y las distancias necesarias entre tomas fotográficas que permitan obtener una información válida a partir de la cual el software de fotogrametría podrá realizar los cálculos. El desplazamiento entre diferentes tomas fotográficas está relacionado con la distancia entre la cámara y el objeto a documentar y está establecido que este desplazamiento debe situarse entre un 10% y un 20% de la distancia entre la cámara y el objeto.

Sobre cuál debe ser el área de solape hay diferentes opiniones. En fotogrametría aérea se utiliza un valor del 60%, en tierra se intenta trabajar con el mayor solape posible sin alcanzar valores tan altos, son varios los autores que recomiendan un solape del 30%. En cualquier caso, hay que tener presente que con mayores solapes se obtienen, siempre, mejores resultados porque se dispone de más puntos coincidentes, lo que se traduce en una nube de puntos de mayor resolución y un modelo final de más calidad. El concepto de solape se ilustra en la figura 6.

Para el yacimiento Bou Ferrer se estableció un solape del 50% con el fin de asegurar las coberturas en todas las condiciones de visibilidad. El paso siguiente fue planificar un trazado que permitiese obtener las imágenes suficientes para levantar el modelo, la siguiente tabla resume todos los datos con los que se realizó

la planificación de las coberturas.

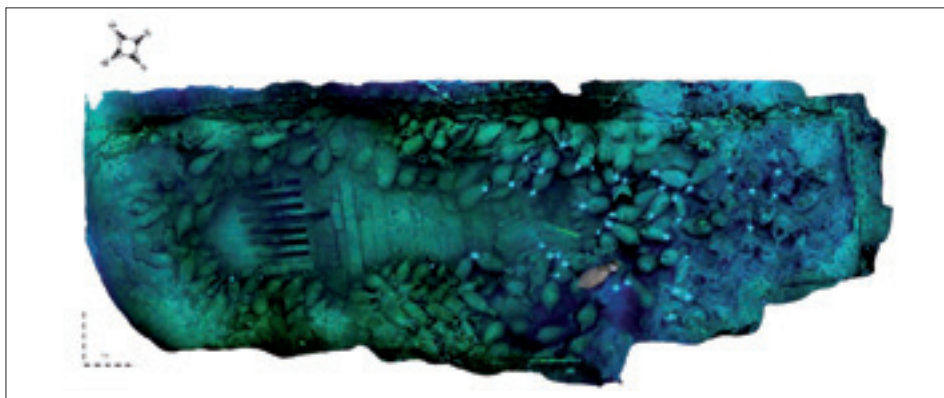
Para la documentación de objetos de bulto redondo se suelen realizar las coberturas fotográficas describiendo círculos alrededor de la pieza pero en la documentación de un yacimiento en extensión es más apropiado realizar las tomas fotográficas en recorridos rectilíneos por calles, de forma similar a como se hace en fotogrametría aérea, porque permite un mejor control tanto de la planificación como de las posiciones de cámara.

Para nuestro caso, si respetamos una ratio base/altura del 20%, y se fotografía a 2 metros de distancia del fondo, será necesario desplazarse, en cada toma fotográfica, unos 40 centímetros en ambos sentidos, a lo largo y a lo ancho de la zona.

El cálculo del número de fotografías necesarias para documentar el sector de excavación se obtiene dividiendo las dos distancias que corresponden al largo por el ancho del rectángulo (19x8m.) entre 40cm. que da como resultado una cuadrícula de 47,5 calles de largo por 20 calles de ancho. El número de tomas necesario para cubrir la zona excavada es de 940 fotografías (figura 7).

Aunque Agisoft Photoscan es un software muy potente en la identificación de puntos comunes entre imágenes, el medio acuático, como ya hemos visto, homogeniza el ambiente: la luz es muy difusa y el color tiende a la monocromía azul a partir de cierta profundidad. Esto se traduce en un aumento de la dificultad para que la aplicación sincronice imágenes identificando colores, texturas y formas idénticas.

Figura 7.
Reposicionado
digital del
ánfora 707 en el
yacimiento



Por ese motivo, el uso de los *targets* o dianas únicas, que genera puntos de control reconocibles por el software, es muy recomendable para ganar fiabilidad en la documentación del PCS.

Las dianas son generadas por el mismo programa y están codificadas con un número y una forma únicos que no deben repetirse en la documentación de un mismo yacimiento, o al menos de un mismo sector claramente diferenciado del resto. Se pueden imprimir en varios tamaños, en nuestro caso se han utilizado dos tamaños, 5x5 cm. y 8x8 cm. Las primeras son útiles para documentar espacios pequeños o materiales, y las segundas funcionan muy bien para el marcado general del yacimiento.

Las dianas impresas en papel blanco, se

recortaron y plastificaron dejando un margen amplio de plástico sobre el papel para que suelde bien y no entre el agua por efecto de la presión. En los márgenes del plástico se realizaron varios taladros para pasar las bridas de plástico con las que se fijan las dianas sobre los elementos del fondo. Se colocaron una serie de dianas fijas en el yacimiento, manteniendo cierta uniformidad y anclándolas sobre materiales que no serían extraídos.

En determinados sectores de interés, la documentación debe proporcionar el mayor número de datos posible. Se suele tratar de zonas de especial relevancia que en nuestro caso corresponden a la estiba de una serie de lingotes de plomo a ambos lados de la quilla, el primer nivel de ánforas sobre la bodega o un colchón de abarrote de sarmientos de vid bien conservado.

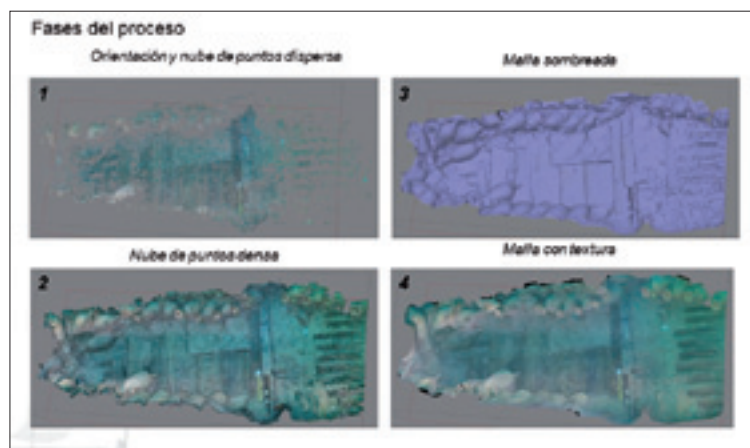


Figura 8.
Fases del
procesado en
fotogrametría con el
software PhotoScan
de Agisoft

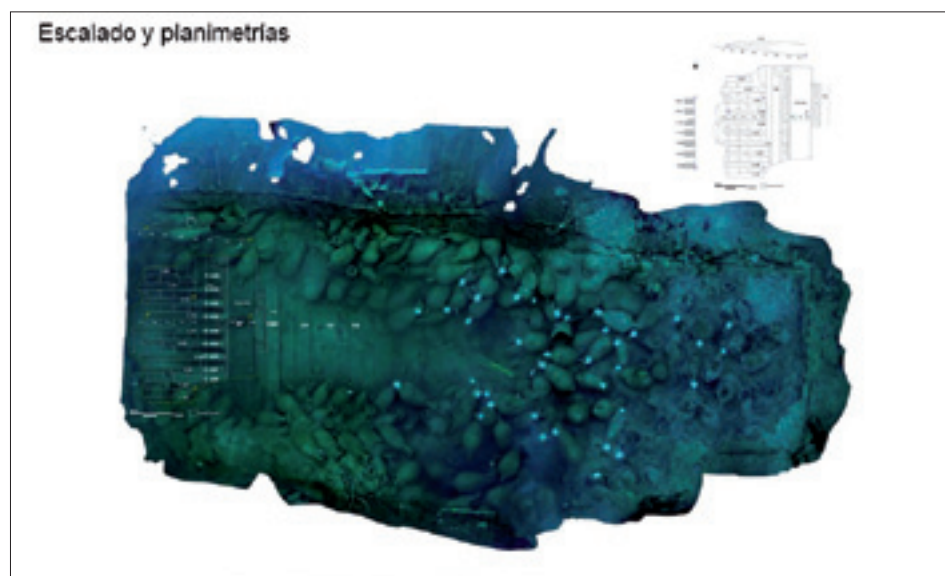


Figura 9.
Introducción
de medidas y
escalado de
ortoimagen

En estos casos se intensificó la captura tomando las fotografías en cruz, con cuatro disparos por cada posición, orientando la cámara a ambos lados, hacia el frente y hacia atrás, siguiendo los consejos de Wackrow y Chandler (WACKROW-CHANDLER, 2011), para quienes “las imágenes oblicuas (horizontal y vertical) y convergentes minimizará los errores sistemáticos causados por la distorsión de la lente”.

La realización de un alzado por fotogrametría ha sido un complemento muy sencillo de ejecutar (figura 8). Se trata de un perfil realizado en la 1ª campaña 2016 para el que solo se necesitaron unos minutos de inmersión, fue realizada por una sola persona, con una cámara GoPro H4. El modelo fotogramétrico se generó con 26 fotografías para confirmar la existencia de, al menos, cuatro pisos de ánforas conservadas en la bodega del navío.

La adopción de la fotogrametría como base de la documentación se extendió a todas las ánforas extraídas del yacimiento con el fin de obtener un modelo tridimensional de cada una de ellas y su correspondiente dibujo arqueológico, métricamente correcto. Con el uso de este sistema la fotogrametría general mejora

porque aumenta el número de dianas de referencia. Durante el procesado, la aplicación detecta las dianas en su ubicación exacta dentro del modelo. Como cada diana está asociada a un número, y este número a un objeto, podremos saber en cualquier momento el lugar exacto que ocupaba, originalmente, dentro del yacimiento.

Cuando las piezas se extrajeron del yacimiento, se fotografiaron individualmente para crear su modelo digital, siempre conservando su diana/etiqueta en la misma posición. Los objetos digitalizados conforman la colección 3D del yacimiento.

Cuando se realizaron las fotografías de cada objeto se aprovecharon las condiciones de control de que se disponía (figura 9) para obtener una documentación completa. Además del modelo, se tomó y archivó también una fotografía con escala, con carta de color y en formato RAW, aunque toda la cobertura fue realizada en formato JPG.

De esta forma está siendo posible analizar, individualmente, los rasgos formales de cada pieza y compararlos con las demás. Cada modelo tridimensional puede reubicarse en su posición original dentro

del yacimiento y relacionarlo con el conjunto (figura 10).

3. PROCESADO DE FOTOGRAFÍAS PARA LA CONFECCIÓN DEL MODELO FOTOGRAMÉTRICO

Previamente al procesado de las imágenes para obtener el modelo fotogramétrico debemos valorar el tamaño de los lotes fotográficos a procesar, evaluando tanto los recursos de nuestro equipo como las posibilidades de alineación ante un lote con gran cantidad de fotografías. Puesto que el software utilizado, como se ha indicado, es Agisoft PhotoScan, tomaremos como referencia la propia tabla de rendimiento y consumo de recursos que nos proporciona la marca⁶.

Aunque inicialmente los lotes fotográficos a procesar no solían exceder de las 100 fotografías, conforme el yacimiento se ha ido ampliando en las sucesivas campañas, el número de imágenes necesarias para obtener ortoimágenes también ha crecido. De este modo, los lotes de imágenes en la última campaña podían superar fácilmente las 500 imágenes, elevando por tanto las exigencias de nuestro equipo en cada uno

de los pasos que a continuación describiremos.

En primer lugar se realiza un procesado a una calidad baja o media, algo que permitirá, con el equipo que contamos en campaña, poder verificar que las imágenes tomadas durante la cobertura son suficientes para obtener un modelo óptimo. Este paso es determinante para notificárselo al equipo responsable de la captura por si fuese necesario repetir la cobertura, total o parcialmente, en función del resultado preliminar obtenido.

Superada esta primera fase, iniciaremos el procesado definitivo, que nos permitirá generar la ortoimagen que servirá a los arqueólogos como base del trabajo de registro y documentación. Teniendo en cuenta la red de dianas dispersa en el yacimiento, cuya importancia y uso ya hemos comentado con anterioridad, el primer paso consiste en la detección de estos puntos por el software. Al tratarse de *targets* codificados por PhotoScan, éste dispone de una función de detección automática, donde el propio software posiciona un marcador con el número específico de cada una de las dianas. Esta información será fundamental como

Figura 10.
Fases del
procesado en
fotogrametría
de un ánfora
procedente del
pecio Bou-Ferrer
con PhotoScan de
Agisoft



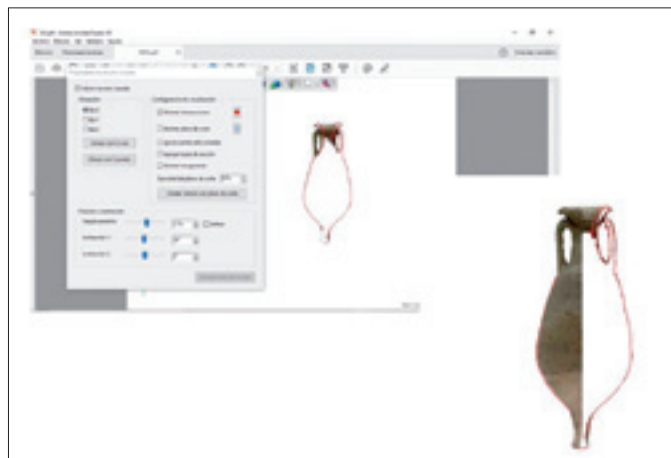


Figura 11.
Visualización del modelo 3D
y su sección en PDF 3D

apoyo a la alineación de las imágenes y la creación de la nube de puntos densa, base para ir creando, en sucesivos pasos, el modelo tridimensional. De esta forma, el software, en el caso de no encontrar suficiente información estereopar entre las imágenes aportadas recurrirá a las propias dianas como puntos válidos en la alineación de imágenes.

Una vez detectada la red de *targets* se inicia el proceso de alineación (figura 11), que dará lugar a una primera nube de puntos, que servirá de base para la posterior creación de una nube de puntos densa y los mapas de profundidad. Durante esta primera fase, además, obtendremos una ubicación del punto de captura para cada una de las fotografías, algo que resulta de gran ayuda a la hora de visualizar la propia estrategia de captura. En el caso de localizar zonas donde la cantidad de puntos obtenidos no es del todo suficiente, la posición de las cámaras nos ayuda a comprobar en posteriores capturas donde incrementar el número de fotografías, o como orientar la propia captura. Es también en este momento cuando introducimos los valores métricos que proporcionan una escala al modelo fotogramétrico. Para ello nos valemos de la red de dianas ya detectadas durante la primera fase de trabajo, puesto que conocemos la distancia entre puntos proporcionamos al software medidas parciales entre cada una de las

dianas, algo que acaba proporcionando una escala global al espacio de trabajo.

El segundo paso consiste en la obtención de una nube de puntos densa (figura 11), que servirá de base para la creación de una malla. Aunque existen otras aplicaciones capaces de gestionar las nubes de puntos y continuar con el proceso, tal vez con mayor eficacia, en nuestro caso se ha trabajado todo el flujo con el mismo programa. Esta decisión se basaba esencialmente en ofrecer al resto del equipo participante un flujo basado en la sencillez a la vez que en la eficacia. Dábamos así la posibilidad a que cualquier integrante del equipo pudiese completar todo el proceso hasta obtener la ortoimagen desde un mismo software siguiendo unos sencillos pasos.

Finalizado el proceso de creación de malla, se aplica la textura sobre la superficie para obtener un modelo con aspecto fotorrealista, y que permitirá la creación de una ortoimagen. Esta imagen, que nos ofrece una visión cenital del yacimiento, está libre de toda aberración óptica y tiene la misma validez que un plano cartográfico. Tras generar la ortoimagen, esta se imprime y plastifica para proporcionársela al equipo que trabaja bajo el agua, que la utilizan a modo de planta de estrato o como base para las anotaciones necesarias para proseguir con los trabajos de excavación.

Tras generar la imagen, se exporta a un software de diseño vectorial, en nuestro caso AutoCAD de Autodesk. En este tipo de software podemos realizar el dibujo vectorizando todo aquello que se crea especialmente reseñable para llevar a cabo la documentación del nivel documentado: recuento de individuos anfóricos, carpintería naval, etc.

En las últimas campañas hemos incorporado, además, el flujo de fotogrametría descrito con anterioridad a la documentación de piezas. De este modo, hemos iniciado la creación del modelo fotogramétrico de cada una de las ánforas extraídas del yacimiento arqueológico con el doble objetivo de poseer un modelo tridimensional de cada una y su dibujo arqueológico tradicional para completar su estudio tipológico.

Debido al gran número de piezas ya extraídas ideamos un sistema que agilizase en la medida de lo posible la captura de cada una de las ánforas. Para ello, nos ayudamos de un soporte que nos permitiese colocar el ánfora de forma vertical, con su pivote en la parte inferior y el borde en la superior. Tras la captura del objeto en esta posición, realizando hasta tres anillos que asegurasen la total cobertura de la pieza se procedió a realizar

una segunda toma, en esta ocasión invirtiendo la posición del ánfora. Esta segunda captura ayuda enormemente a documentar elementos como borde, asas y pivote, que en la posición anterior quedaban parcialmente ocultos. Para finalizar la fase de captura se tomaban medidas parciales del objeto, indicando como referencia elementos naturales fácilmente identificables.

Tras la creación del modelo correspondiente se identifican los puntos de referencia que nos han servido para coger las medidas parciales, y a cada uno se le otorgó un punto o vector dentro de la nube de puntos. El software utilizado permite en este punto establecer medidas parciales entre puntos, proporcionando así un escalado automático al modelo, escala que se mantiene tras su exportación al formato PDF 3D, desde el cual podemos hacer todas las consultas necesarias e incluso capturar una sección perfecta de la pieza. Este proceso nos ha permitido obtener tanto el modelo 3D de las piezas así como su dibujo tradicional para una detallada clasificación. Toda esta información es procesada y almacenada en la base de datos correspondiente para una futura consulta y estudio detallado de los objetos hallados durante la excavación del pecio Bou-Ferrer.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMAGRO, A., 2000: "Fotogrametría para arquitectos. El estado de la cuestión", *Actas del VIII Congreso de Expresión Gráfica Arquitectónica*, EGA 2000, Barcelona.
- BALLETTI, C., BELTRAME, C., COSTA, E., GUERRA, F. y VERNIER, P., 2015: "Underwater photogrammetry and 3D reconstruction of marble cargos shipwreck", en *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W5*, 2015 *Underwater 3D Recording and Modeling*, (16–17 April 2015, Piano di Sorrento, Italy), pp. 7-13
- BURKE, H., SMITH, C., y DOMINGO, I., 2007: *Manual de campo del arqueólogo*, Barcelona.
- CABALLERO, L., 2006: "El dibujo arqueológico. Notas sobre el registro gráfico en arqueología", *Papeles del Patal: Revista de restauración monumental*, 3, pp. 75-95.
- CHARQUERO, A., 2016: "Práctica y usos de la fotogrametría digital en arqueología", *DAMA Documentos de Arqueología y Patrimonio Histórico*, Universidad de Alicante.
- CIBECCHINI, F., BERNARD, H., BONAIUTI, R. y DRAP, P., 2006: "Il relitto mediorepubblicano di Cala Rossa", *Archaeologia Marittima Mediterranea: an international journal on underwater archaeology*, Pisa.
- CONTE, G. et alii, 2008: *Underwater Vehicle Technology in the VENUS project in Proceedings of the Unmanned Underwater Vehicle Showcase*, Southampton.
- DRAP, P., 2012: *Underwater Photogrammetry for Archaeology, Special Applications of Photogrammetry*, <<http://www.intechopen.com/books/special-applications-of-photogrammetry/underwater-photogrammetry-forarchaeology>>
- KAPOTAS, L. C., 2009: *Fotogrammetria subacquea in archeologia*, Padua.
- KARRAS, G. E. y MAVROMMATI, D., 2002: "Simple calibration techniques for non-metric cameras", *XVIII International Symposium of CIPA (Postdam, September 18-21, 2001)*, Berlín.
- LINDER, W., 2003: *Digital Photogrammetry*, Berlín
- LLORET, T., 1999: "Arqueología virtual, arqueología audiovisual: una nueva propuesta en la difusión del conocimiento arqueológico", *Revista de Arqueología*, año XX nº 213, pp. 12-20
- LÓPEZ, S., 2015: La infografía 3D como sistema de documentación y divulgación, <https://www.academia.edu/1361731/La_infograf%C3%ADa_3D_como_sistema_de_documentaci%C3%B3n_y_divulgaci%C3%B3n>
- MARTÍNEZ, J., 2014: Colección de tutoriales sobre Photoscan de Agisoft <https://www.youtube.com/playlist?list=PL_cDdjQPbX1GXV4AC3Y3dYVwTPh4kxnx>
- MCCARTHY, J., 2014: *Multi-image photogrammetry as a practical tool for cultural heritage survey and community engagement*, Wessex.
- MENNA, F., NOCERINO, E., DEL PIZZO, S., BRUNO, F. y REMONDINO, F., 2015: *Underwater 3D Recording and Modeling*, Piano di Sorrento.
- MIÑANO, A., FERNÁNDEZ, F. y CASABÁN, J.L., 2012: "Métodos de documentación arqueológica aplicados en arqueología subacuática: el modelo fotogramétrico y el fotomosaico del pecio fenicio Mazarrón-2 (Puerto de Mazarrón, Murcia)", *Saguntum*, (PLAV) 44, pp. 99-109.
- MOYA, J. A., 2017: *Fotografía y fotogrametría subacuática aplicadas al patrimonio cultural sumergido*, Alicante.
- ORTIZ, M. J. y MOYA, J. A., 2015: "The "action cam" phenomenon: a new trend in audiovisual production", *Communication & Society*, 28-3, pp. 51-64.
- SANTOS, C., 2014: *Aplicación arquitectónica de la fotogrametría digital para levantamiento gráfico y fotogramétrico de fachadas en palacete Prytz*, Trabajo Fin de Grado de la Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante.
- SEINTURIER J., 2007: *Fusion de connaissances: Applications aux relevés photogrammetriques de fouilles archeologiques sous-marines*, Tesis Doctoral, Université du Sud Toulon Var, Francia.
- WACKROW, R. y CHANDLER, J.H., 2011: "Minimising systematic error surfaces in digital elevation models using oblique convergent imagery", *The Photogrammetric Record*, 26 (133), pp. 16-31.
- Photogrammetric Applications for Cultural Heritage, <<https://historicengland.org.uk/>>

