

ANA I. MIÑANO DOMÍNGUEZ, FRANCISCO FERNÁNDEZ MATALLANA, JOSÉ LUIS CASABÁN BANACLOCHA

MÉTODOS DE DOCUMENTACIÓN ARQUEOLÓGICA APLICADOS EN ARQUEOLOGÍA SUBACUÁTICA: EL MODELO FOTOGRAMÉTRICO Y EL FOTOMOSAICO DEL PECIO FENICIO MAZARRÓN-2 (PUERTO DE MAZARRÓN, MURCIA)

En 2007 el Museo Nacional de Arqueología Subacuática (ARQVA) retomó el proyecto arqueológico en el pecio fenicio Mazarrón-2 (Puerto de Mazarrón, Murcia, España). Los objetivos del proyecto eran comprobar el estado de conservación de los restos de casco del barco así como la estructura metálica que protege el yacimiento. Además, los datos arqueológicos disponibles sobre el pecio se actualizaron con el objetivo de crear un nuevo archivo digital del yacimiento. Se creó un modelo fotogramétrico a escala 3D del interior del casco del barco utilizando el programa Photomodeler. Además, se realizó un fotomosaico de alta resolución del barco ya que no se había hecho anteriormente. Este artículo expone los métodos empleados en la realización tanto del modelo fotogramétrico como del fotomosaico. Finalmente, se ofrece una evaluación de los usos de estas técnicas de documentación en pecios.

Palabras clave: subacuático, fotogrametría, modelo 3D, Photomodeler, fotomosaico, casco, Mazarrón-2.

MAPPING METHODS APPLIED TO UNDERWATER ARCHAEOLOGY: THE PHOTOGRAMMETRIC MODEL AND THE PHOTOMOSAIC OF THE PHOENICIAN SHIPWRECK MAZARRÓN-2 (PUERTO DE MAZARRÓN, MURCIA)

In 2007, ARQVA (National Museum of Underwater Archaeology) carried out an archaeological project at the Phoenician shipwreck Mazarrón-2 (Port of Mazarrón, Murcia, Spain). The aims of the project were to check the state of preservation of the hull remains of the ship as well as the metal structure that protects the site. Moreover, the available archaeological data on the shipwreck were updated for the purpose of creating a new digital archive of the site. A real scale photogrammetrical 3D model of the interior of the hull of the ship was created using the program Photomodeler. In addition, a high-resolution photomosaic of the ship was produced since this had not been done before. This article describes the methods employed in the realization of both the photogrammetrical model and the photomosaic. Finally, an evaluation is offered of the applications of these techniques for recording archaeological hull remains.

Key words: underwater, photogrammetry, 3D model, Photomodeler, photomosaic, hull remains, Mazarrón-2.

El yacimiento de Playa de la Isla se encuentra en la localidad murciana del Puerto de Mazarrón, limitado por la playa del mismo nombre al N, la playa del Gachero al E, la isla de Adentro al S y el Cabezo de la Rella al O. La batimetría del área muestra una profundidad máxima de 7 m, en unos fondos afectados por las corrientes dominantes que han depositado grandes cantidades de arena en forma de lengua en la zona media de la Bahía, con

dirección SO-NE. Geográficamente, el lugar del hallazgo se encuentra enmarcado por una línea de islotes (El Castellar, Nares, Los Gavilanes y La Cebada) que, junto a la isla de Adentro, forman una barrera frente a la línea de costa que permiten el resguardo de los temporales que soplan del SE (jaloque) y SO (lebeche). Este conjunto de factores le confiere unas condiciones óptimas para su utilización como fondeadero (Roldán *et al.* 1994) (fig. 1).



Fig. 1. Localización del yacimiento y vista general de playa de la Isla.

Sin embargo, la característica más destacada de esta zona es la intermitente sucesión de restos de ocupación humana correspondientes a los períodos fenicio, púnico y romano, como lo demuestran los yacimientos del Cabezo del Castellar, Ensenada de Nares, Cabezo del Gavilán y Playa la Isla.

El descubrimiento, en los años previos al hallazgo de este barco, en el entorno litoral y prelitoral de Mazarrón, de numerosos yacimientos del Bronce Final Reciente con evidentes horizontes orientalizantes, y la existencia de materiales fenicios fechables al menos en los ss. VII y VI a. C., encuadraban toda esta zona en un entorno marcado por los contactos entre poblaciones indígenas y elementos fenicios (Correa 2001-2002).

La temprana ocupación del litoral en esta zona ya desde la primera mitad de II milenio por parte de comunidades de cultura argárica y el interés de éstas por la explotación de los recursos pesqueros, lo demuestra el yacimiento de Punta de los Gavilanes, muy próximo al yacimiento de Playa de la Isla, que presenta cuatro grandes momentos de ocupación, desde el II milenio a.C. hasta mediados del s. I a.C. (García *et al.* 2008: 111). Además de la relación entre el fondeadero y los yacimientos costeros próximos a él, los hallazgos documentados en el yacimiento de Playa de la Isla (Mazarrón), en su mayoría de clara ascendencia fenicia, sugieren relacionarlo con los documentados en uno de los pecios del Bajo de la Campana, también de cronología fenicia, lo cual pone de manifiesto la frecuente utilización de la ruta de estas costas.

Por este motivo, desde 1988 el Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas (MNAM-CNIAS) de Cartagena, se planteó la necesidad de llevar a cabo una serie de actuaciones con la intención de documentar la presencia de dichos elementos colonizantes en el medio subacuático (Roldán *et al.* 1994). A partir de ahí, se fueron acometiendo diferentes campañas, localizándose en julio de 1989, una estructura de madera perteneciente a los restos de una embarcación (Cabrera *et al.* 1992 y 1997; Barba *et al.* 1999), pecio conocido como Mazarrón-1 o B-1.

A partir de 1993, el MNAM-CNIAS inició los trabajos de investigación arqueológica sistemática en la zona de la Playa de la Isla, dentro del Proyecto “Nave Fenicia” (Arellano *et al.* 1999: 220-222). Durante los trabajos de prospección desarrollados en 1994 se localizó una segunda embarcación: el pecio fenicio Mazarrón-2 o B-2. Tras realizar un pequeño sondeo de 2 x 2 m en el centro del pecio y determinar, mediante análisis de C14, una cronología comprendida entre los ss. VII y VI a.C., se decidió cerrar la excavación protegiendo todo el hallazgo con un gran túmulo de arena, piedras y una malla metálica, con el fin de acometer su excavación con posterioridad, cuando se pudiera garantizar la protección y conservación de los restos recién hallados (Negueruela *et al.* 2000 b: 1673-1674). De esta forma, en 1998, se iniciaron los trabajos de excavación del pecio, que concluyeron en el año 2000 (Negueruela *et al.* 2000 a y Negueruela *et al.* 2004 a), dejando la

embarcación soterrada y protegida por una caja de seguridad metálica, conocida como “caja fuerte” (Negueruela 2000 b: 111-116), mientras que todo el cargamento, ya extraído, era sometido a un proceso de desalación y conservación propio de los materiales de procedencia subacuática.

Así pues, se trata de los escasos ejemplos de barcos inmersos en los circuitos comerciales fenicios conservados en toda la cuenca mediterránea (Guerrero 2008: 57), y uno de ellos, el Mazarrón-2, se encuentra prácticamente completo, manteniendo la forma y posición originales, el cargamento en su interior y el ancla con su estacha (Negueruela 2003: 170-171).

EL BARCO FENICIO MAZARRÓN-2¹

El barco Mazarrón-2 se encuentra prácticamente completo desde la roda al codaste y está íntegramente construido en madera, sin resto alguno de metal. Realizado con la técnica de construcción conocida como “a casco previo”, con tracas a tope, unidas mediante mortajas y lengüetas, cuya posición se fijaba con clavijas de madera. Por otro lado, las cuadernas se encontraban atadas al casco. Finalmente, las maderas del casco se protegían mediante una capa de resina. Las dimensiones del pecio documentadas durante los trabajos desarrollados entre 1998 y 2000 fueron de 8,15 m de eslora y 2,20 m de manga, con un puntal mínimo de 0,90 m² (fig. 2).

En el momento de su excavación, el pecio aún conservaba cinco baos y las huellas de dos más. En el centro de la quilla, la carlinga del mástil, era una prueba irrefutable de que el barco se propulsaba a vela. En la parte central del barco, en el costado de estribor se había conservado hasta la tapa de regala, rematada suavemente en curva hacia el exterior.

El cargamento³ ocupaba prácticamente la totalidad de la embarcación, excepto la parte central, y estaba formado en exclusividad por lingotes de plomo de perfil plano-convexo, depositados sobre un potente lecho de abarrote utilizado para la estiba y protección de la madera del casco⁴. La parte central de la embarcación estaba ocupada con algunos pertrechos de la tripulación, donde destacamos la presencia de un ánfora tipo T-10.1.2.1 (Ramón 1995: 230-231, fig. 109), la muela y maja de un molino de mano barquiforme realizado en granito gris, una espuerta de esparto con el asa de madera, varios fragmentos de huesos de ovicápridos y lagomorfos y numerosa cabuquería de distintos grosores realizada con esparto (VV.AA. 2008: 124-129, 140-143).

Tras la finalización de la excavación en el 2000 y cubrición de la embarcación con la denominada “caja fuerte”, se realizaron, de forma puntual, comprobaciones del estado de integridad del túmulo. Sin embargo, no se había acometido ninguna actuación destinada a comprobar la efectividad de la estructura de protección, ni se había destapado la misma para comprobar el estado de conservación del barco propiamente dicho.

A partir de ahí surgió la necesidad de realizar una actuación arqueológica con varios objetivos, entre los que destacamos aquí la comprobación del estado de conservación del barco fenicio Mazarrón-2, así como la estructura de protección conocida como “caja fuerte”; verificar las condiciones de conservación de la madera del barco y comprobar la posible afección de alguna de las variaciones sufridas en los últimos años (la extracción del cargamento metálico, la composición del agua y la arena en que está enterrado o la posible corrosión de la cubierta de protección del pecio); asimismo, aprovechando la realización del proyecto museológico o museográfico de la nueva sede del Museo Nacional de Arqueología Subacuática de Cartagena (ARQVA), se propuso la actualización



Fig. 2. Barco Mazarrón-2 completamente excavado, visto desde la proa.

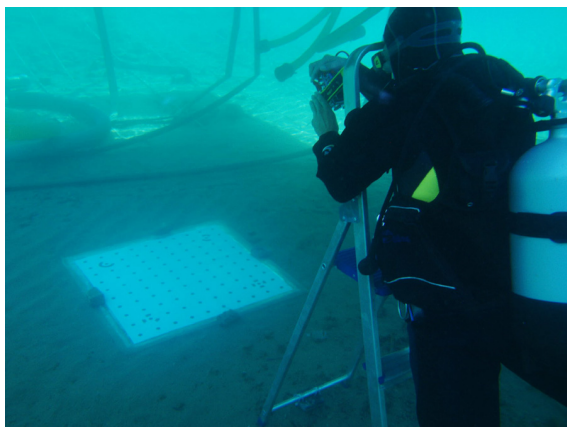


Fig. 3. Proceso de calibración.

de la documentación gráfica del barco con tecnologías de última generación: generar un nuevo archivo gráfico, fotográfico y planimétrico digital que permita hacer una restitución digital 3D del barco fenicio y una réplica escala 1:1 del mismo para la nueva exposición.

Con estos antecedentes, en 2007 el Museo Nacional de Arqueología Marítima y Centro Nacional de Arqueología Submarina se planteó la necesidad de volver a realizar una actuación en el barco fenicio Mazarrón-2, conservado *in situ* bajo la estructura de protección denominada “caja fuerte”. Los trabajos se realizaron entre los meses de octubre de 2007 y marzo de 2008, bajo la dirección de los arqueólogos subacuáticos Ana I. Miñano Domínguez, Francisco Fernández Matallana, Rocío Castillo Belinchón y M. Ángeles Pérez Bonet.

EL MODELO FOTOGRAMÉTRICO Y EL FOTOMOSAICO DEL PECIO FENICIO MAZARRÓN-2

Dentro de la intervención general de control del estado de los restos arqueológicos del pecio localizados *in situ* y de su infraestructura de protección, se planteó la obtención de información gráfica complementaria a la existente de la campaña de excavación del Mazarrón-2 realizada entre noviembre de 1999 y marzo de 2000, utilizando para ello distintas técnicas complementarias, centrandó el presente trabajo en la fotogrametría y el fotomosaico⁵. Asimismo, durante la intervención se procedió a la actualización de la documentación arqueológica de la arquitectura naval del pecio. Para ello se utilizaron las nuevas técnicas y procesos digitales

disponibles con la intención de generar el máximo de información posible, creando un nuevo archivo gráfico, fotográfico y planimétrico de los restos del pecio en formato digital.

Durante esta campaña, y de forma simultánea, se llevaron a cabo trabajos de excavación arqueológica, se realizó el dibujo ortogonal del casco, la cobertura fotográfica y videográfica, en formato digital de toda la intervención, así como de los detalles constructivos de la embarcación.

Dentro de los métodos de documentación utilizados, se procedió a la realización de un modelo fotogramétrico del interior del casco del pecio. El modelo fue realizado por el arqueólogo subacuático José Luis Casabán, técnico contratado para realizar estos trabajos por la empresa Archeonauta S.L.

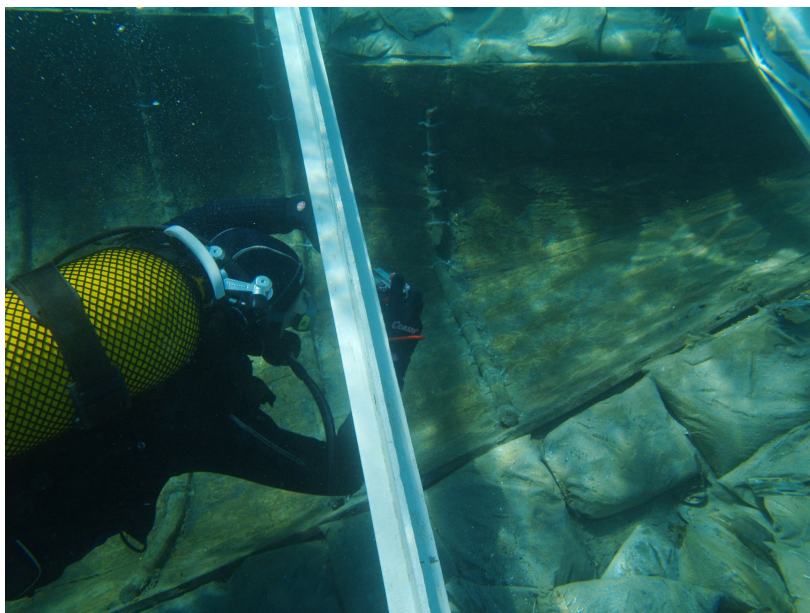
La finalidad de la elaboración del modelo fotogramétrico del interior del casco del pecio era obtener un modelo tridimensional del mismo, a escala 1:1 y en el que estuvieran representados los detalles constructivos del pecio que resultaban visibles. De la misma forma, se pretendía evaluar la eficacia del programa Photomodeler aplicado a documentación *in situ* de la arquitectura naval de un pecio.

LA FOTOGRAMETRÍA SUBACUÁTICA Y EL PROGRAMA PHOTOMODELER

El programa Photomodeler (www.photomodeler.com) ha sido utilizado en diversos proyectos de arqueología subacuática para la elaboración de modelos 3D mediante el uso de fotogrametría (Canciani *et al.* 2002; Drap *et al.* 2002; Green *et al.* 2002; Drap *et al.* 2005; Drap *et al.* 2007; Demesticha 2011: 53-56). La principal ventaja de este sistema de documentación radica en que el método fotogramétrico permite la obtención de información tridimensional precisa a partir de fotografías de una forma relativamente sencilla y rápida.

Las imágenes utilizadas por Photomodeler para la elaboración de un modelo fotogramétrico son tomadas con una cámara fotográfica que ha sido previamente calibrada. El programa genera las posiciones tridimensionales de los puntos representados en las imágenes proyectando líneas rectas desde la posición de la cámara. La posición de los puntos en el espacio viene determinada por la intersección de dichas líneas. Por ello, las fotografías han de ser tomadas con una buena separación angular entre ellas, cercana a los 90°.

Fig. 4. Documentación fotogramétrica del interior del casco.



Las fotografías obtenidas de este modo se muestran en la pantalla del ordenador donde los puntos comunes, que aparecen en las diferentes imágenes, son vectorizados con las herramientas de dibujo del programa. De la misma forma, también se vectorizan aquellos elementos de interés que se quieren documentar gráficamente. Una vez finalizada la fase de dibujo, Photomodeler combina la información contenida en las imágenes, situando tridimensionalmente los puntos y elementos de interés previamente vectorizados. El resultado es un modelo 3D que se puede exportar a cualquier otro programa de diseño gráfico o CAD.

CALIBRACIÓN

La primera fase en el proceso de elaboración del modelo 3D del barco fenicio Mazarrón-2 fue la calibración de la cámara fotográfica que se utilizaría para la obtención de imágenes. La calibración consiste en determinar las características de la cámara con el fin de que esta pueda ser utilizada como instrumento de medida, es decir, sea posible extraer información métrica de las imágenes tomadas con dicha cámara (fig. 3).

Para que Photomodeler pueda extraer la información métrica contenida en una fotografía, necesita determinar una serie de parámetros específicos de la cámara así como las características de la distorsión de la lente. En general, estos parámetros son la distancia focal, el tamaño de la CCD de la cámara, así como el llamado

punto principal (donde se produce la intersección del eje óptico de la lente con la fotografía).

Este proceso se lleva a cabo mediante la toma de fotografías, desde diferentes ángulos y posiciones, de una plantilla de calibración proporcionada por el programa Photomodeler. Las imágenes obtenidas son procesadas posteriormente con el módulo de calibración del programa que determina, de forma precisa, los diferentes parámetros de la cámara y distorsión de la lente. Si los valores resultantes de la calibración son aceptables, es entonces cuando se puede comenzar a utilizar la cámara para la toma de fotografías. Para este proyecto se utilizó una cámara compacta Olympus FE-230 provista de su correspondiente carcasa submarina.

MÉTODO DE DOCUMENTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA

Una vez calibrada la cámara se procedió a desarrollar la fase de documentación fotogramétrica del interior del casco del pecio. Dado que las dimensiones del pecio (7,85 x 2,10 m) imposibilitaban la toma de imágenes de conjunto con el nivel de detalle requerido para la visualización de los elementos constructivos del casco (tracas, mortajas, clavijas, cuadernas, carlinga), fue necesario definir una estrategia de documentación fotográfica (fig. 4).

Con el fin de obtener imágenes detalladas, se optó por subdividir el casco en secciones transversales. Estas secciones se hicieron coincidir con los espacios o claras definidas por las cuadernas del pecio. Al mismo tiempo,

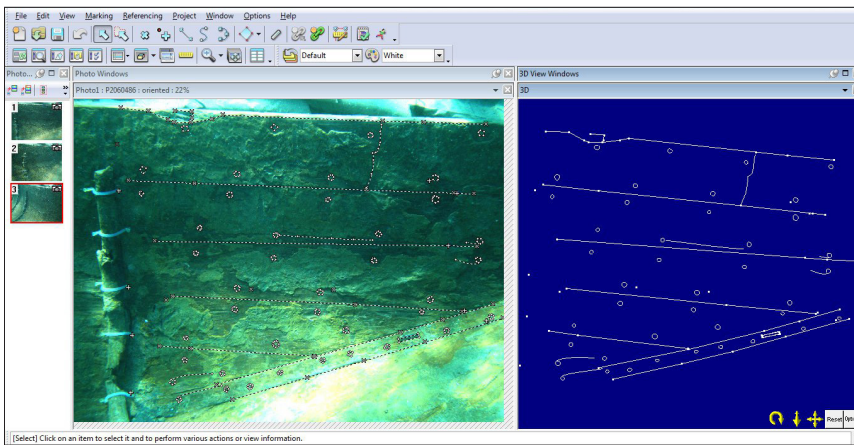


Fig. 5. Procesado y vectorización de un conjunto de imágenes (sector).

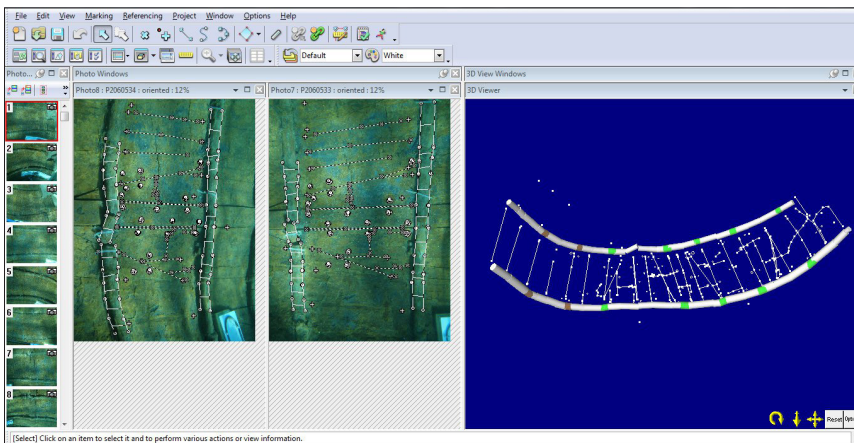


Fig. 6. Unión de los sectores de una misma sección.

cada sección fue a su vez subdividida en sectores con una superficie inferior a un 1 m^2 . De esta forma, se aseguraba que las diferentes imágenes tomadas de cada uno de los sectores tendrían el nivel de detalle adecuado. Las imágenes obtenidas de cada sector se agruparon en conjuntos para ser procesados de forma independiente.

En cada sector se utilizaron como puntos de control alfileres con cabezas redondas de diferentes colores. La función de los alfileres era actuar como escalas gráficas, facilitar la referenciación de puntos comunes entre las imágenes de cada conjunto, y actuar como puntos de unión entre sectores y secciones adyacentes durante el montaje final del modelo 3D.

Se decidió la utilización de alfileres como puntos de control ya que su reducido diámetro tenía impacto mínimo sobre los restos del casco cuando se fijaban al mismo. Una vez finalizaba la toma de fotografías, los alfileres era retirados sin apenas dejar marcas sobre la madera.

Además, los diferentes colores de las cabezas de los alfileres facilitaban su identificación durante el procesado de las imágenes.

PROCESADO DE LA IMÁGENES

Los conjuntos de imágenes se trataron con el programa Photomodeler con el fin de obtener modelos 3D de cada sector del casco del pecio a escala real. Una vez procesados, los sectores se unían entre sí hasta formar las diferentes secciones que, a su vez, se ensamblaban unas a otras hasta completar el interior del casco del pecio. Durante esta fase del proyecto se utilizaron un total de 255 imágenes a partir de las cuales se elaboró el modelo fotogramétrico del pecio.

El procesado de las fotografías consistía en referenciar entre sí los puntos de control que aparecían en las diferentes imágenes de cada conjunto. Se utilizaron como

Fig. 7. Proceso de unión de las secciones adyacentes.

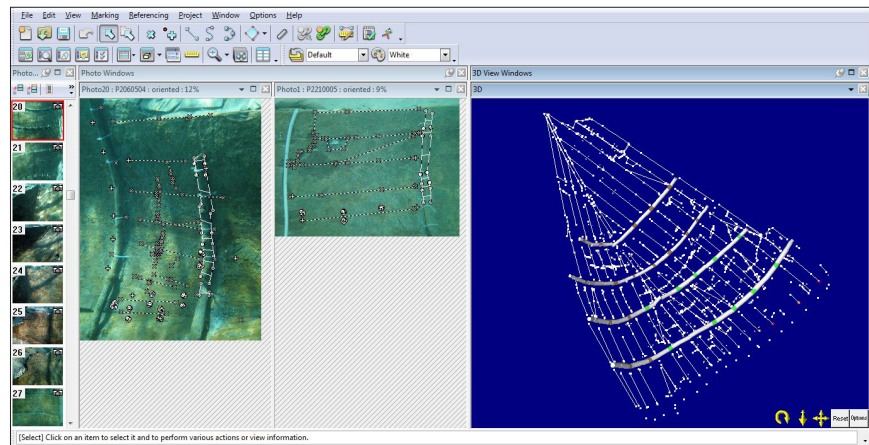
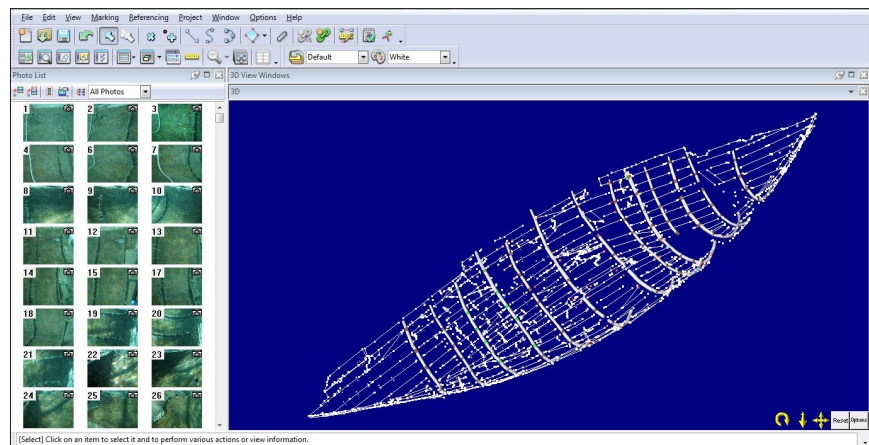


Fig. 8. Interior del casco después de la unión de todas sus secciones.



puntos de control los alfileres citados anteriormente. El procesado también incluía la vectorización, mediante líneas, curvas y puntos, de los elementos constructivos del interior del casco. La vectorización se realizaba directamente sobre las fotografías de cada conjunto utilizando las herramientas de dibujo que proporciona el programa Photomodeler (fig. 5).

La distancia entre los alfileres, que había sido medida previamente, se utilizaba para escalar los modelos 3D generados durante el procesado de las fotografías. Estas medidas también servían para comprobar si los modelos 3D presentaban algún tipo de distorsión en sus dimensiones.

Una vez procesados los conjuntos de imágenes que formaban los sectores de cada tramo, se procedía a su unión. Para ello se utilizaba la herramienta de unión de proyectos que proporciona el programa Photomodeler. Los puntos de control comunes que aparecían en sectores adyacentes se utilizaban para conectar dichos sectores.

Este proceso se repetía hasta que se completaba cada sección del casco (fig. 6). Las diferentes secciones obtenidas de este modo se enlazaban utilizando el mismo método (fig. 7), hasta completar la totalidad del interior del casco del pecio Mazarrón-2 (fig. 8).

El siguiente paso consistía en comprobar si se habían producido distorsiones en las dimensiones del modelo durante su ensamblaje. Para ello se verificaban las medidas entre los puntos de control y la distancia máxima entre dos puntos situados en la roda y codaste (7,85 m). El error máximo observado en el modelo a escala 1:1 fue de 5 mm sobre una distancia total de 7,85 m.

TRATAMIENTO DEL MODELO FOTOGRAMÉTRICO CON AUTOCAD

Finalmente, el modelo fotogramétrico fue importado a AutoCAD, un programa específico de diseño asistido por ordenador, con el fin de mejorar el acabado del modelo

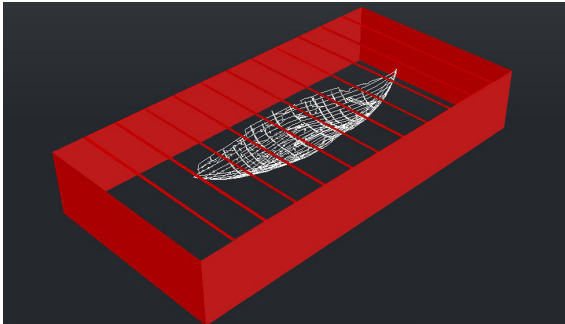


Fig. 9. Orientación del modelo 3D respecto a la "caja fuerte".

3D aprovechando la mayor versatilidad de las herramientas de dibujo del programa AutoCAD respecto a Photomodeler.

Durante esta fase, el modelo 3D se orientó respecto a la estructura de protección metálica ("caja fuerte") que protege los restos del pecio (fig. 9). Para ello, se utilizaron determinados puntos de control cuya posición había sido previamente triangulada con cintas métricas respecto a la "caja fuerte" y las herramientas de alineación 3D del programa AutoCAD.

Los retoques aplicados al modelo 3D consistieron en el añadido de detalles a algunos de los componentes constructivos del pecio, como la carlinga y las cuadernas, cuyas dimensiones y líneas maestras habían sido previamente obtenidas con el programa Photomodeler.

Por último, se seleccionó el color de las superficies de modelo fotogramétrico. En este caso se decidió no añadir texturas a las superficies del mismo ya que el objetivo del modelo era resaltar los diferentes componentes de la arquitectura naval del pecio (tracas, mortajas, cabillas, cuadernas, carlinga) (fig. 10).

EL FOTOMOSAICO DEL PECIO MAZARRÓN-2

Otra de las prioridades a la hora de actualizar la documentación fotográfica de la arquitectura naval del pecio fue la realización del fotomosaico, sobre todo teniendo en cuenta que en anteriores intervenciones no se había podido llevar a cabo. Su realización era importante ya que, aunque en campañas anteriores se había llevado una completa documentación gráfica de la embarcación, no se había podido a realizar un montaje completo de la nave. El fotomosaico del pecio fue realizado por la directora del proyecto y arqueóloga subacuática Ana I. Miñano.

Para que el fotomosaico fuera válido era necesario que todas y cada una de las imágenes fuera tomada desde

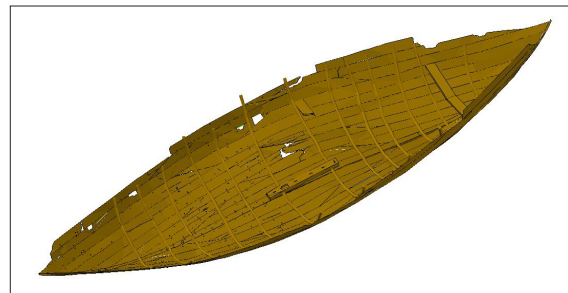


Fig. 10. Modelo fotogramétrico del interior del casco del pecio Mazarrón-2.

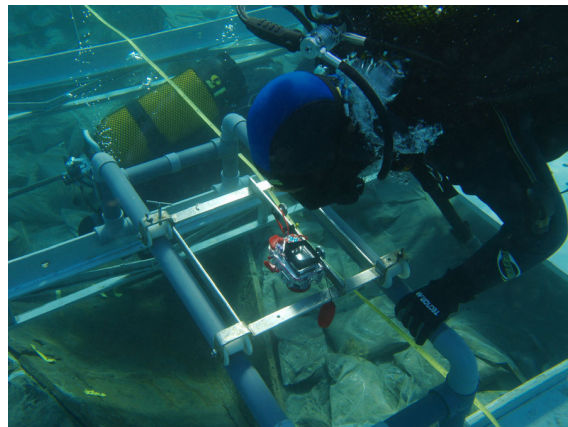


Fig. 11. Realización de las fotografías en la estructura de PVC sobre la "caja fuerte".

la misma distancia y con el mismo ángulo de incidencia. Por ello, se hacía necesario contar con algún tipo de estructura que nos permitiera mantener fija la cámara para realizar las tomas cenitales.

Como disponíamos de la estructura de la caja fuerte, se ideó un pequeño bastidor, en PVC, que se acoplaba a los largueros de la caja fuerte. Sobre éste se montaba la cámara y allí ya se determinaba su nivelación exacta. Sin embargo, el mayor inconveniente con que se contaba a la hora de trabajar era la poca profundidad a la que se encuentra el pecio (fig. 11). Este problema afectaba a dos aspectos principalmente: La distancia a la que podíamos tomar las imágenes y los fuertes contrastes de luces y sombras que el oleaje, por pequeño que fuera, formaba sobre las maderas.

El primero de los problemas fue resuelto con la estructura de fotografía antes mencionada, ya que se ideó para que sobresaliera algo menos de 1 m sobre la estructura la caja fuerte de protección.



Fig. 12. Fotomosaico del interior del casco del pecio Mazarrón-2.

Los grandes contrastes lumínicos se solucionaron de diferentes modos. Por un lado, aprovechando para la toma de fotos los días con menor luminosidad; también utilizando preferentemente las primeras horas de la mañana, cuando el sol no resultaba tan intenso, y por último, se ideó una vela que sostenida en superficie nos permitió tamizar la luz en los días mas claros.

De este modo se procedió a la captura de más de 300 imágenes submarinas de la nave, destinadas únicamente a la realización del fotomosaico. Cada imagen recogía únicamente 75 cm² de la superficie del barco, margen que, en principio, era el que permitía la altura de la estructura fotográfica montada. Sin embargo, dicha circunstancia fue aprovechada también para que el registro de imágenes obtenido fuera de mayor definición que si las capturas hubieran sido realizadas a mayor distancia.

Ya en tierra, las imágenes se procesaron con un programa de imagen. Ello nos permitió recortar y eliminar las zonas más externas de cada toma. Con ello se evitaban al máximo las distorsiones efectivas que hay en los bordes de cada fotografía y que podían provocar la deformación en los ensamblajes. Además se llevó a cabo un equilibrado de la luminosidad, color y contraste de todas las imágenes y, en definitiva, la homogeneización de todas las capturas para la construcción del montaje final.

El resultado fue la restitución real y objetiva de los elementos de la nave, que ha interesado tanto para la documentación de los restos arqueológicos como para la reconstrucción de la nave en el montaje museográfico del nuevo Museo (fig. 12).

CONCLUSIONES

La realización de estos trabajos nos ha permitido generar un nuevo archivo documental gráfico, fotográfico y planimétrico de los restos arqueológicos del pecio fenicio Mazarrón-2.

El modelo fotogramétrico ha servido para demostrar la eficacia y utilidad de la fotogrametría subacuática y del programa Photomodeler en la documentación *in situ* de la arquitectura naval de un pecio.

Las principales ventajas del método fotogramétrico son la rapidez en la obtención de imágenes a partir de las cuales se puede generar información métrica, así como la precisión y exactitud de dicha información. El programa Photomodeler permite elaborar modelos tridimensionales precisos de cualquier estructura sumergida partiendo de un conjunto de fotografías y un reducido número de medidas de control.

La verificación de las medidas de control tomadas en el pecio respecto al modelo fotogramétrico mostró un error máximo de 5 mm a escala 1:1. Se trataría de un error inferior a la desviación media derivada de la aplicación de las técnicas de dibujo subacuático tradicionales. Además, dada la precisión del modelo, éste podría ser utilizado con posterioridad para la obtención de las líneas del casco durante los trabajos de reconstrucción y análisis del mismo.

Por otra parte el fotomosaico en alta resolución permite obtener dos tipos de registros en una misma imagen. Por un lado, es posible acceder a la visión del conjunto

total del pecio y, por otro, sin salir de esa misma imagen, es viable también acceder a cualquier detalle o elemento constructivo con gran definición conociendo en todo momento en que sección del pecio se encuentra.

Además, ambos procedimientos suponen una reducción del tiempo que el arqueólogo subacuático ha de permanecer en el fondo desarrollando los trabajos de documentación. Si bien en el caso que nos ocupa, la profundidad (-2,5 m) no fue un condicionante de los trabajos, hay que señalar que esta reducción se traduce en un aumento de la seguridad en el trabajo dado que disminuyen los tiempos de descompresión así como la posibilidad de la falta de aire durante la inmersión.

Sin embargo, a pesar de todas las ventajas, la principal limitación de ambos métodos de documentación viene determinada por las condiciones de visibilidad del área de trabajo. Dado que son técnicas que dependen exclusivamente de las fotografías, las condiciones de visibilidad siempre determinarán su posible aplicación.

ANA I. MIÑANO DOMÍNGUEZ
Museo Nacional de Arqueología Subacuática (ARQUA)
ana.minano@mcu.es

FRANCISCO FERNÁNDEZ MATALLANA
Arqueología Integral S.L.
ffmatallana@arqueologiaintegral.com

JOSÉ LUIS CASABÁN BANACLOCHA
Department of Anthropology
Texas A&M University
jlcasaban@tamu.edu

NOTAS

1. Una extensa descripción de la excavación del B-2 y de su sistema de construcción puede verse en Negueruela 2004 a, Negueruela *et al.* 2000a y 2000b: 1671-1679.
2. Las medidas conservadas del barco no deben confundirse con las originales, que eran claramente algo mayores debido a la pérdida de las tracas superiores en la proa y en la popa.
3. El cargamento estaba compuesto por 2.800 kg de escoria de plomo en forma de tortas cóncavo-convexas muy fragmentadas en su mayoría.
4. El abarrote estaba compuesto por numerosísimas ramas de arbusto de muy diferentes grosores que oscilan aproximadamente entre 5 y 0'5 cm de diámetro.
5. Para los trabajos de dibujo ortogonal de la embarcación y su traslación a un modelo 3D en formato CAD véase Rodríguez Iborra (2009).

BIBLIOGRAFÍA

- ARELLANO, I.; SANTOS, J.; GÓMEZ, M.; MIÑANO, A. I.; NEGUERUELA, I.; PINEDO, J. (1999): Proyecto Nave Fenicia: 2ª campaña, *Memorias de Arqueología* 9 (1994), 220-222.
- BARBA, J.; NEGUERUELA, I.; PERERA, J.; PINEDO, J.; ROLDÁN, B. (1999): El pecio de Playa de la Isla. Puerto de Mazarrón (Murcia), *Memorias de Arqueología* 8 (1993), 196-199.
- CABRERA, P.; PINEDO, J.; ROLDÁN, B.; PERERA, J.; BARBA, S. (1992): Campaña de cubrición del yacimiento subacuático de la Playa de la Isla (Mazarrón-Murcia), *II Jornadas de Arqueología Subacuática en Asturias* (Gijón, 1991), 37-43.
- CABRERA, P.; PINEDO, J.; ROLDÁN, B.; SANTOS, J. PERERA, J. (1997): Campaña de cubrición del yacimiento subacuático de la Playa de la Isla (Mazarrón-Murcia), *Memorias de Arqueología* 6, 150-156.
- CANCIANI, P.; GAMBOGI, P.; ROMANO, F.G.; CANNATA, G.; DRAP, P. (2002): Low cost digital photogrammetry for underwater archaeological site survey and artifact isertion. The case study of the Dolia Wreck in Secche della Meloria, Livorno, Italia, *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34.5/W12, 95-100.
- CORREA, C. (2001-2002): Presencia fenicia en la transición Bronce Final Reciente – Hierro Antiguo en el entorno de la Rambla de las Morenas. Mazarrón (Murcia), *Estudios Orientales*, 5-6, *El Mundo Púnico. Religión, Antropología y Cultura Material*, *Actas II Congreso Internacional del Mundo Púnico* (A. González, G. Matilla, A. Egea, eds.), 485-494.
- DEMESTICHA, S. (2011): The 4th-Century-BC Mazotos Shipwreck, Cyprus: a preliminary report, *International Journal of Nautical Archaeology* 40 (1), 39-59.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-9270.2010.00269.x>
- DRAP, P.; BRUNO, E.; LONG, L.; DURAND, A.; GRUSSENMEYER, P. (2002): Underwater Photogrammetry and XML Based Documentation System: The case of the 'Grand Ribaud F' Etruscan wreck, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34 (5), 342-347.
- DRAP, P.; DURAND, A.; PROVIN, R.; LONG, L. (2005): Integration of Multi-Source Spatial Information and XML Information System in Underwater Archaeology, *Proceedings of the 20th International Symposium, CIPA 2005: International Cooperation to Save the World's Heritage: Torino (Italy), 26 September–1 October 2005*, 2 vols., Turín.
- DRAP, P.; SEINTURIER, J.; SCARADOZZI, D.; GAMBOGI, P.; LONG, L.; GAUCH, F. (2007): Photogrammetry for Virtual Exploration of Underwater archaeological sites, *Proceedings of the 21st International Symposium, CIPA 2007: AntiCIPAting the Future of the Cultural Past: Athens (Greece), 01–06 October 2007*, Athens.

- GARCÍA MARTÍNEZ, M.S.; GRAU ALMERO, E.; ROS SALA, M.M. (2008): El Paisaje vegetal pre- y protohistórico de la costa de Mazarrón (Murcia) según el antracoanálisis de Punta de los Gavilanes, *Rev. C. & G.* 22 (3-4), 107-120.
- GREEN, J.; MATTHEWS, S.; TURANLI, T. (2002): Underwater archaeological surveying using PhotoModeler, VirtualMapper: different applications for different problems, *International Journal of Nautical Archaeology* 31 (2), 283-292.
- GUERRERO, V. (2008): Barcos aborígenes en el estrecho de Gibraltar, *VIII Jornadas de Historia de Ceuta. Barcos puertos y navegación en la historia de Ceuta*, Instituto de Estudios Ceutíes, Ceuta, 33-65.
- NEGUERUELA, I. (2000a): Managing the maritime heritage: the National Maritime Archeological Museum and National Centre for Underwater Research, Cartagena, Spain, *The International Journal of Nautical Archaeology*, 29 (2), 179-198.
- NEGUERUELA, I. (2000b): Protection of shipwrecks. The experience of the Spanish National Maritime Archaeological Museum, *Focus on Alexandria*, UNESCO, 111-116.
- NEGUERUELA, I. (2002): Excavaciones arqueológicas subacuáticas realizadas por el Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas en el yacimiento de Playa de la Isla (Mazarrón). Memoria de la campaña de 1995, *Memorias de Arqueología* 10 (1995), 162-180.
- NEGUERUELA, I. (2003): Panorama del Museo Nacional de Arqueología Submarina y Centro Nacional de Investigaciones Arqueológicas Submarinas, *Monte Buciero* 9, 149-188.
- NEGUERUELA, I. (2004a): 'Coagmenta punicana' e bagli. La costruzione navale a fasciame portante tra i Fenici del VII sec. a.C., *Aeguora, jam, mare...Mare, nomini e merci nel Mediterraneo antico*, Atti del Convegno Internazionale, Génova, 22-41.
- NEGUERUELA, I. (2004b): Hacia la comprensión de la construcción naval fenicia según el barco "Mazarrón-2" del siglo VII a.C., *Centro de Estudios Fenicio-Púnicos*, 227-278.
- NEGUERUELA, I.; PINEDO, J.; GÓMEZ, M.; MIÑANO, A.I.; ARELLANO, I.; BARBA, J.S. (1995): Seventh-century BC Phoenician vessel discovered at Playa de la Isla, Mazarrón, Spain, *The International Journal of Nautical Archaeology* 24 (3), 189-197.
- NEGUERUELA, I.; MIÑANO, A.I.; BARBA, J.S.; PINEDO, J.; GÓMEZ, M.; ARELLANO, I. (2000): Descubrimiento de dos barcos fenicios en Mazarrón (Murcia), *Congreso Internacional de Estudios Fenicios y Púnicos*, vol. IV, Cádiz, 1671-1679.
- NEGUERUELA, I.; GONZÁLEZ, R.; SAN CLAUDIO, M.; MÉNDEZ, A.; PRESA, M.; MARÍN, C. (2004 a): Mazarrón-2 el barco fenicio del siglo VII a.C. Campaña de noviembre-1999/marzo-2000, *Estudios Orientales*, 5-6, *El Mundo Púnico. Religión, Antropología y Cultura Material*, Actas II Congreso Internacional del Mundo Púnico (A. González, G. Matilla, A. Egea, eds.), 453-483.
- NEGUERUELA, I.; MOYA, A.; MARÍN, C.; CORREA, C.; PÉREZ M.A. (2004 b): El yacimiento fenicio de Playa de la Isla (Mazarrón). Campaña de 1997, *Memorias de Arqueología* 12 (1997), 273-290.
- POLZER, M.; PINEDO, J. (2009): Bajo de la Campana 2009. Phoenician shipwreck excavation, *The INA Annual*, 3-14.
- RAMÓN TORRES, J. (1995): *Las ánforas fenicio-púnicas del Mediterráneo Central y Occidental*, Barcelona.
- RODRÍGUEZ IBORRA, J. (2009): Aplicaciones museográficas del dibujo arqueológico. Diseño y distribución de objetos expositivos, reproducciones y vitrinas por medio de modelos virtuales 3D, *Museo* 14, 343-349.
- ROLDÁN BERNAL, B.; PERERA, J.; SANTOS, J.; FRUTOS, B.; PINEDO, J. (1994): El fondeadero de Playa de la Isla. Avance preliminar, *El Mundo Púnico. Historia, Sociedad y Cultura* (A. González, J.L. Cunchillos, M. Molina), 503-516.
- VV.AA. (2008): *Catálogo del Museo Nacional de Arqueología Subacuática*, ARQVA, Ministerio de Cultura, Madrid.