

MÉTODOS BASADOS EN EL CAD PARA SU APLICACIÓN EN LA RECONSTRUCCIÓN DE PIEZAS ARQUEOLÓGICAS

CAD-BASED METHODS APPLIED TO THE RECONSTRUCTION OF ARCHAEOLOGICAL REMAINS

JOSÉ BENITO BOUZA-RODRÍGUEZ

Dr. Ing. Industrial, Universidad de Vigo, España, jbouza@uvigo.es

ALBERTO COMESAÑA-CAMPOS

Ing. Industrial, Universidad de Vigo, España, acomesana@uvigo.es

LUIS GONZÁLEZ-PIÑEIRO

Dr. Ing. Industrial, Universidad de Vigo, España, lpineiro@uvigo.es

Recibido para revisar Noviembre 5 de 2012, aceptado Abril 19 de 2013, versión final Abril 30 de 2013

RESUMEN: Mediante un sistema láser tridimensional se escanearon restos arqueológicos resultantes de excavaciones en un castro de Galicia, obteniéndose en primer lugar distintas partes sueltas de la superficie externa de cada pieza. A continuación se aplicaron métodos para generar la superficie integral de cada pieza a partir de los distintas partes o parches sueltos.

Como objetivo principal se desarrollaron y aplicaron dos métodos para la reconstrucción virtual de restos arqueológicos incompletos, que se basan en la integración de los métodos tradicionales del dibujo arqueológico con el CAD (Computer Aided Design).

Además, a partir del modelo superficial de cada pieza se estudiaron métodos para la generación de un modelo sólido completo de cada una, pudiendo así guardar información interna (material, densidad,...) de los objetos, con la posibilidad de realizar cortes de todo tipo.

PALABRAS CLAVE: Arqueología virtual, patrimonio artístico, modelado 3D, CAD, escáner láser 3D.

ABSTRACT: By means of a three-dimensional laser system, archeological remains resultant of excavations in a castro of Galicia were scanned, being obtained in the first place different loose parts of the external surface of every piece. Next, methods were applied to generate the integral surface of each piece from the different loose parts or patches.

As main objective, it was developed and implemented two methods for virtual reconstruction of incomplete archaeological remains. These methods are based on the integration of traditional methods of archaeological drawing with CAD (Computer Aided Design).

Moreover, from the superficial model of each piece, methods were studied for the generation of a complete solid model of each one, thus being able to keep internal information (material, density, etc.) of the objects, with the possibility of making cuts of all type.

KEYWORDS: Virtual archeology, cultural heritage, modeling 3D, CAD, scanner laser 3D.

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo de la arqueología la conservación y reconstrucción de los hallazgos arqueológicos tiene vital importancia [1]. Cuando estos hallazgos son manipulados en la excavación o con posterioridad para su estudio o tratamiento, esto produce sobre ellos unos cambios irreversibles [2]. Estos cambios no podrán deshacerse para repetir el proceso de excavación o de estudio. De aquí surge la necesidad de obtener un sistema de registro (medir y montar con precisión) que permita la disertación y manipulación de las piezas sin perjuicio alguno para ellas. En este sentido los sistemas CAD (Computer Aided

Design, en español Diseño Asistido por Computador) se ajustan perfectamente a estos requisitos, proporcionan un entorno virtual en el que poder trabajar con restos arqueológicos virtuales sin ocasionar distorsión alguna en los restos originales.

Llegados a este punto es necesario contar con algún método para modelar los restos arqueológicos, que debe ser no invasivo para no dañar o modificar los vestigios.

La arqueología cuenta con métodos tradicionales basados en el dibujo y la fotografía arqueológica que permiten realizar reconstrucciones. Sin embargo

podemos emplear las nuevas tecnologías para desarrollar nuevos métodos de reconstrucción de los restos, lo que constituye el principal objetivo de este artículo.

En este sentido, y también para otras aplicaciones similares en diferentes ámbitos, el escáner láser tridimensional constituye una herramienta ideal de partida [3, 4, 5, 6, 7, 8].

2. RECONSTRUCCIÓN DE UNA PIEZA

La reconstrucción de la pieza consiste en su modelado con técnicas CAD y utilizando toda la información disponible, obtenida con el escáner o de otra forma. Entre los objetivos básicos de la arqueología está la definición de la procedencia y la época en que una determinada pieza fue creada, sin embargo esta tarea suele ser ardua debido al estado actual del vestigio. Esto sucede, por ejemplo, cuando tenemos un pedazo de una vasija y queremos saber como era la forma completa de la misma. Es en este punto donde el CAD y la ingeniería inversa pueden socorrer con ventaja a las técnicas tradicionales. A partir de fragmentos de piezas y con el asesoramiento arqueológico adecuado podemos reconstruir la pieza al completo.

Otra circunstancia que puede demandar reconstrucciones avanzadas, aun disponiendo de capturas láser de apoyo, es el caso de restos de forma tan compleja que el escáner no ha sido capaz de registrar alguna de las superficies de la pieza. Esto puede suceder en la superficie interna de una vasija, a la que por su tamaño el escáner no puede acceder (figura 1).

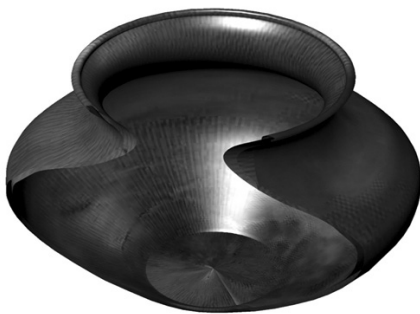


Figura 1. Superficies internas de difícil acceso para el escáner

2.1. La reconstrucción tradicional de vestigios

Hasta hoy las técnicas usuales que el arqueólogo usa para definir las formas de un vestigio son el dibujo manual (figura 2) y la

fotografía [2, 9, 10], destacando el dibujo por su capacidad para destacar la profundidad y discriminar información, cosa más difícil o imposible con la fotografía, además de ser inmediato. El dibujo pretende describir gráficamente las características físicas de las piezas tales como formas, medidas y volúmenes, los llamados atributos en arqueología [2]. Estas ventajas del dibujo tradicional palidecen frente a las nuevas técnicas de modelado 3D, lo que no supone la desaparición del dibujo manual, que sigue siendo una buena base y complemento del modelado virtual. La reconstrucción 3D ofrece ventajas enormes, dado que al obtener el modelo sólido de la pieza podemos trabajar sobre la misma como si se tratara de la real. Podemos medir el volumen o el peso, realizar cortes, medir áreas y superficies, obtener perfiles, girar, rotar, ampliar partes, movernos alrededor, observar la textura, medir capacidades y otras facilidades que en la pieza real no serían posibles, bien por estar incompletas bien porque la pieza resultaría dañada. El modelo 3D se puede manipular o transformar cientos de veces sin que la pieza real sea perjudicada.

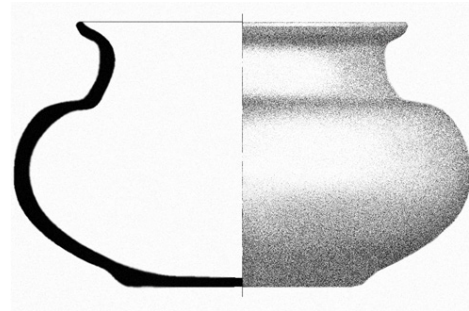


Figura 2. Dibujo arqueológico tradicional

2.1.1. Dibujo arqueológico

El dibujo manual [2, 11] es todavía la técnica más utilizada para la representación de materiales arqueológicos, incluso preferida a la fotografía, que al margen de la tecnología actual sufre de mayores limitaciones. Su carácter de indispensable se fundamenta en su capacidad de síntesis y de enfoque únicamente a lo que es necesario; también cabe destacar su inmediatez. Existen una simbología y unas convenciones que lo convierten en una forma de comunicación universal y siempre menos afectado de obsolescencia por posibles nuevos descubrimientos. Según Bertin [12] el dibujo, entre los que se encuentra el arqueológico, constituye una manera fácil y rápida para anotar y dejar constancia, aparte de permitir contrastar visualmente fuentes de información diversas. Cuando el arqueólogo acomete la tarea de dibujar, el objetivo es describir los atributos y características como forma, medida o volumen

[2]. El dibujo debe registrar básicamente la tipología, la morfología y la técnica de la pieza en cuestión.

2.1.2. Fotografía arqueológica

La fotografía, especialmente la digital, permite ilustrar gráfica y visualmente los trabajos científicos y técnicos. En el campo de la arqueología, la fotografía permite dejar constancia de los procesos históricos y cambios que tienen lugar en un yacimiento [10]. De este modo permite conservar lo que los propios trabajos de las excavaciones destruyen. Frente al dibujo manual presenta el inconveniente de que no permite centrarse en los aspectos y características del vestigio más importantes desde el punto de vista de la arqueología. Tampoco permite representar el interior de los restos encontrados.

3. PROCESO DE MODELADO DE PIEZAS MEDIANTE EL ESCÁNER 3D

El escáner láser tridimensional utilizado fue un Minolta modelo Vivid 700 [13] que puede escanear marcos de hasta 1.1m x 1.1m con una precisión que alcanza los 0.35 mm. Además tiene una cámara digital que toma datos de texturas y colores que posiciona en cada faceta del mallado.

El procedimiento general de acondicionamiento y escaneo consistió en las siguientes etapas:

1 - Acondicionamiento del entorno del escáner

Para minimizar los factores que afectan al escaneo y reducir el ruido en el proceso de adquisición de datos se han realizado una serie de acondicionamientos tanto en el entorno de trabajo, como sobre algunas de las piezas a escanear. Los detalles de estos acondicionamientos se basaron en pruebas y experimentos que hicimos a priori en el laboratorio.

Primeramente construimos una caja cerrada, por todos los lados menos el frontal, con paredes negras (figura 3). Esta caja se realizó para evitar todo tipo de reflejos, evitar que la luz de los focos del laboratorio interfiriera con la luz del láser y evitar perturbaciones atmosféricas, como corrientes de aire o aire cargado de polvo, que puede interferir en el haz del láser.

También se utilizaron dos flexos para dar la luz necesaria para trabajar, ya que el escáner necesita entre

300 y 500 lx de luz para operar eficientemente. Se le pusieron unas lámparas que emitieran una luz difusa. A su vez, esta luz se hizo pasar por papel cebolla para difuminarla aún más. De esa manera reducimos los reflejos sobre las piezas a escanear.

Hubo que tener cuidado con la luz de estos focos ya que podía interferir con la luz del láser lo que provocaba errores en los datos tomados por el escáner. Para evitar este tipo de interferencias se buscaron luces de una frecuencia mayor que la del láser y cuando se producían interferencias, se movían alejando o acercando las luces para evitar la interferencia, hasta que se encontraba la posición adecuada.

Con respecto a las piezas, los problemas a los que se tuvo que hacer frente tuvieron que ver con sus características superficiales, como color, brillo, transparencias y formas de las superficies.

Para evitar los colores oscuros y los brillos que ocasionan problemas de reflexión de la luz, se optó por pintar algunas piezas con pinturas y espolvorearles talco por encima. Al principio se intentó usar acuarela blanca, pero debido a que la textura externa de algunas piezas es poco porosa, este tipo de pintura no se agarraba bien y se desechó. Posteriormente se usó témpera blanca, que diluida en muy poca agua, permitía pintar con bastante facilidad las piezas. Al usar esta pintura ya no era necesario el uso de talco para evitar los brillos. Al final esta técnica se usó para las piezas en las que era necesario este tipo de acondicionamiento.

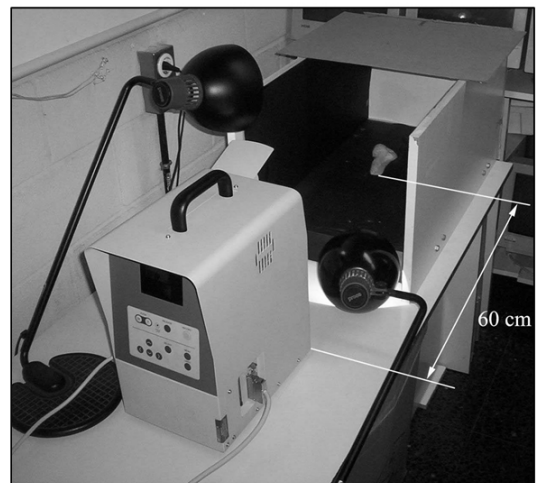


Figura 3. Acondicionamiento del entorno del escáner

Para el resto de las siguientes etapas, el procedimiento de adquisición y procesamiento de modelos virtuales empleando un escáner tridimensional es bien conocido y está ampliamente documentado [14, 15, 16]. Por lo que sólo resumimos a continuación estos procedimientos.

2 - Obtención de las tomas

Se ajusta los diferentes parámetros que controlan la toma de datos y se obtiene la primera nube de puntos de la zona frontal de la pieza. Se repite este proceso hasta obtener 26 tomas que corresponden a las 6 caras, 12 aristas y 8 vértices del cubo circunscrito a la pieza. (Figura 4), hasta obtener una nube de puntos que representa al modelo.

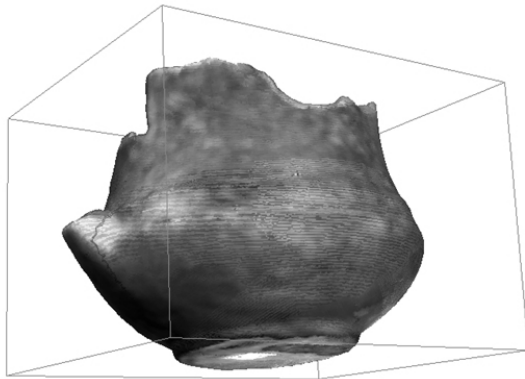


Figura 4. Cubo circunscrito a la pieza

3 - Registro o ensamblado

El registro consiste en la traslación de las diferentes tomas o partes de la pieza dentro del mismo sistema de coordenadas de forma que su colocación sea la correcta. Como resultado se obtiene la pieza total (figura 5).

Para facilitar el registro automático, antes debemos recortar de la nube de puntos de cada toma las zonas que no sean de interés, bien por no pertenecer a la pieza o por no ser de suficiente calidad. En este paso tendremos que preocuparnos de conservar zonas redundantes.

Realizado el registro automático, comprobamos que era el adecuado, verificando que la geometría se ajustaba a la realidad. Cuando era incorrecto realizamos un registro manual. De esta manera conseguimos reducir el error de registro o traslaje.

En el registro manual, se informó al software de al menos

3 puntos en común a las diferentes partes. Este proceso se realizó por parejas de partes o elementos. Debemos tomar 3 puntos ya que es el número de puntos mínimo que nos define la posición de una superficie rígida en el espacio. A mayor número de puntos de coincidencia dados mejor será el ensamblaje de las partes. Para la asignación de puntos de coincidencia nos hemos apoyado tanto en la geometría de los elementos como en la textura de los mismos. Esta última es una información muy valiosa a la hora de comparar puntos. En las partes de las piezas que no tenían puntos singulares, que fueran de fácil comparación, hemos marcado con tinta los puntos necesarios sobre la pieza.

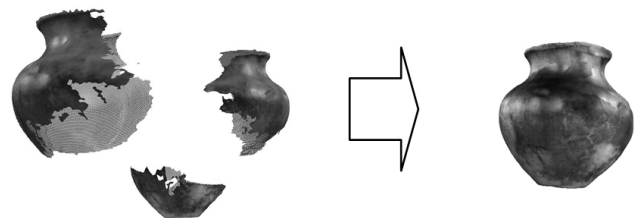


Figura 5. Ensamblado de las distintas tomas

4 - Merge o fusionado

El *merge* consiste en transformar los archivos de los diferentes elementos a un único fichero con toda la información. En este proceso el software se encarga de unificar las diferentes superficies a una sola.

5 - Retocado

En esta última etapa se procede a:

- Relleno de huecos.
- Suavizado de textura.
- Chequeo de anomalías en los polígonos y corrección de los mismos.
- Reducción del número de puntos, si fuera necesario.

4. TRANSFORMACIÓN DE SUPERFICIES CERRADAS EN SÓLIDOS

Una vez hemos obtenido una superficie editable procedemos a su transformación en sólido. La superficie obtenida deberá ajustarse a la frontera del objeto real. Cuanto mejor sea este ajuste más real parecerá el modelo computacional. A esta superficie que delimita el contorno del objeto se le llama frontera.

El método más común de representar una frontera es mediante polígonos [17], donde cada polígono constituye una cara que representa una pequeña porción de la superficie. Otra forma de representación gráfica de fronteras es a través de las superficies spline [18]. Estas son superficies mucho más realistas que los polígonos por ser superficies más suavizadas (figura 6).

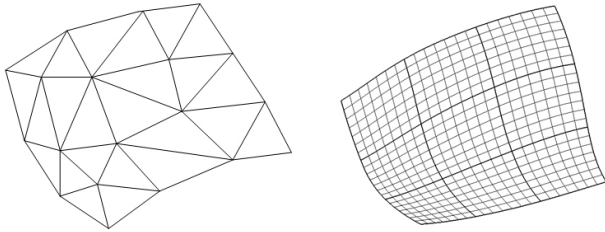


Figura 6. Representación de superficies por polígonos (izquierda) y por splines (derecha)

Hasta el momento se ha hablado de superficies, pero estas superficies sólo son fronteras, en ellas no podemos medir masas ni algunas otras características físicas. Son adecuadas para mostrarnos las formas y colores de los objetos, y añadiendo las texturas adecuadas llegan a producir unos efectos de realismo realmente sorprendentes.

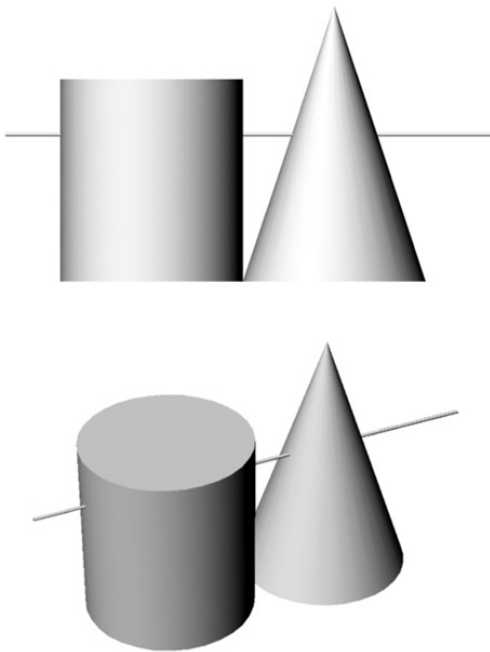


Figura 7. Intersección de los rayos con la superficie

Para mejorar nuestro modelo tendremos pues que generar un sólido a partir de la superficie frontera. Para

obtener la geometría sólida a partir de la superficie que hemos generado proponemos el uso del rastreo de rayos [19, 20, 21]. Se trata de un algoritmo que lo que hace, básicamente, es lanzar rayos desde el observador que intersecan con las superficies de los objetos modelados (figura 7). Cada uno de estos rayos atravesará por dos puntos a la superficie (ver figura 7). Serán estas dos intersecciones las que permitirán determinar el modelo sólido [19].

Posteriormente, a partir de la geometría sólida es posible el cálculo del volumen del objeto virtual. Con el modelo sólido se pueden hacer cálculos de masa a partir de una función de densidad de geometría [21], al igual que el cálculo de centros de gravedad y momentos de inercia de la pieza. Otra de las características que hace del modelo sólido una herramienta inestimable es el cálculo de secciones de la pieza.

En arqueología, es de gran utilidad la obtención de la sección de la pieza, dado que esta proporciona a los arqueólogos información tipológica y de cómo pudo haber sido construida la pieza, informándonos, de esta forma, de las tecnologías de cocción y modelado de las que disponían. De otra forma no sería posible obtener las secciones de la pieza dada la imposibilidad de cortar la vasija real. Las secciones de un asa o un mango proporcionan a los arqueólogos importante información de la tipología de una cultura concreta.

5. NUEVAS METODOLOGÍAS PROPUESTAS PARA LA RECONSTRUCCIÓN

En este trabajo se han utilizado varios apoyos para la reconstrucción: datos obtenidos mediante captura digital tridimensional, información dimensional tomada directamente sobre la pieza y dibujos manuales que el arqueólogo ha realizado, basados en su observación, conocimiento, experiencia y habilidad. Veamos a continuación su complementariedad en los métodos que proponemos para la reconstrucción de los restos y que hemos utilizado.

5.1. Método basado en la nube de puntos

Este método es adecuado para recipientes que tienen simetría de revolución y cuya geometría de la pieza no permite la captura de partes interiores. Una vez que hemos realizado los diferentes escaneados con sus

correspondientes registros y obtenido la pieza completa, estamos en disposición de obtener la nube de puntos que conforman el contorno exterior de la pieza. Sin embargo no disponemos de la geometría interior de la vasija. A partir de la nube de puntos que conforma la superficie exterior de la vasija, procedemos a obtener un corte plano que pase por el eje de revolución de la misma. Este corte nos proporcionara los puntos de la línea meridiana externa que, aun no perteneciendo al plano, están a una distancia inferior a una establecida. Esta distancia es uno de los parámetros de control del proceso de corte; otro es la distancia mínima entre puntos. Ambos permiten una buena concentración de puntos sobre el meridiano y una reducción automática de su número.

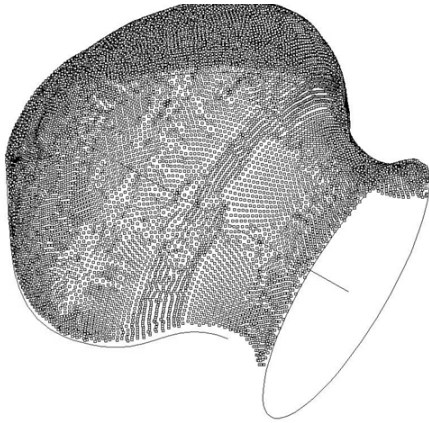


Figura 8. Perfil y superficie exterior de la vasija

Tenemos así puntos del perfil exterior de la vasija y, uniéndolos en el orden adecuado a través de una spline, conseguimos el perfil exterior curvo de la vasija (figura 8); con éste se efectúa una revolución alrededor del eje de la vasija y se obtiene la superficie exterior. Para la superficie interior es preciso medir series de diferentes espesores en la pieza para conocer las constantes de espesor a lo largo del perfil y, con esas distancias, crear una superficie paralela a la exterior. La unión de estas superficies, con ayuda de datos reales de la vasija y el método descrito anteriormente, proporciona un volumen que representa el modelo 3D de la pieza (figura 9) y al cual se le puede aplicar todo tipo de operaciones. Para mejorar el realismo, se puede aplicar una textura sobre la superficie externa, capturada de la pieza real.

5.1.1. Resultados

Con la aplicación del método conseguimos una pieza 3D, copia de la original, manipulable virtualmente

desde cualquier sistema CAD o desde un visor estándar de gráficos tridimensionales. En el ejemplo de la figura 10 se ha representado una vasija reconstruida a partir de los restos hallados en el yacimiento de Castromao (Ourense).



Figura 9. Modelo 3D de la pieza



Figura 10. Modelo con texturas

5.2. Método con apoyo en el dibujo arqueológico

Este método tiene soporte en dibujos creados manualmente. En el dibujo arqueológico normalizado de piezas simétricas, se dibuja en la mitad izquierda de la pieza un corte de la misma donde se puede observar el perfil y en la derecha un punteado para aumentar la sensación de profundidad y conseguir mayor realismo. A partir de estos dibujos podemos llegar a modelar la pieza en un sistema CAD sin necesidad de más datos; la precisión del modelo dependerá de la minuciosidad del

arqueólogo a la hora de observar y medir, y de su destreza como dibujante. Traducido el dibujo a un formato digital (JPG, BMP,...) ya se puede proceder al modelado.

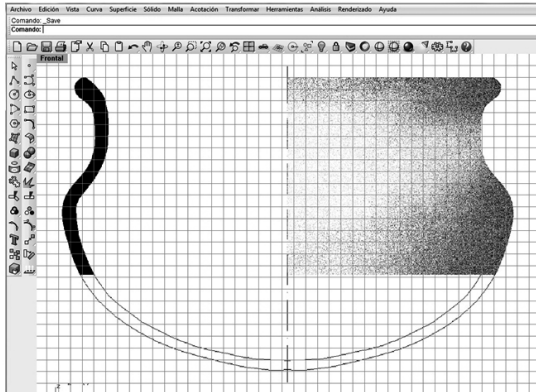


Figura 11. Dibujo arqueológico incorporado en el sistema CAD

La aplicación CAD utilizada para modelar fue Rhinoceros® [22]. Colocada la imagen digital 2D como tapiz de fondo y un mallado de base suficientemente fino (una décima de milímetro o incluso inferior, figura 11), se puede con facilidad puntear ordenadamente alrededor del perfil y crear sobre ellos una curva spline (figura 12); ampliar la imagen suficientemente ayuda a conseguir la precisión requerida. Creamos muchos puntos alrededor del perfil del dibujo. De esta forma conseguiremos un perfil cerrado, con cuya revolución (figura 13) generaremos el volumen de la pieza, que posee sus proporciones, pero no las medidas exactas de la misma.

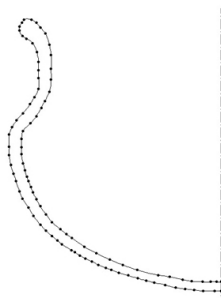


Figura 12. Puntos creados alrededor del perfil y la correspondiente curva spline generada

El dibujo inicial puede no estar hecho a escala real y, además, puede sufrir conversiones en las operaciones de digitalización. Por este motivo, el paso siguiente precisa de mediciones sobre la pieza real y de una posterior adaptación del modelo. Para eso se procede a tomar una medida en la pieza real y en el modelo, por ejemplo el

diámetro interior de la pieza a una determinada altura del perfil y, a través de su relación, escalamos el modelo. De esta forma todas las dimensiones del modelo virtual serán iguales a las del objeto real.

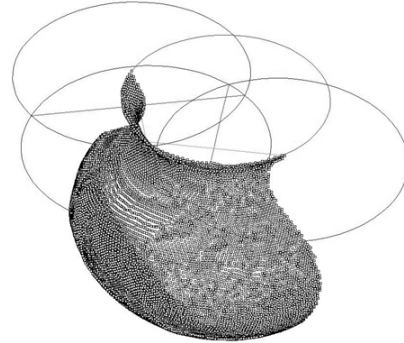


Figura 13. Reconstrucción 3D a partir del dibujo arqueológico

5.2.1. Resultados

Con el método descrito, finalmente, se obtuvieron los modelos tridimensionales de la pieza. Debemos tener en cuenta que cuando se realizó la reconstrucción de esta pieza, esta estaba incompleta. Por lo que la base de la misma se ha reconstruido basándose en la experiencia del arqueólogo y la tipología de la pieza. Se puede decir que existe una gran correlación entre las piezas de una misma topología, por lo que la reconstrucción suele ser de una gran fidelidad (figura 14). El siguiente punto es colocar las texturas adecuadas para alcanzar un mayor nivel de realismo. Las texturas de la figura 15 fueron obtenidas mediante fotos digitales de la pieza real, reconstruida mediante este método, y que es una vasija de las denominadas “Cincenta” encontrada en Castromao (Ourense).



Figura 14. Reconstrucción de la pieza

A partir del modelo 3D de Rhinoceros[®], de manera muy rápida y sencilla, se pudieron obtener datos como el volumen de material de la pieza, 834.88 cm³, su capacidad interior, 4.2 litros y su superficie total, externa e interna, 2517.19 cm².



Figura 15. Reconstrucción con texturas de la pieza

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

6.1. Comparativa de los métodos anteriores

El primer método propuesto, basado en la nube de puntos, es más preciso que el segundo, apoyado en el dibujo arqueológico, porque lo son más los datos obtenidos mediante captura digital que los manuales, siendo más que suficiente para este caso la precisión del escáner utilizado. Por otro lado, sin el dibujo de un experto, se carece de medios para completar los fragmentos no encontrados y, en algunos casos, la superficie interior ha de ser medida con otra técnica, reduciéndose la garantía de precisión. Un buen dibujo manual tiene la gran ventaja de la complementariedad y la de permitir el modelado de piezas que no estén disponibles, revelándose como una oportunidad de modelado y catalogación de cientos de piezas en poco tiempo y con mínimos recursos. Esta combinación de técnicas, frente al escaneado exclusivo, tiene la ventaja de reducir hasta 50 veces menos el tamaño del fichero de datos.

A los modelos 3D obtenidos es posible asociar información documental de interés, tal como lugar y fecha de excavación, tipología, estimación de fecha de

construcción, etc. Cuando el archivo sea consultado en un catálogo, esta información estará anexa a la pieza.

En los modelos sólidos 3D se puede realizar una gran variedad de mediciones tales como distancias, ángulos, superficies y volúmenes. Además se pueden obtener cortes y secciones, y disponer de éstas es importante ya que nos da una visión que no da ninguna foto externa, nos proporcionan información para reconstruir una pieza con la calidad técnica de aquella época, calidad que se saca de observar la maestría en la técnica de cocción y modelado. Como es sabido, en arqueología se usa mucho la tipología, y la sección de un borde nos da una tipología de una cultura concreta (análisis tipológico). Para obtener esta misma información por métodos tradicionales habría que romper la pieza, lo cual no es posible.

6.2. Conclusiones

En este trabajo se han modelado piezas arqueológicas capturadas por medio de un escáner láser, con apoyo posterior de técnicas y software CAD. Se han desarrollado y aplicado dos métodos para la reconstrucción virtual de los restos arqueológicos incompletos, que se basan en la integración de los métodos tradicionales del dibujo arqueológico con el CAD.

Cada una de las piezas ha sufrido un proceso en el cual se ha obtenido el modelo 3D de la misma. A partir de este modelo se le ha pegado la textura real de la pieza, con lo cual se obtiene un efecto realista de alta calidad.

Con la obtención de modelos sólidos a partir de sus superficies externas, se permite a los arqueólogos realizar secciones para un análisis tipológico, sin romper la pieza.

Como línea de trabajo futuro, a partir de los modelos obtenidos de las diferentes piezas se podrían crear prototipos sólidos reales de las mismas. Para ello habría que utilizar técnicas de Rapid Prototyping a partir de las piezas en formato STL.

AGRADECIMIENTOS

Queremos mostrar nuestro sincero agradecimiento a los profesores M. Victoria Carballo-Calero, J. María Eguileta y Ladislao Castro de la Facultad de Historia de Orense por su asesoramiento y ayuda en este trabajo,

que forma parte de un proyecto de investigación financiado por la Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria de la Xunta de Galicia.

REFERENCIAS

- [1] Brill, R.H. (Ed.), *Science and Archaeology*. MIT Press, Cambridge, 1971.
- [2] Eiroa-Rodríguez, J.J., Bachiller-Gil, J.A., Castro-Pérez, L. and Lomba-Maurandi, J., *Nociones de tecnología y tipología en prehistoria*. Ed. Ariel, Barcelona, 1999.
- [3] Múnera, N., Lora, G.J. and Garcia-Sucerquia, J., *Evaluation of fringe projection and laser scanning for 3d reconstruction of dental pieces*. *Dyna-Colombia*, 171, pp. 65-73, 2012.
- [4] Lorenzo, H., Arias, P., Armesto, J., Riveiro, B., Solla, M., González-Jorge, H., Caaamaño, C., Álvarez, M., Lagüela, S., Puente, I., Díaz-Vilariño, L. and Varela, M., *Ten years of applying geomatics to construction engineering in Spain: a review*. *Dyna-Colombia*, 175E, pp. 129-146, 2012.
- [5] Lyons, P.D., Rioux, M. and Patterson, R.T., *Application of a Three-Dimensional Color Laser Scanner to Paleontology: An Interactive Model of a Juvenile Tylosaurus Sp. Basisphenoid-Basioccipital*. *Palaeontologia Electronica*, 3, 2000.
- [6] Wilhite R., *Digitizing Large Fossil Skeletal Elements for Three-dimensional Applications*. *Palaeontologia Electronica*, 5, 2003.
- [7] Baribeau, R., Cournoyer, L., Godin, G. and Rioux, M., *Colour Three-Dimensional Modelling of Museum Objects, Imaging the Past, Electronic Imaging and Computer Graphics in Museum and Archaeology*. *British Museum Occasional Paper Number 114*, pp. 199 – 209, 1996.
- [8] Baribeau, R., Rioux, M. and Godin, G., *Recent Advances in the use of a Laser Scanner in the Examination of Paintings*. En: *Proceedings of Restoration '92*, Amsterdam, 1992.
- [9] Adkins, L. and Adkins, R.A., *Archeological illustration*. Cambridge University Press, 2009.
- [10] Parcero-Oubiña, C., Méndez-Fernández, F. and Blanco-Rotea, R., *El registro de la información en intervenciones arqueológicas*. CAPA 9, 1999.
- [11] Page-Del Pozo, V. and Acosta-Maco, M.J., *El dibujo arqueológico*, Mula. 2002
- [12] Bertin, J., *Semiologie graphique. Les diagrammes, les réseaux, les cartes*, Gauthier-Villars, París, 1967.
- [13] *Non-contact 3D Digitizer VIVID 700/VI-700, Instruction Manual*, Minolta Co. Ltd, Japón 1998.
- [14] Karasik, A. and Smilansky, U., *3D scanning technology as a standard archaeological tool for pottery analysis: practice and theory*. *Journal of Archaeological Science*, 35, pp. 1148-1168, 2008.
- [15] Arbace, L., Sonnino, E., Callieri, M., Dellepiane, M., Fabbri, M., Iaccarino Idelson, A. and Scopigno, R., *Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue*. *Journal of Cultural Heritage*, Article in Press, 2012.
- [16] Kuzminsky, S. and Gardiner, M.S., *Three-dimensional laser scanning: potential uses for museum conservation and scientific research*. *Journal of Archaeological Science*, 39, pp. 2744-2751, 2012.
- [17] Foley, J.D., Van Dam, A. and Feiner, S.K., et al., *Computer Graphics: Principles and Practice*. Reading, Addison-Wesley, Massachusetts, 1995.
- [18] Farin, G., *Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design*. Morgan Kaufmann, 2001.
- [19] Roth, S.D., *Ray casting for modeling solids*. *Computer graphics an image processing*, 18. pp. 109-144, 1982.
- [20] Bronsvoort, W.F., Van Wijk, J.J. and Jansen F.W., *Two methods for improving the efficiency of ray casting in solid modeling*, *Computer-Aided Design*, 16, pp. 51-55, 1984.
- [21] Kajjiya, J.T. and Von Herzen, B.P., *“Ray tracing volume densities”*. *Computer Graphics*, 18(3), pp. 165-174, 1984.
- [22] *Rhinoceros. NURBS modeling for Windows. User's Guide*, Robert McNeel & Associates, Washington, USA 1999.