

# Modelos Virtuales como Herramienta en la Realización de Estudios Históricos de Edificios

Álvaro Rodríguez Miranda ([fgxromia@vc.ehu.es](mailto:fgxromia@vc.ehu.es))

Laboratorio de Documentación Geométrica de Patrimonio  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ARQUEOLOGÍA DE LA ARQUITECTURA  
(Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea)

Aulario de las Nieves, edificio de Institutos Universitarios,  
C/Nieves Cano 33. CP. 01006 Vitoria-Gasteiz (Álava)

Tlfno: 945-013264 / 945-013222; <http://www.vc.ehu.es/docarq>

**Comunicación presentada en:**

**1<sup>st</sup> International Workshop on ICTs, Arts and Cultural Heritage with Special Emphasis on Applications, Local Development and Informal Learning**  
**Donostia-San Sebastián, Spain**  
**5 May 2003**

<http://www.artnouveau-net.org/firstworkshop/index.html>

## **Resumen**

A continuación se presenta un método para la representación de elementos patrimoniales, especialmente edificios históricos, a partir de modelos virtuales. Se analizan las necesidades requeridas por los diferentes profesionales que intervienen en su estudio, historiadores y arquitectos fundamentalmente, así como las soluciones técnicas adoptadas.

## **Introducción**

El Grupo de investigación en Arqueología de la Arquitectura de la UPV-EHU, realiza el estudio histórico de edificios patrimoniales (ermitas, iglesias, torres, murallas, puentes, etc.); dentro de este equipo, el Laboratorio de Documentación Geométrica elabora la documentación geométrica, cuya representación consiste fundamentalmente en un modelo métrico tridimensional del elemento patrimonial, que puede incluir, en casos especiales, la representación vectorial exhaustiva (piedra a piedra) utilizando para su medida métodos topográficos y fotogramétricos (fig. 1).

Este modelo vectorial puede ser gestionado de manera versátil ya que todos sus elementos están individualizados y clasificados, pudiendo generarse planos de planta, vistas o alzados en los que se represente únicamente la información de interés en cada situación. También es susceptible de ser utilizado como soporte gráfico de una base de datos, lo que posibilita la generación automática de cartografía temática, pudiendo serle añadida tanta información no gráfica (estratigrafía, análisis químicos, petrológicos, . . .) como se deseé.

Aunque con los modelos vectoriales se tiene representación precisa de la geometría, carecen de la información sobre la textura de los elementos, por lo que es frecuente acompañarlos con una colección de fotografías. Las fotografías son documentos muy evocadores, sin embargo, no tienen validez métrica de por sí ya que corresponden a imágenes perspectivas, es decir, el factor de escala que relaciona las medidas realizadas sobre las fotografía y las reales no es constante. Existe, por otro lado, la posibilidad de modificar la geometría de las imágenes fotográficas de tal forma que este factor de escala sí sea constante convirtiéndolas en fotografías rectificadas. Hay que tener en cuenta que, aún en las imágenes rectificadas, sólo un plano concreto y sus paralelos mantienen el factor de escala (es decir, que sólo en estos planos pueden realizarse medidas). Una vez seleccionado el conjunto de planos paralelos, todas las mediciones realizada fuera de éstos siguen teniendo escala variable.

El siguiente paso consiste en emplazar estas texturas rectificadas en el modelo vectorial generando así un modelo virtual con validez métrica. Según lo dicho sobre la conservación de la escala, se ha de dividir el edificio a representar en un conjunto de planos que lo definan con suficiente precisión y situar cada textura de forma que individualmente sea métrica; aunque cuando se elija un punto de vista concreto, sólo se podrán realizar medidas en el plano frontal o en sus paralelos. Recordar que, para el estudio histórico, cada piedra tiene significado propio por lo que no se puede recurrir a materiales genéricos, siendo obligatorio utilizar textura fotográfica. Seguidamente, el

modelo se exporta en formato VRML (Virtual Reality Modeling Language) que, al ser un estándar, dispone de gran cantidad de herramientas que facilitan los tratamientos posteriores.

## Método

En el mercado existen varios programas que permiten realizar estos modelos, a grandes rasgos, pueden encuadrarse en alguno de estos grupos:

- Programas de rectificación: se basan en la transformación proyectiva bidimensional y, por lo tanto, calculan la relación entre las coordenadas sobre la imagen de un punto (2D: fila y columna) y las coordenadas XY que le corresponden al terreno (fig. 2). Son adecuados para rectificar fachadas aisladas o perspectivas de suelos, pero no sirven para elementos completos y es muy complicado unir las diferentes rectificaciones para formar un objeto tridimensional. Como característica positiva, la transformación proyectiva es independiente de los parámetros internos de la cámara por lo que puede utilizarse con imágenes procedentes de cámaras no métricas.
- Aplicaciones de fotogrametría monoscópica: fundamentados en las relaciones de colinealidad y ajuste de haces. Permiten trabajar directamente en el espacio 3D del objeto por lo que pueden obtener reconstrucciones realistas, según los modelos matemáticos que lleven implementados, permiten incluso prescindir de los puntos de apoyo, generando en este caso modelos sin escala. Este enfoque precisa que la geometría interna de la cámara sea conocida para cada toma, si se quieren obtener buenos resultados.

El problema que se planteaba es que las fotografías de que habitualmente se dispone proceden de cámaras digitales convencionales y que además son muy heterogéneas ya que es necesario utilizar diferentes distancias focales (zooms), enfoque a diferentes distancias, etc.

El segundo problema es que los elementos a representar cuentan con una geometría compleja, piénsese en la disparidad de formas, posiciones y disposiciones en las que aparecen muros. Hay que tener en cuenta que normalmente se trabaja con edificios que van a ser restaurados y que suelen tener problemas estructurales como falta de verticalidad de las paredes, abombamientos, asientos o desprendimientos. Y, por supuesto, todos estos efectos son interesantes y deben ser registrados, ¿cómo se añaden texturas a estas superficies complejas? Normalmente se recurre a dividirlas en mallas de triángulos, en las que cada triángulo es geométricamente una porción de plano sobre la que se puede colocar una textura. Este enfoque no proporciona, sin embargo, buenos resultados debido a los dos problemas anteriores (fotografía de geometría desconocida y superficies a representar complejas) a los que se suma que las texturas suelen tener una estructura muy patente, por ejemplo hiladas de sillares, lo que hace que aparezcan efectos "extraños" del tipo: hiladas que se doblan, paredes que se pliegan como papel, . . . .

El modelo generado no cumple su función, no tanto por la calidad geométrica (lo próximo que está geométricamente al edificio que representa) sino porque no es creíble, es decir, se supone que está construido de materiales rígidos que en el modelo aparecen deformados (fig. 3).

Descartado este procedimiento, se optó por desarrollar una aplicación específica que nos permitiera obtener modelos a partir de las fotografías disponibles.

Los programas del primer grupo de los anteriormente comentados se valen de la transformación proyectiva para rectificar las texturas, lo que les permite no precisar la geometría de la cámara en el momento de la toma pero, para poder utilizarlos en el modelado de objetos tridimensionales, el plano objeto debe ser definido a partir de un conjunto de puntos del modelo vectorial.

Seguidamente se resume el proceso para la generación del modelo (fig. 4):

- Marcar puntos de proyección (X,Y,Z), calcula el plano medio y las coordenadas de cada punto en este plano.
- Cálculo de la transformación proyectiva de las coordenadas bidimensionales del plano medio a las coordenadas bidimensionales de la fotografía (fila, columna).
- Marcar el perímetro de la zona a rectificar que se considera perteneciente al plano medio antes definido.
- Generar un objeto VRML, mediante planos con las coordenadas del perímetro y la textura fotográfica correspondiente. Estos elementos están en el sistema tridimensional de coordenadas del objeto.

Comparando resultados (fig. 3) se aprecia que el aspecto de los paramentos verticales es más acorde con la realidad, el inconveniente de este método es que los diferentes elementos pertenecientes a elementos contiguos no casan perfectamente, apareciendo pequeños huecos en los bordes, debido a la complejidad de los elementos patrimoniales, que obligan a delimitar esfuerzos simplificando el número de planos en los que se divide el objeto de estudio.

Adicionalmente, se genera un archivo con los perímetros de los elementos en formato de un programa de dibujo asistido por ordenador, permitiendo así, generar nuevos elementos en las zonas que, al quedar ocultas en las fotografías carecen de textura (fig. 5).

En principio, a estos nuevos elementos se les puede dar texturas similares a sus vecinos, disimulándose en la escena; preferimos, sin embargo, dejarlos en color para marcar que no son elementos fotografiados, sino obtenidos del modelo alámbrico (fig. 6).

El modelo final se genera en formato VRML que es un estándar y pueden visualizarse en cualquier navegador de Internet sin más que instalar el correspondiente

visor, la mayoría de los cuales son gratuitos. Este modelo puede ser editado en programas de diseño asistido por ordenador para añadir luces, efectos, animaciones, . . .

Como todos los elementos (cada porción de muro, suelo, . . .) están en el sistema tridimensional de coordenadas objeto, se pueden generar escenas con los que se consideren convenientes. También, pueden añadirse elementos externos procedentes, por ejemplo de la cartografía oficial.

Al igual que se pueden generar modelos virtuales a partir de imágenes fotográficas, pueden generarse a partir de fotografías modificadas, por ejemplo coloreadas para diferenciar unidades estratigráficas (fig. 7). También se puede generar a partir de cualquier otro tipo de croquis o dibujo con tal que sus puntos se puedan referir a las coordenadas tridimensionales del modelo vectorial (fig. 8). Por lo tanto, no sólo se puede representar el edificio tal y como es sino también las hipótesis históricas de trabajo e incluso añadir las propuestas de actuación.

Finalmente, reseñar que como tanto el modelo vectorial como el virtual están en el mismo sistema tridimensional de coordenadas pueden obtenerse representaciones conjuntas, que combinan las ventajas de ambos (fig. 9 y 10).

Después de aplicar este método a diversos elementos patrimoniales de complejidad variada y tras introducir las mejoras que solventan los problemas encontrados, consideramos que los resultados son adecuados al objetivo propuesto. No obstante, el desarrollo no se considera terminado y se están realizando pruebas para abordar otras geometrías como superficies de revolución o las nubes de puntos que proporcionan los modernos escáneres tridimensionales.

Este programa está descrito, de manera más exhaustiva, en la página web del Laboratorio ([www.vc.ehu.es/docarg](http://www.vc.ehu.es/docarg)), desde donde puede ser descargado.

## Referencias

- BARBARELLA M., FIANI M. (1996); *Digital Images in Support of Historical Building Data Bases*. En Data Acquisition and Analysis for Multimedia GIS. Springer, New York.
- COLOMBO L., FANGI G., TUCCI G. (1996); *Examples of Architectural Databases*. En Data Acquisition and Analysis for Multimedia GIS. Springer, New York.
- GHOSH S.K. (1987); *Analytical Photogrammetry*. Pergamon Press, NY.
- PARENTI R. (2002); *Dalla Stratigrafia all'Archeologia dell'Architettura. Alcune Recenti Esperienze del Laboratorio Senese*. Arqueología de la Arquitectura, nº 1, págs. 73-82. Vitoria-Gasteiz.

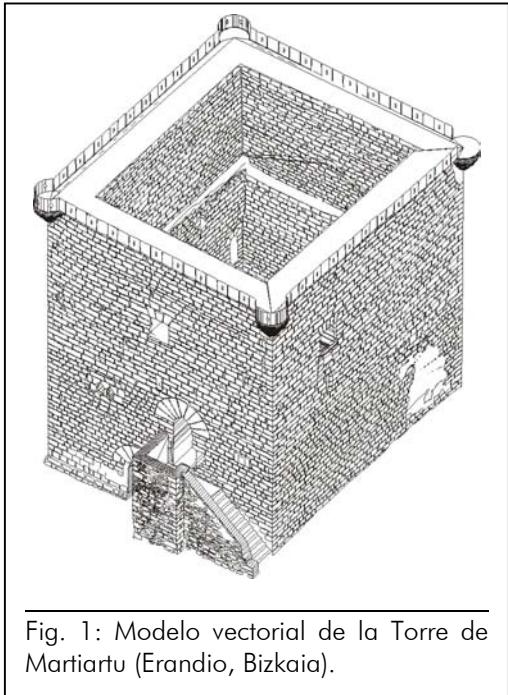


Fig. 1: Modelo vectorial de la Torre de Martiartu (Erandio, Bizkaia).

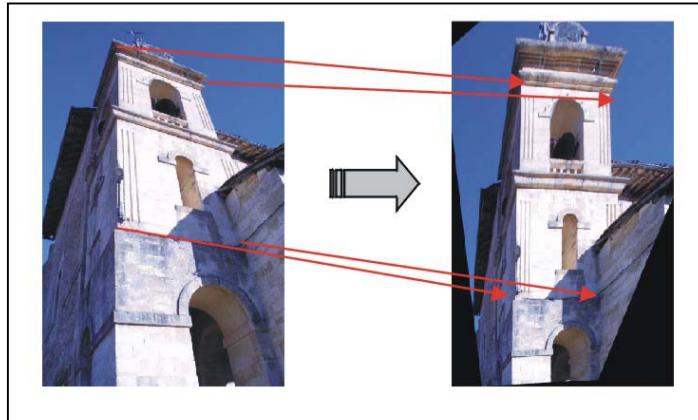


Fig. 2: Fotografía original y rectificada.

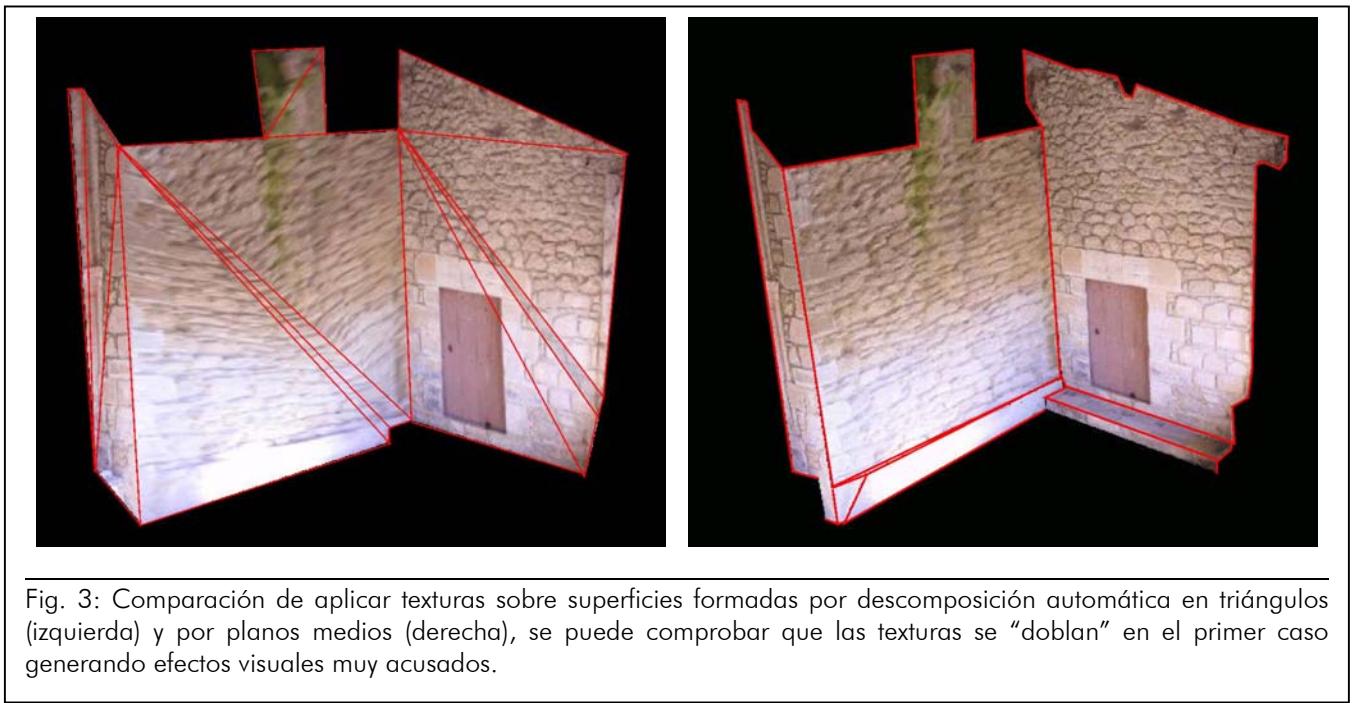


Fig. 3: Comparación de aplicar texturas sobre superficies formadas por descomposición automática en triángulos (izquierda) y por planos medios (derecha), se puede comprobar que las texturas se “doblan” en el primer caso generando efectos visuales muy acusados.

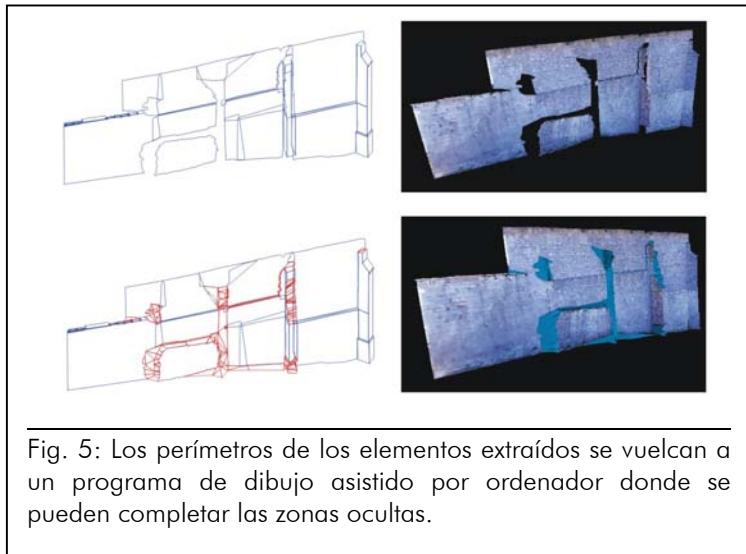


Fig. 5: Los perímetros de los elementos extraídos se vuelcan a un programa de dibujo asistido por ordenador donde se pueden completar las zonas ocultas.

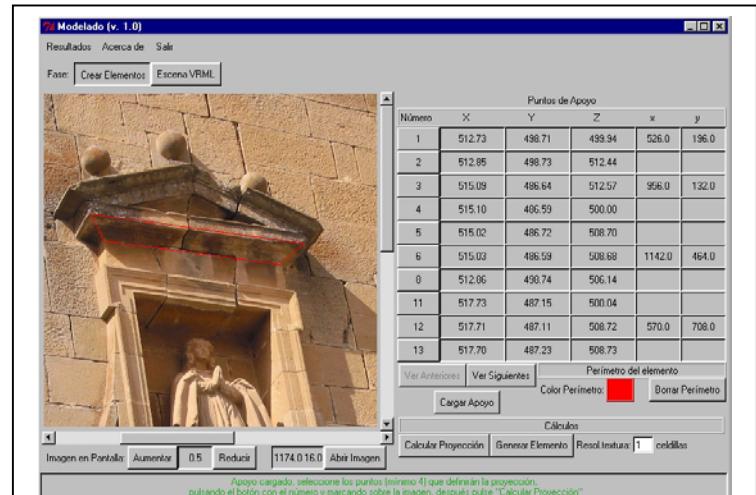


Fig. 4: En esta figura se pueden ver las fases comentadas para la extracción de elementos. Los puntos identificados (zona de la derecha) y de los que se dispone de coordenadas tridimensionales (sistema objeto) y sobre la fotografía, permite definir el plano medio y los parámetros de la transformación proyectiva. Por otro lado, el perímetro dibujado sobre la imagen selecciona la parte del plano a utilizar.

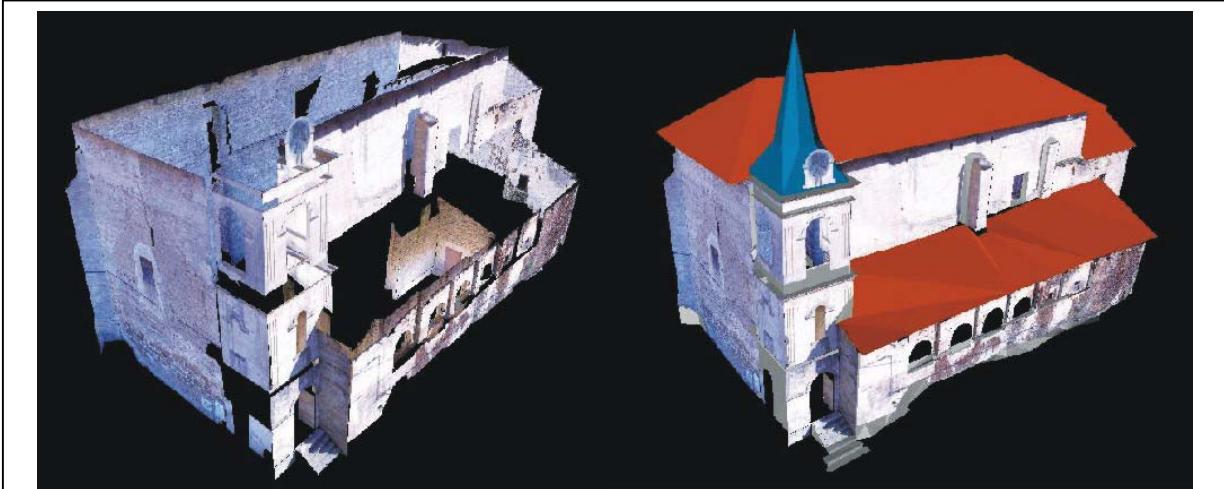


Fig. 6: Modelo virtual de San Martín de Arlucea (Álava). A la izquierda sólo elementos rectificados, en el de la derecha se ha completado y se han añadido los tejados.

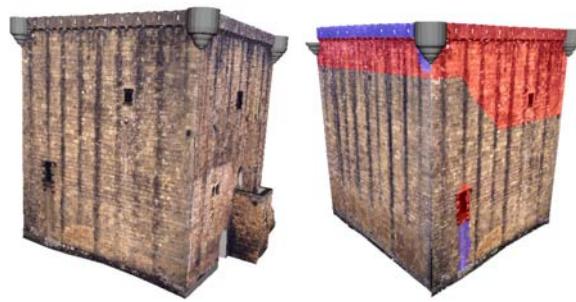


Fig. 7: Modelo Virtual de la Torre de Martiartu. Puede representar el estado actual o hipótesis de trabajo como en la imagen de la derecha obtenida con fotografías coloreadas.

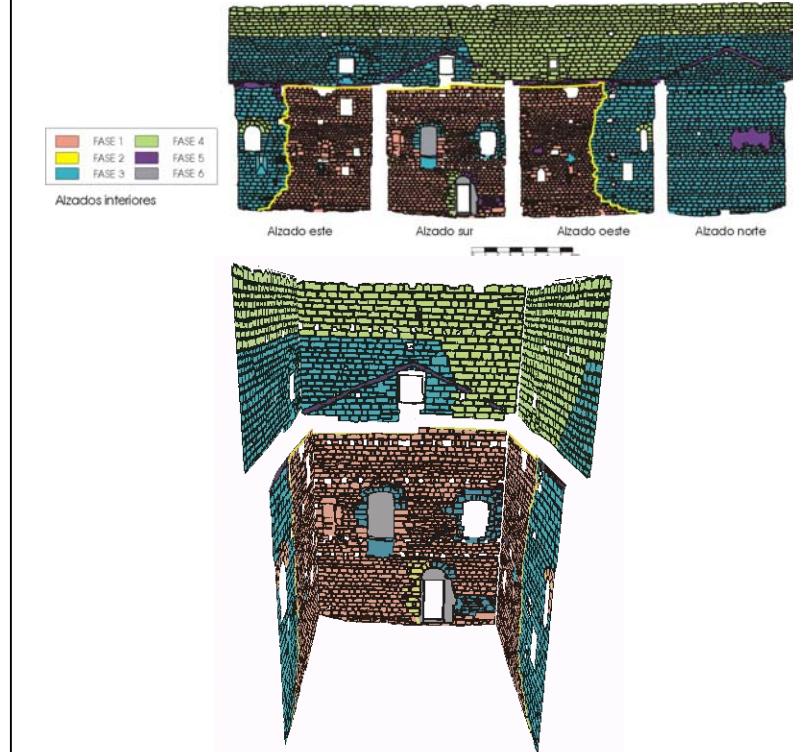


Fig. 8: Modelo 3D generado (imagen inferior) a partir de los alzados ya clasificados, la imagen pertenece al interior de la Torre de Martiartu.

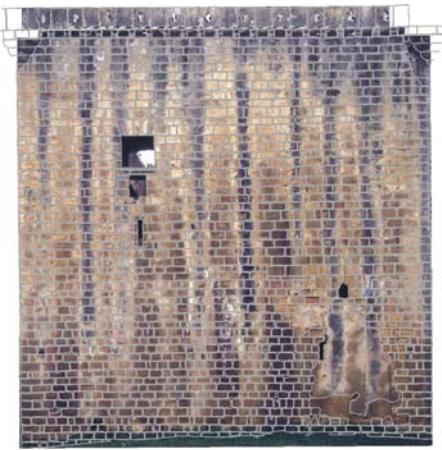


Fig. 9: Alzado de la restitución fotogramétrica con la imagen rectificada de fondo.

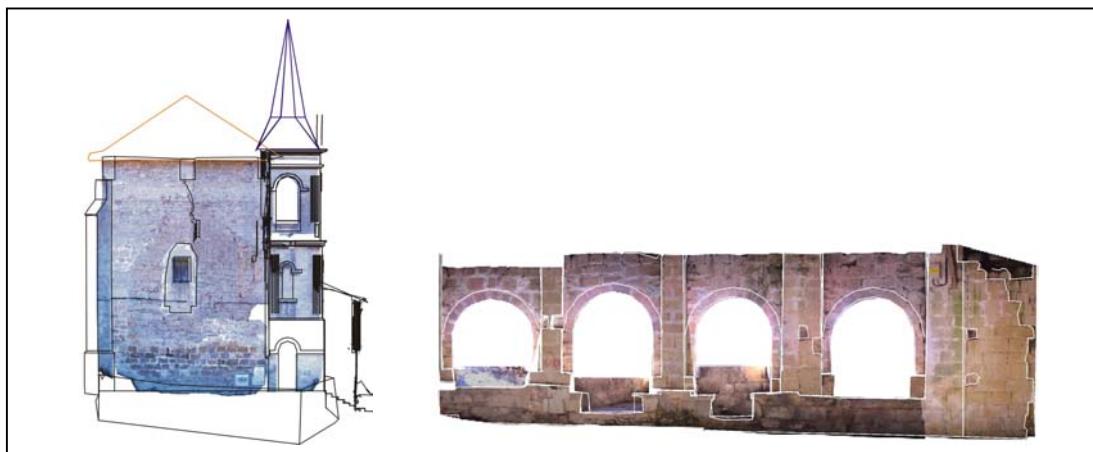


Fig. 10: Alzados de la fachada Oeste y del interior del pórtico de Arlucea, se ha complementado el volumétrico utilizando la textura de fondo.