

Objeto de estudio

El objeto de estudio es un busto del emperador Adriano encontrado en el yacimiento arqueológico de Los Torrejones. Este fue encontrado durante la campaña de excavación realizada en el año 2014 (Figura 1), bajo la dirección de Liborio Ruiz Molina, actual director de la excavación y director del Museo Arqueológico de Yecla. En la actualidad el busto está expuesto en el propio museo arqueológico y se considera el último busto encontrado hasta la fecha en Europa de estas características y calidad.

El busto fue esculpido en un único bloque de mármol procedente de la cantera imperial de Göktepe (Mugla, Turquía). Las dimensiones de la pieza son de 55 cm de altura, de 26 cm de anchura y 27,5 cm de largo. La cabeza tiene un tamaño ligeramente superior al natural y está definida como tipo Rollockenfrisur, debido principalmente a los nueve rizos, los cuales giran a la izquierda, que enmarcan la frente. El busto puede venir del taller romano D o C y esta datado en el año 135 d.C.



Figura 1. Descubrimiento del busto en el yacimiento por Liborio Ruiz.

Yacimiento de Los Torrejones

El yacimiento arqueológico de Los Torrejones se encuentra ubicado en las cercanías de la Vía Hercúlea y los primeros trabajos arqueológicos datan de 1842 y 1879, aunque no se tiene constancia documental. Posteriormente, a partir de 1959, se empezaron a realizar diversas campañas arqueológicas, bajo la dirección de Manuel Amante (Amante, 1985-1987-1991), aunque en la actualidad es Liborio Ruiz Molina el director de la excavación de dicho yacimiento. La zona del yacimiento fue un cruce de caminos (Figura 2), en el cual se encontraban la Vía Interior, que unía el Levante con la Alta Andalucía, y las vías que conectaban la costa sudeste mediterránea con el interior de la península (Ruiz, 1988).

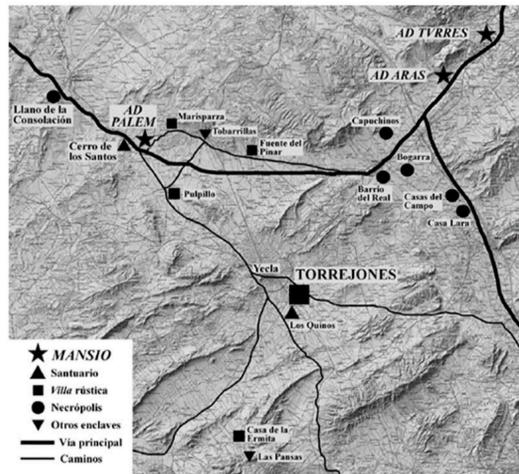


Figura 2. Enclaves y trazados viarios en las proximidades del paraje de Los Torrejones

La villa de los Torrejones, que aún está en fase de excavación, consta con los estudios y trabajos actuales de al menos 5 fases de uso (Figura 3). La primera de las fases, en torno al siglo I a.C., correspondería a los restos encontrados de una instalación agropecuaria tardorrepublicana. Después vendría el periodo en el que se funda la villa propiamente dicha en si en los siglos I-III d.C.

Este periodo destaca por ser el de mayor esplendor de la villa y por el carácter monumental que alcanza. Gracias a las excavaciones realizadas entre el 2014 y el 2016 se permitió determinar la planta rectangular (Fig. 5) articulada en torno a un peristilo porticado con un estanque central y un canal perimetral que actuaba a modo de rebosadero. Este peristilo porticado nos hace recordar el canopo de Villa Adriana. (Noguera y Ruiz, 2020)

En la parte sur de la villa, se encuentra una exedra rectangular en la cual se encontró el busto objeto de este trabajo (Noguera y Ruiz, 2020). Esta habitación estaría completamente pintada (Halcón, 2017) y con esculturas en las paredes, entre ellas una pantera y una cabeza, las cuales han sido encontradas.

En la parte interior de la estancia había una zona elevada de mármol donde se situaba el propietario de la villa. Esta sala era probablemente la sala pública de la casa, debido a las diferentes muestras de lujo y, además, como vemos en la Figura 4, esta habitación está en el eje longitudinal de simetría, siendo una de las habitaciones más grandes encontradas hasta ahora de la villa.

En la fase 3, entre los siglos IV-V d.C., se realiza una fortificación de la villa, añadiendo una torre de planta cuadrada en el flanco oriental de la villa además de un tramo de muralla, los cuales se reforzarían en la siguiente etapa, fase 4 (siglo VI d.C.), en la cual se produciría el progresivo abandono del lugar. Por último, durante el siglo XII, correspondiente al dominio almohade, la villa se volvería a ocupar construyendo sobre las ruinas de la propia villa una torre de alquería y unos baños (Ruiz, 2011), siendo ésta la última fase de ocupación de la villa.

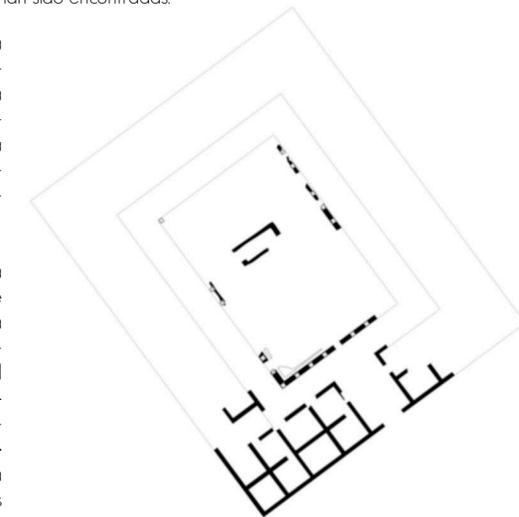


Figura 3. Planimetría de la villa durante su segundo periodo de uso.

Medición

La toma de datos se realizó en una de las salas del interior del museo el día 9 de marzo de 2020. El busto se trasladó de su lugar habitual de exposición mediante el personal técnico cualificado del museo al centro de una sala, situándolo en el propio pedestal que poseía el propio museo.



Figura 4. Toma de datos realizada con fotogrametría.

Se procedió a la realización de las diferentes fotografías para elaborar el modelo (Figura 4). Estas fotografías se realizaron en circunferencias de diferentes alturas alrededor del modelo a escanear, generando un total de 8 anillos. Para esta modelización se han realizado un total de 184 fotografías, en formato RAW

Modelización

Para comenzar el trabajo de modelización se importan las 184 fotografías realizadas al programa Adobe Lightroom. Todas las fotografías se realizaron en formato RAW para posteriormente realizar una corrección de color.

A continuación, se pasa a trabajar en Agisoft Metashape Professional, en el que se importan las fotografías en formato .jpg. Primero se detectan automáticamente todos los marcadores preseñalizados colocados alrededor de la pieza y manualmente los tres puntos naturales del busto y, a estos marcadores, se le asignan los valores medidos con la multitiestación para dotar al modelo de escala. Tras colocar los marcadores se realiza una orientación relativa e interna de las imágenes, obteniendo la posición de las cámaras en el momento de la toma (Figura 5).

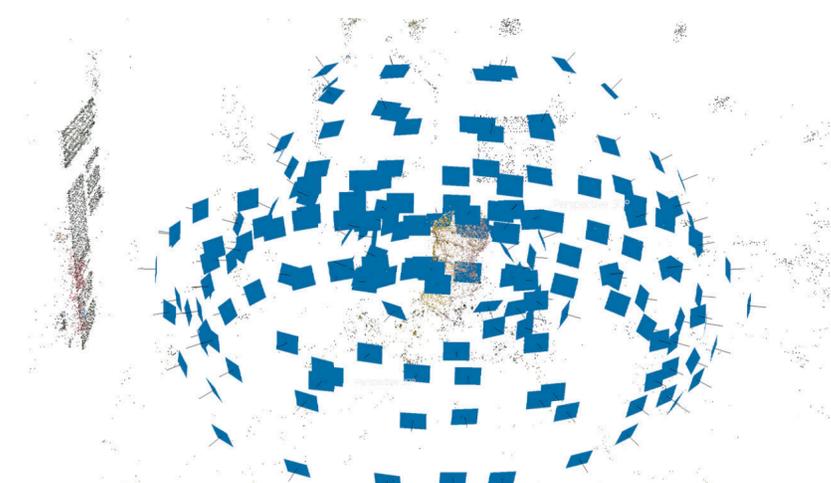


Figura 5. Espacio de trabajo en Metashape con la orientación relativa de las imágenes y la nube de puntos de enlace.

Se realiza la densificación de la nube de puntos en calidad alta y con un filtrado de profundidad, obteniendo un total de 5.043.552 puntos. Con esta nube de puntos es necesario realizar una depuración manual de los puntos, borrando aquellos que no pertenecen al modelo a realizar.

Para generar el primer modelo tridimensional se utiliza la nube de puntos densa depurada para generar una malla triangular. Este proceso se produce uniendo los puntos de la nube de puntos entre si, obteniendo una malla de 472.824 caras.

Esta malla necesita un proceso de depuración y edición de la misma para perfeccionarla. Estos procesos son principalmente el cerrado de huecos, eliminación de puntos erróneos, ...

Se realiza un cerrado manual de huecos (Figura 6), puesto que la pieza estaba apoyada en un pedestal, toda la parte inferior y parte de la posterior no se encuentra modelizada, puesto que no se pudieron obtener imágenes de esa zona. En este paso se realiza un cerrado manual de esos huecos de tal forma que se recupere la geometría original de la pieza (Cipriani, et al., 2015) sin falsificar la forma de la pieza y dejando especificada la zona manual cerrada.

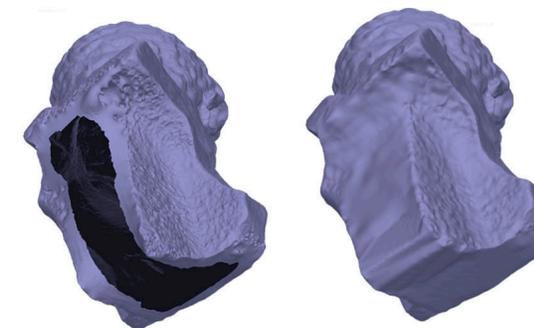


Figura 6. Detalle del hueco y su posterior cerrado.

El siguiente paso consistiría en generar la propia textura del modelo y su proyección en él, dotando así de mayor realismo a la pieza. Para ello, se importaría el obj en el proyecto creado anteriormente en el programa Agisoft Metashape Professional. En este programa se generaría la textura del modelo a partir de las fotografías anteriormente orientadas generando un mapa de texturas de 4.096x4.096 píxeles de resolución.

En este caso, para ver la importancia de la corrección de color usada, se ha decidido generar la textura con corrección de color y sin él. En la Figura 7 se puede apreciar los diferentes cambios en la tonalidad del color rectificadas además de las diferentes correcciones realizadas en la textura para arreglar las zonas que se han tenido que modelizar porque estaban ocultas a la hora de hacer las fotografías. Por último, se aplicaría al modelo final obteniendo un modelo de malla triangular de alta resolución (Figura 9).



Figura 7. Mapa de textura desplegada sin corregir a la izquierda y a la derecha una vez aplicada la corrección de color.



Figura 8. Resumen fases de modelizado. Nube de puntos de enlace, nube de puntos densa, malla alámbrica, malla con superficie y malla texturizada.



Figura 9. Imagen del modelo final.

Reproducción del busto mediante impresión 3D

El modelo de alta resolución puede servir para generar réplicas realizadas mediante impresión 3D. Para ello el modelo se debe exportar en formato stl. Este se trata de un formato optimizado para poder importarlo en los programas de preparación de la impresión. En este caso se utiliza el programa de software libre Prusaslicer, en el que se orientaría el modelo en una impresora virtual, se colocarían los diferentes soportes que permiten una correcta impresión y la división del modelo en las diferentes capas con las que trabaja la impresora 3D (Figura 10) realizando una exportación en formato gcode.

El archivo gcode se manda a la impresora, en este caso la impresora Ender 3, la cual nos permite obtener un modelo físico del busto modelizado (Figura 11).

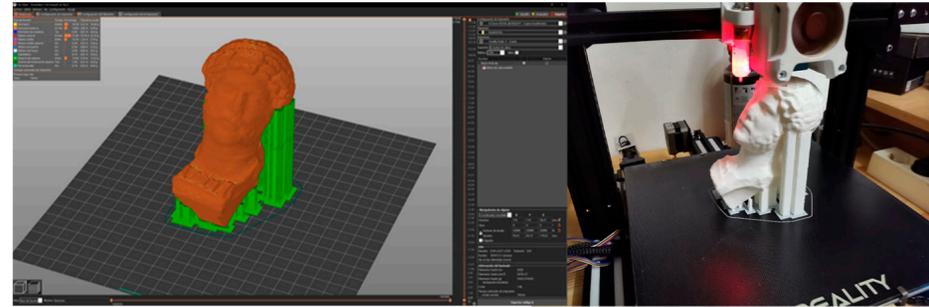


Figura 10. Preparación del busto en el programa Prusaslicer para la impresión 3D.

Figura 11. Proceso de impresión 3D del busto.

Optimización del modelo (Retopología)

La retopología consiste en una reducción de la geometría reduciendo el número de caras del modelo y pasando de una estructura de malla triangular a una estructura cuadrangular.

Para aplicarle textura al modelo de malla cuadrangular, ahora denominado low poly se debe generar un mapeado UV del modelo. En este proceso, se toma una malla tridimensional y se desenvuelve sobre una imagen bidimensional. El texturizado UV permite que los polígonos que componen un objeto 3D se les pueda asignar un color u otro atributo de superficie (Figura 12).

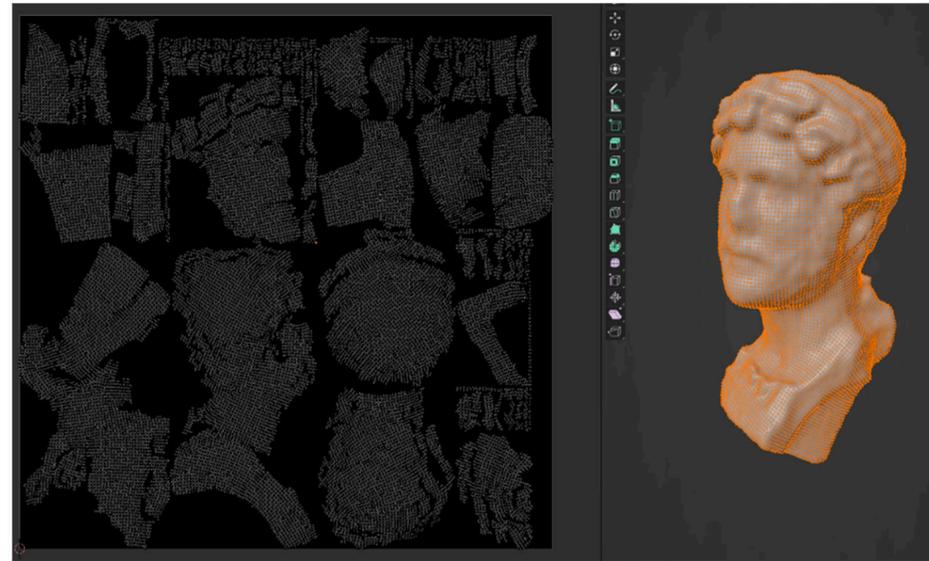


Figura 12. Modelo de malla cuadrangular y su mapa de UV.

Después tenemos que realizar un reproyectado de la textura del modelo de alta resolución triangular a este modelo. Este proceso se realiza debido a que el mapa de UV del nuevo modelo es diferente al modelo de malla triangular.

Esta textura generada para el modelo optimizado se debe de acompañar de un mapa de normales y un mapa de desplazamiento. En cuanto al mapa de normales se trata de una imagen formada por 3 colores que representan cada uno de los ejes del espacio 3D: rojo para la X, verde para la Y, azul para la Z. Este mapa nos da la información de como rebota la luz en el modelo 3D y se consigue haciendo el "bake" desde el modelo de alta resolución.

Por otro lado, el mapa de desplazamiento consiste en una imagen en blanco y negro que interpreta de la textura cuales son las partes de la textura que sobresalen, marcadas en blanco, y cuales las que se hunden, marcadas en negro.

Por último, se decide generar el mapa de rugosidad. Este mapa consiste en una imagen en escala de grises, la cual indica la cantidad de luz que refleja cada parte del modelo, yendo desde el valor negro, siendo este el mínimo, al blanco.

DOCUMENTACIÓN Y MODELIZACIÓN DEL BUSTO DE ADRIANO.

González García, Jesús Ángel

Estas cuatro capas, el mapa de color, el de normales, el de desplazamiento y el de rugosidad; se aplicarían al sistema que formaría el material del modelo optimizado, dando por terminada la optimización del modelo y la posible exportación de este en formato obj (Figura 13).

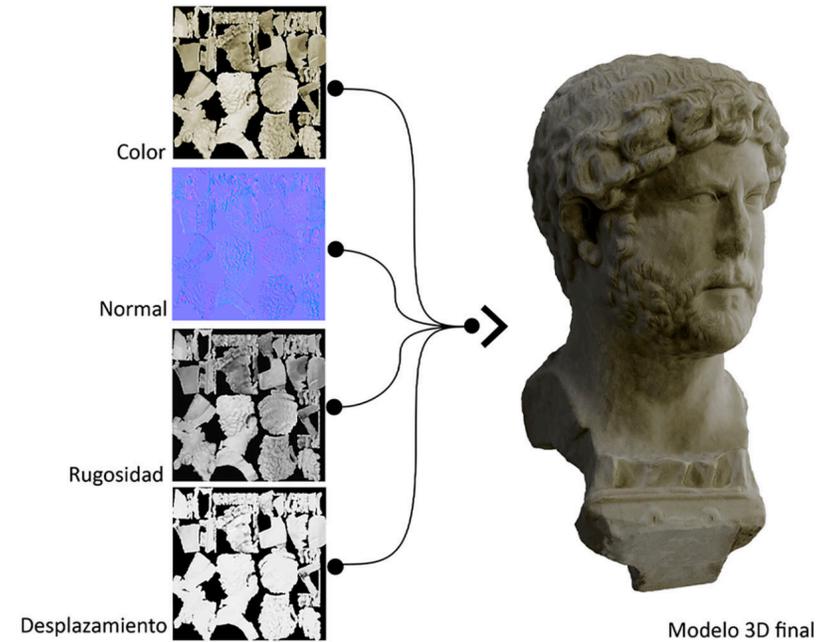


Figura 13. Resumen de los mapas de texturas que componen la materialidad del modelo optimizado.

La optimización del modelo tridimensional ha dado como resultado un modelo el cual ocupa tan solo un 5% del tamaño del archivo de alta resolución con una reducción del 93% de vértices del modelo.

Este modelo optimizado no pierde calidad visual respecto al modelo de alta resolución debido a la aplicación de los diferentes mapas de texturas generados. En esta comparación se puede ver la diferencia entre las dos mallas que lo forman (Figura 14)

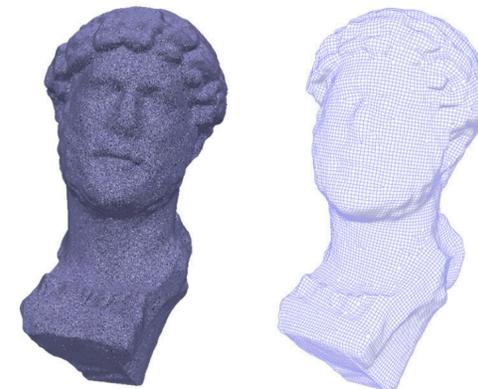


Figura 14. Comparación de la malla triangular (izquierda) con la malla optimizada (derecha).

Hipótesis de reconstrucción de la villa de Los Torrejones

Para completar la contextualización del busto se realiza una hipótesis de reconstrucción de la villa de los Torrejones, incluyendo una teórica posición del busto en la estancia en la que fue hallado y en la que parece ser estaba en el s. II d. C. Para hacer esta hipótesis se trabaja en el programa de modelado 3D Rhino 7.0. En él se importa la planta del Plan Director del 2020 (Ruiz, 2020) y se realiza la vectorización de la imagen.

A la hora de determinar las alturas de las distintas plantas de la villa se va a tomar como referencia la base de las columnas que se encuentran en la zona del corredor interior. Estas columnas se establecen como el orden arquitectónico compuesto, debido a la concordancia entre el periodo de máximo esplendor de la villa con la fecha del estilo. Tras determinar estos datos de partida se utiliza el Tratado de Vignola (1562), el cual nos permite modelizar una columna tipo (Figura 15) determinando la altura del propio corredor de la villa, como se ha hecho en otras villas romanas (González y Riquelme, 2020) y, por tanto, se consiguen deducir las dimensiones del resto de elementos necesarios para la recreación de la villa.

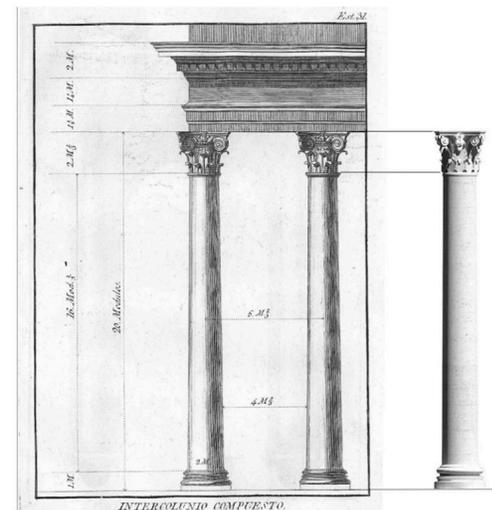


Figura 15. Columna modelizada comparada con la columna del tratado de Vignola

A la hora de plantear la textura del modelo solo se dispone de la información de la pintura muraria de la habitación de la entrada, siendo esta muy fragmentada y de colores muy vivos, rojos, amarillos ocres y negro como predominantes (Fernández, 1993), por tanto, se decide establecer una textura base neutra, de color blanco de un estucado con posibilidad de que en el futuro se pueda sustituir por una reconstrucción de pintura muraria de la villa.

En cuanto al pavimento de la villa se decide colocar una textura de *Opus spicatum* en el corredor del peristilo, siendo este pavimento uno de los más comunes para zonas exteriores en este periodo. Para las salas interiores se establecen dos diferentes tipos de mosaicos, ambas texturas se han sacado del propio pavimento encontrado en las habitaciones de Villa Adriana.

Para finalizar, se dota de una textura de madera a las cerchas que forman la cubierta del corredor del peristilo y una textura de teja cerámica romana para la cubierta, teniendo una previsualización de los diferentes materiales en la sección mostrada en la Figura 16.

En esta hipótesis de reconstrucción de la villa también se ha realizado una hipótesis de colocación del busto, situado en la sala donde se encontró y colocado sobre un pedestal, detrás de donde estaría el propietario de la villa recibiendo a los visitantes.

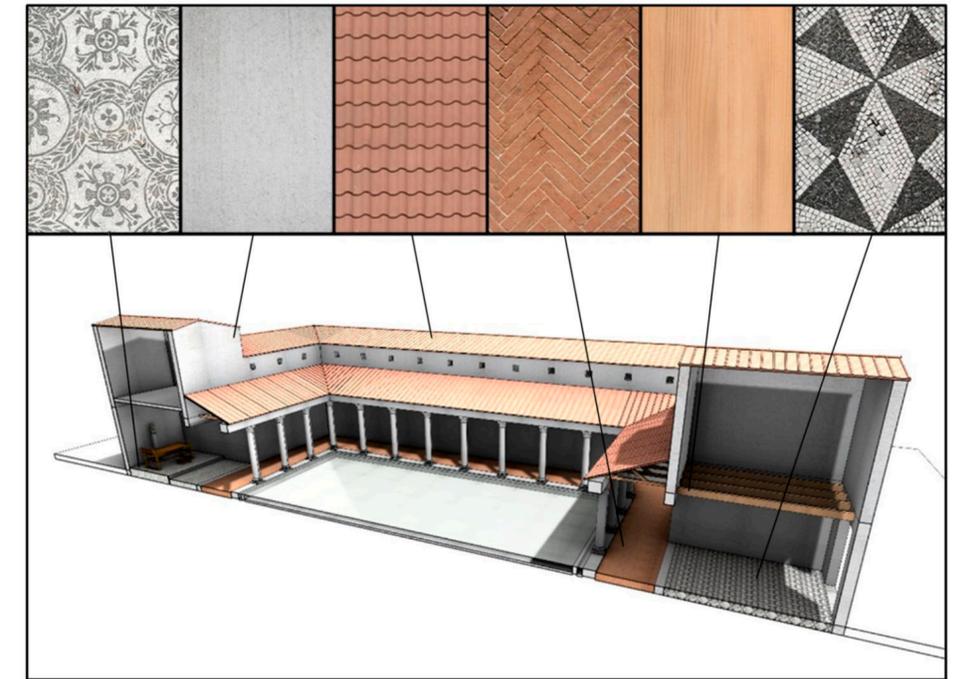


Figura 16. Sección de la hipótesis de reconstrucción de la villa con las texturas utilizadas.

Se ha obtenido una hipótesis de reconstrucción de la villa de los Torrejones (Figura 17) en 3d con una propuesta de materialidad la cual, en futuros estudios y con los resultados de las nuevas excavaciones se puede completar. Este modelo puede permitir a los visitantes del yacimiento tener una idea aproximada de que es lo que se encontraba pudiendo llegar a implantar tecnologías de realidad aumentada o la impresión 3D.

También, mediante este modelo de la villa es posible la generación de un video en el que se mostraría el recorrido que realizaría un visitante desde la entrada de la villa al lugar donde estaría el propietario de la villa recibiendo las visitas y la hipótesis de colocación del busto modelizado. La textura del modelo ha sido neutra ya que aún no se ha avanzado en la reconstrucción muraria de la villa y por tanto se ha optado por realizar la hipótesis del edificio tridimensional, pero con el carácter neutro de los detalles que aún no se ha llegado a un acuerdo por parte de los expertos arqueólogos.



Figura 17. Renderizado de la hipótesis de reconstrucción de la villa de Los Torrejones