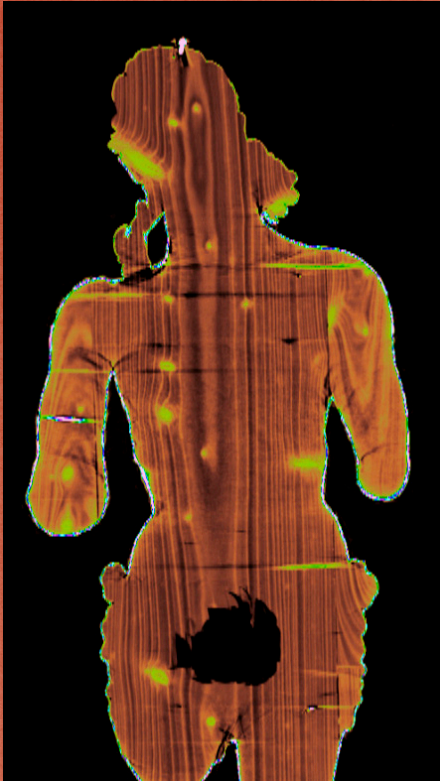


APLICACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA MÉDICA PARA EL ANÁLISIS Y ESTUDIO EN ESCULTURA POLICROMADA EN MADERA



Tesis presentada por: ***M^a Francisca Sarrió Martín***

Tesis dirigida por: ***Carmen Pérez García***
José Antonio Madrid García
David Juanes Barber



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Noviembre 2015



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

APLICACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA MÉDICA PARA EL ANÁLISIS Y ESTUDIO EN ESCULTURA POLICROMADA EN MADERA

Tesis presentada por:
M^a Francisca Sarrió Martín

Tesis dirigida por:
Carmen Pérez García
José Antonio Madrid García
David Juanes Barber



Noviembre 2015

Dr. D. JOSE ANTONIO MADRID GARCÍA. Profesor Titular del Dpto. de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Facultad de Bellas Artes de San Carlos, de la Universidad Politécnica de Valencia.

Dra. D^a. CARMEN PÉREZ GARCÍA. Catedrática jubilada del Dpto. de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Facultad de Bellas Artes de San Carlos, de la Universidad Politécnica de Valencia. Subdirectora de Conservación, Restauración e Investigación IVC+R CulturArts Generalitat.

Dr. D. DAVID JUANES BARBER. Técnico Superior de Investigación en el Laboratorio de Materiales de la Subdirección de Conservación, Restauración e Investigación IVC+R CulturArts Generalitat.

CERTIFICAN: que la tesis doctoral titulada “Aplicación de la tomografía computarizada médica para el análisis y estudio en escultura policromada en madera” realizada por la doctoranda M^a Francisca Sarrió Martín, para optar al grado de doctor, ha sido llevada a cabo bajo su dirección y reúne los requisitos suficientes para su lectura.

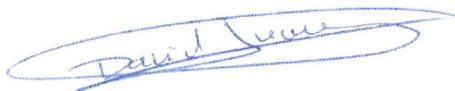
Y para que así conste, firman este certificado en Valencia a 13 de noviembre de 2015



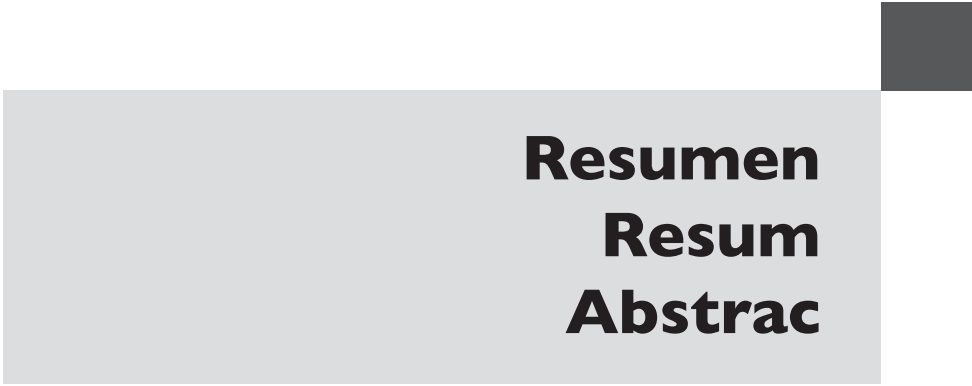
Fdo: D^a. Carmen Pérez García



Fdo: D. José A. Madrid García



Fdo: D. David Juanes Barber



Resumen
Resum
Abstrac

■ RESUMEN

Resulta incuestionable la proliferación de métodos no invasivos de análisis científicos que son utilizados en el estudio de los Bienes Culturales. La mayoría de estas técnicas de análisis y diagnóstico han sido desarrolladas en otras áreas con mayor proyección y desarrollo, como pueden ser la medicina, la industria o la ingeniería, entre otras. Pero no por ello se considera exclusivo su uso en dichos campos. La adaptación de las mismas al estudio de los Bienes Culturales resulta esencial en la actualización de nuevos métodos de análisis aplicados al campo de la conservación y restauración. La tomografía computarizada (TC) de uso médico es una de esas técnicas que ha podido ser aplicada en el estudio de obras de arte.

El uso de la misma ha abierto un amplio abanico de posibilidades en el estudio de la estructura interna, la técnica de ejecución y el estado de conservación de un objeto escultórico. Esto ha suscitado un gran interés por parte del restaurador a la hora de utilizar dicha técnica como herramienta de trabajo.

Desde el año 2006 la Subdirección de Conservación, Restauración e Investigación IVC+R Culturarts Generalitat y el Servicio de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Diputación de Castellón (SCRC) en colaboración con el Servicio de Radiodiagnóstico del Consorcio Hospitalario Provincial de Castellón están llevando a cabo una serie de estudios mediante tomografía computarizada (TC) de uso médico aplicados al análisis, principalmente, de escultura policromada en madera.

El propósito de esta investigación, después de estos años de trabajo, es profundizar en las posibilidades de esta técnica, ya que resulta una poderosa herramienta de análisis y estudio, sobre todo en escultura policromada en madera.

La investigación se inicia con una introducción y un análisis del estado de la cuestión, para continuar con los objetivos y la metodología de trabajo.

El estudio se ha llevado a cabo en tres fases diferenciadas. Una primera fase teórica en la que se desarrolla todo lo relacionado con la tomografía computarizada de uso médico como tal, y las características y alteraciones que afectan al estado de conservación de la escultura policromada en madera.

Una segunda fase experimental en la que se han analizado las capacidades y limitaciones de los distintos tomógrafos utilizados, Siemens Somatom Definition Flash[®] y Siemens Somatom Sensation 16[®], para posteriormente proceder al análisis, mediante la utilización de los mismos, de una probeta patrón realizada como modelo real de una escultura en madera.

Para finalizar, una fase práctica definida en dos bloques. Un primer bloque que iniciaremos con la adaptación del procesado de las imágenes tomográficas al objeto de establecer una metodología de trabajo y unos protocolos de estudio. Y un bloque final, núcleo fuerte de la investigación, en el que estudiaremos dieciséis casos de imágenes religiosas policromadas en madera aplicando la metodología y los protocolos de estudios establecidos en esta investigación.

■ RESUM

Resulta inqüestionable la proliferació de mètodes no invasius d'anàlisis científiques que són utilitzats en l'estudi dels Béns Culturals. La majoria d'estes tècniques d'anàlisi i diagnòstic han sigut desenvolupades en altres àrees amb major projecció i desenvolupament, com poden ser la medicina, la indústria o l'enginyeria, entre altres. Però no per açò es considera exclusiu el seu ús en estos camps. L'adaptació de les mateixes a l'estudi dels Béns Culturals resulta essencial en l'actualització de nous mètodes d'anàlisis aplicades al camp de la conservació i restauració. La tomografia computada (TC) d'ús mèdic és una d'eixes tècniques que ha pogut ser aplicada en l'estudi d'obres d'art.

L'ús de la mateixa ha obert un ampli ventall de possibilitats en l'estudi de l'estructura interna, la tècnica d'execució i l'estat de conservació d'un objecte escultòric. Açò ha suscitat un gran interès per part del restaurador a l'hora d'utilitzar esta tècnica com a eina de treball.

Des de l'any 2006 la Subdirecció de Conservació, Restauració i Investigació IVC+R Culturarts Generalitat i el Servei de Conservació i Restauració de Béns Culturals de la Diputació de Castelló (SCRC), en col·laboració amb el Servei de Radiodiagnòstic del Consorci Hospitalari Provincial de Castelló, estan duent a terme una sèrie d'estudis mitjançant tomografia computada (TC) d'ús mèdic aplicats a l'anàlisi, principalment, d'escultura policromada en fusta.

El propòsit d'esta recerca, després d'estos anys d'estudi, és aprofundir en les possibilitats d'esta tècnica, ja que resulta un poderós instrument d'anàlisi i estudi, sobretot en escultura policromada en fusta.

La investigació s'inicia amb una introducció i una anàlisi de l'estat de la qüestió, per a continuar amb els objectius i la metodologia de treball.

L'estudi s'ha dut a terme en tres fases diferenciades. Una primera fase teòrica en la qual es desenvolupa tot el relacionat amb la tomografia computada d'ús

mèdic com a tal i, les característiques i alteracions que afecten a l'estat de conservació de l'escultura policromada en fusta.

Una segona fase experimental en la qual s'han analitzat les capacitats i limitacions dels diferents aparells de TC utilitzats, Siemens Somatom Definition Flash[®] i Siemens Somatom Sensation 16[®], per a posteriorment procedir a l'anàlisi, mitjançant la utilització dels mateixos, d'una proveta patró realitzada com a model real d'una escultura en fusta.

Per a finalitzar, una fase pràctica definida en dos blocs. Un primer bloc que iniciarem amb l'adaptació del processament de les imatges tomogràfiques a fi d'establir una metodologia de treball i uns protocols d'estudi. I un bloc final, nucli fort de la investigació, en el qual estudiarem setze casos d'imatges religioses policromades en fusta aplicant la metodologia i els protocols d'estudis establits en esta recerca.

■ ABSTRAC

The proliferation of non-invasive methods of scientific analysis is unquestionable. Most of these analytical and diagnostic techniques have been developed in other areas with greater projection and progress, such as in medicine, engineering and the industry. However, this fact does not render them exclusive to those fields. Their adaptation to the study of Cultural Assets is essential to updating new analysis methods applied to conservation and restoration. Used in medical imaging, Computed Tomography (CT) is one of those techniques that has been applied to the study of works of art.

Its use has opened an avenue to the study of internal structures, execution techniques and conservation condition of sculptures, which has raised great interest in conservators in the use of the technique as a working tool.

Since 2006, the Sub-directorate for Conservation, Restoration and Research IVC+R Culturarts, and the Department for Cultural Heritage Conservation and Restoration of the Provincial Council of Castellón (Servicio de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, SCRC), in liaison with the Radiology Service of the Provincial Hospital Consortium of Castellón, have been conducting a number of studies using medical-imaging CT applied to the analysis of polychrome wood sculptures.

After the work done over the few past years, the aim of this research is to explore the possibilities of this powerful imaging technique given its potential for the analysis and study of polychrome wood sculptures in particular.

The paper begins with an introduction and an analysis of the State of the Art, and continues with the objectives and working methodology.

The study has been conducted in three distinctive phases. A first theoretical stage focused on developing all aspects related to CT used in medical imaging

as such, and on the characteristics, alterations and damage in the conservation condition of polychrome wood sculptures.

In a second experimental phase, the capabilities and constraints of two CT scanners, Siemens Somatom Definition Flash[®] and Siemens Somatom Sensation 16[®], were explored to then proceed to analyse, using them, a test tube pattern as a real model of a wood sculpture.

The last phase was practical and consisted of two blocks. The first block started with the adaptation of the processing of CT images with a view to establishing a working methodology and some study protocols. Strongly research-oriented, the second block included the study of 16 religious polychrome wood statues applying the aforesaid methodology and protocols.

A mis padres, por enseñarme a esforzarme y ser lo que soy.

A mi sister, por formar parte de mí.

A Aurora y Gerardo, por ser la razón de mi vida.

Y a Gerardo, sin ti nada tiene sentido.

Agradecimientos:

Sirvan estas líneas para expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que de alguna manera, directa o indirectamente, han contribuido al desarrollo de esta tesis. Quisiera, de esta manera, compartir con todos ellos mi gran satisfacción.

En primer lugar, a mis tres directores de tesis, pues sin su tesón no hubiera sido posible la realidad, a día de hoy, de esta investigación.

A la Dra. Carmen Pérez García, a *May*, por todos estos años de trabajo. Gracias por todo lo que me has enseñado, por confiar de nuevo en mí y por creer que esto tenía un fin y el fin sería una buena realidad.

Al Dr. José Antonio Madrid García, mi compañero de promoción. Ya ves, hoy eres tú quien tutoriza y dirige mi trabajo. Gracias por tu confianza, tu perseverancia y sobre todo tu positividad en los momentos difíciles.

Al Dr. David Juanes Barber. Gracias de todo corazón por enrolarme en esta investigación, por todo lo que me has enseñado y aportado. Gracias por tu apoyo incondicional, tu paciencia y positividad, sobre todo en aquellos momentos en los que las fuerzas empezaban a flaquear. Ahora entiendo cuán importantes son los protocolos...

Al Servicio de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Diputación de Castellón por su colaboración en esta investigación. A todos mis compañeros de trabajo de tantos años compartidos. En especial a Pilar Juárez por el trabajo que hemos compartido en el tema de las esculturas policromadas en madera durante tantos años, y tu apoyo siempre que lo he necesitado.

Al Servicio de Radiodiagnóstico del Consorcio Hospitalario Provincial de Castellón. Al personal de dicho servicio por su acogida, su entusiasmo e interés, aun llegando a horas intempestivas cada vez que aparecíamos con algún objeto a analizar. Mi más sincero agradecimiento al Jefe del Servicio de Radiodiagnóstico, D. Carlos Casillas Meléndez. Y especialmente a Daniel Ahicart Safont, facultativo especialista de radiodiagnóstico de dicho servicio. Gracias Dani por hacerme fácil y entendible todo lo que rodea el complicado campo de la radiología y concretamente el de la tomografía computarizada.

A todas las parroquias, ayuntamientos y colecciones particulares que nos han confiado sus piezas escultóricas para su estudio y análisis y sin las que no hubiera sido posible esta tesis.

A la Subdirección de Conservación, Restauración e Investigación IVC+R Culturarts Generalitat. Gracias por darme la facilidad de utilizar todos los medios disponibles para desarrollar mi trabajo de investigación.

No me olvido de las palabras de apoyo y de ánimo de todas mis compañeras y compañeros de trabajo del IVC+R. Gracias por vuestro aliento cercano.

A mis compañeros coordinadores del IVC+R, Rafa, Juan, Juan Carlos, Gemma, Nacho y Julián. Gracias por estar ahí y haber aportado, cada uno a vuestra manera, un puñado de arena en esta pequeña colina.

A Marga especialmente, por estar a mi lado en momentos complicados y por hacer fácil mi humilde conocimiento de italiano.

A Livio Ferrazza por su seriedad y profesionalidad, nunca hay problema contigo.

A *Play Your Project*, y en especial a M^a Ángeles de Córdoba, por su trabajo desinteresado y que tanto me ha aportado.

A Concha Roncal y a Pablo Navarro, de la editorial *Nau Llibres*, por su trabajo de corrección y maquetación.

A Pilar Llorca, por su traducción de los textos al valenciano. Gracias.

A mi incondicional amigo Carlos Navarro. Gracias por tu sonrisa y tu buen humor siempre que tu amiga te abordaba para cualquier problema en esta lucha mía con la informática.

A mi querida amiga Rosa Llorca, de nuevo enroladas en esta embarcación que nos ha llevado a buen puerto, otro proyecto de los tantos que hemos compartido en esta vida. Gracias por tus correcciones gramaticales y de estilo, tú ya sabes que siempre me parecen bien. Gracias por estar siempre ahí y apoyarme. Sabes que yo nunca olvido.

A mi familia, y a todas mis amigas y amigos, agradeceremos vuestra cercanía aun estando, unos a muchos kilómetros de distancia, y otros tan cerca. Nunca me ha faltado vuestro cariño y palabras de aliento. Gracias por haber sabido comprender mis ausencias en tantos momentos.

Y para finalizar, y de manera muy especial, a mis seres queridos más cercanos. A mis padres, gracias por infundirme infinidad de valores en esta vida, por enseñarme a ser constante y no tener miedo al esfuerzo. Papá, he tenido un buen maestro. Mamá, gracias por enseñarme a saber lo que es luchar en esta vida y nunca flaquear. Donde quiera que estés te he sentido a mi lado, sobre todo en esta última fase del trabajo en la que el esfuerzo ya iba haciendo mella.

A mi querida 'sister', ya sabes que para mí eres lo más especial. Gracias por ser parte de mí. Esta vez te ha tocado ejercer de hermana mayor, con tu apoyo y cariño.

Y los que hoy dan sentido a mi vida. Mis hijos, Gerardo y Aurora, gracias por vuestro amor, comprensión y paciencia en esta dura etapa que hemos vivido y compartido, gracias por no dejarme caer. Y a Gerardo, gracias por lo que me has demostrado durante este tiempo, no tengo palabras para poder expresarme. Gracias por tu infinita

paciencia, comprensión y apoyo; por la fuerza que me has transmitido en momentos de flaqueza y tu incondicional ayuda para hacerme conseguir que esto tenga un fin real. Quisiera disculpar mis momentos de abstracción, falta de atención y no escuchar a la razón. Todo tiene sentido a tu lado.

Mi pequeña familia y todos vosotros habéis sido los dos grandes pilares sobre los que se sustenta esta tesis. Os quiero.

Gracias a todos ...

*Es como ver desfilar ante nuestros ojos, siglo tras siglo.
Ser testigos de lo que pasó y de lo que es.*

ÍNDICE

1. Introducción al tema de investigación y estado de la cuestión.....	27
2. Objetivos generales y específicos	37
2.1. Objetivos generales	37
2.2. Objetivos específicos	38
3. Metodología de trabajo	39

4. Cuerpo del trabajo

1ª Parte: Fase teórica

4.1. Introducción: fase teórica	43
4.2. La tomografía computarizada (TC)	44
4.2.1. Antecedentes históricos y evolución de la técnica.....	44
4.2.1.1. Generaciones de equipos de tomografía computarizada..	45
4.2.1.2. Nueva tecnología	48
4.2.2. Funcionamiento y características de la técnica	50
4.2.2.1. Principios físicos y de funcionamiento de la TC.....	50
4.2.2.2. Unidades Hounsfield	53
4.2.2.3. Componentes y características del TC	54
4.3. La escultura policromada en madera: características y alteraciones.....	61
4.3.1. Características, propiedades y estructura de la madera	61
4.3.2. Clasificación de las maderas	63
4.3.3. Defectos, anomalías, alteraciones y factores de deterioro de la madera	64
4.3.3.1. Grietas o fendas	64
4.3.3.2. Fibras reviradas y entrelazadas.....	65
4.3.3.3. Nudos.....	65
4.3.3.4. Núcleos de resina	66
4.3.3.5. Factores de deterioro de tipo biótico.....	66
4.3.4. Tallado en madera.....	66
4.3.4.1. Evolución histórica	67
4.3.4.2. Maderas más utilizadas en escultura	68
4.3.4.3. Sistemas constructivos en el tallado	68
4.3.4.4. Preparación del soporte	69
4.3.4.5. Estrato de preparación.....	69
4.3.4.6. Capa superficial de policromía	70

4. Cuerpo del trabajo

2ª Parte: Fase experimental

4.4. Introducción: fase experimental.....	75
4.5. Instrumentación: capacidades y limitaciones.....	76
4.6. Probeta patrón.....	79
4.6.1. Selección del material.....	79
4.6.2. Método.....	85
4.6.3. Resultados.....	88

4. Cuerpo del trabajo

3ª Parte: Fase práctica

4.7. Introducción: fase práctica.....	109
4.8. Visualización y procesado de las imágenes tomográficas.....	110
4.8.1. Metodología de trabajo.....	117
4.8.2. Protocolos de estudio.....	124
4.8.2.1. Protocolo de estudio para la definición de elementos a analizar.....	125
4.8.2.2. Protocolo de estudio para la definición de un punto de origen.....	129
4.8.2.3. Protocolo de estudio para determinar la orientación y dimensión de elementos.....	130
4.9. Presentación de los casos de estudio en escultura policromada en madera.....	132
4.10. Estudios principales.....	136
4.10.1. <i>Virgen con Niño de escuela castellana</i>	136
4.10.1.1. Protocolos de estudio en el análisis de la escultura.....	137
4.10.1.2. Estudio de la técnica de ejecución y estado de conservación.....	140
4.10.2. <i>Cristo de la Santísima Sangre de Denia</i>	166
4.10.2.1. Protocolos de estudio en el análisis de la escultura.....	168
4.10.2.2. Estudio de la técnica de ejecución y estado de conservación.....	171
4.10.3. <i>Santa María de Carlet</i>	186
4.10.3.1. Protocolos de estudio en el análisis de la escultura.....	187
4.10.3.2. Estudio de la técnica de ejecución y estado de conservación.....	189
4.10.3.3. Restauración de la imagen de <i>Santa María de Carlet</i>	206

4.10.4. <i>San Miguel Arcángel</i>	211
4.10.4.1. Protocolos de estudio en el análisis de la escultura	212
4.10.4.2. Estudio de la técnica de ejecución y estado de conservación	214
4.11. Análisis de diferentes estudios por casuística.....	240
4.11.1. Relación de las diferentes piezas escultóricas	241
4.11.1.1. <i>Cristo de Sant Bult</i>	241
4.11.1.2. <i>Virgen de las Victorias o Batallas</i>	242
4.11.1.3. <i>Nuestra Señora de la Naranja</i>	243
4.11.1.4. <i>Nuestra Señora de la Leche</i>	244
4.11.1.5. <i>Virgen con Niño de Oliva</i>	245
4.11.1.6. <i>Ecce Homo de L´Olleria</i>	246
4.11.1.7. <i>San Luis de Sellent</i>	247
4.11.1.8. <i>Inmaculada Concepción de Granada</i>	248
4.11.1.9. <i>Virgen con Niño de escuela andaluza</i>	249
4.11.1.10. <i>Santo Tomás</i>	250
4.11.1.11. <i>Santa Clara</i>	251
4.11.1.12. <i>Nuestra Señora de las Nieves</i>	252
4.11.2. Sistema constructivo.....	253
4.11.3. Alteraciones	276
4.11.4. Intervenciones de restauración	299
5. Conclusiones.....	323
6. Relación de tablas e ilustraciones	329
Tablas.....	329
Ilustraciones	332
7. Bibliografía	365

Introducción al tema de investigación y estado de la cuestión

La escultura en madera es una parte muy importante de nuestro patrimonio histórico-artístico y cultural. La mayoría de las escultura en madera se hallan policromadas y muchas de ellas están dedicadas al culto. Pero son estas principalmente las que sufren un mayor grado de deterioro, debido principalmente a su uso.

Su originalidad en muchos casos es una mera ilusión, imágenes con una intrincada historia material, que entre las remodelaciones, los arreglos -de buena voluntad- y las más o menos afortunadas restauraciones, se convierten en un verdadero muestrario de materiales de época¹.

Es por ello por lo que el conocimiento de la estructura que presentan estas imágenes resulta esencial a la hora de acometer una correcta intervención de restauración.

Los estudios que actualmente existen sobre escultura policromada en madera se hallan centrados principalmente en las técnicas de ejecución de la policromía. Habitualmente estos se han visto enfocados a identificar pigmentos, aglutinantes o barnices presentes en la policromía y su técnica de ejecución, con el objetivo de diseñar un adecuado proceso de restauración como estudio histórico de un autor, de una escuela o de una época.

¹ Grañán, C. *Técnicas y evolución de la imagerie policroma en Sevilla* (Sevilla: Publicaciones de la Universidad de Sevilla, 1999), p. 13.

El estudio de la estructura interna de estas piezas escultóricas se suele realizar mediante el uso de la técnica radiográfica (RX) con el objetivo de analizar el estado de conservación. Estos estudios son complejos de interpretar y la información que proporcionan es limitada. Aunque el estudio mediante RX nos permite realizar un análisis interno de la obra, este plantea una serie de inconvenientes como es la superposición de planos.

Así pues, la información que proporciona la radiografía más tradicional, si bien es de cierta utilidad para los estudios de policromía, es limitada en cuanto a la técnica de ejecución y el estado de conservación. Si a todo esto se une la escasa existencia de escritos antiguos sobre técnicas escultóricas, como el tallado en madera, podemos concluir que aún hoy existe desconocimiento sobre las técnicas de ejecución en la realización de estas esculturas policromadas en madera.

Esto trae consigo que sea necesario aplicar otras técnicas de análisis que nos proporcionen una mayor información.

En este sentido y en la actualidad la tomografía computarizada (TC) médica es una de esas técnicas de análisis, que aun siendo inicialmente específico su uso para la inspección del cuerpo humano, ha podido ser empleada en el estudio de obras de arte demostrando así su utilidad.

La tomografía computarizada (TC) es un método de diagnóstico no invasivo, una técnica de análisis global basada en el análisis mediante imágenes, a través de la cual se obtienen múltiples imágenes digitales de espesor milimétrico en distintos planos del interior de cualquier objeto que pueda ser atravesado por un haz de rayos X². Estas imágenes poseen un alto contraste que permite distinguir entre materiales con una diferencia de densidad menor al 1%.

Esta técnica de análisis ha abierto un amplio abanico de posibilidades en el estudio del interior de una pieza escultórica, atravesando fronteras que la técnica más convencional de radiografía no había conseguido cruzar. El interés que suscita como herramienta de trabajo para el restaurador es máximo, ya que proporciona una valiosísima información a la hora de estudiar la estructura interna y la técnica de ejecución, analizar las condiciones de conservación y planificar los procesos de restauración de una escultura, además de ser un importante instrumento a la hora de determinar pautas enfocadas a la conservación preventiva.

Frente a otras técnicas de análisis globales sin toma de muestra, basadas en el análisis mediante imágenes, como la radiografía (RX), la TC plantea una serie de ventajas. Esta técnica proporciona múltiples cortes en diferentes orientaciones

2 Coulam, C. M.; Erikson, J. J.; Rollo, F. D.; James, A. E. *The Physical Basis of Medical Imaging* (New York: Appleton-Century-Crofts, 1981), p. 354.

del interior de un objeto radiotransparente en cualquier plano del espacio sin superposición; asimismo se pueden realizar reconstrucciones volumétricas que se pueden manejar como un objeto 3D. Otra de las ventajas que permite la técnica TC es visualizar objetos compuestos de materiales de alta densidad en el interior de objetos de menor densidad donde aparecen los elementos de sujeción metálicos que se localizan en el interior de una pieza escultórica. Además, es posible realizar medidas reales a partir de los diferentes cortes e imágenes tomográficas, siendo posible obtener los tamaños y dimensiones de grietas, oquedades o elementos metálicos, entre otros, y situarlos con precisión en el interior de la escultura.

Pero, como toda técnica de análisis que ha sido desarrollada para otras áreas de investigación y adaptada a unas necesidades específicas de estudio, presenta una serie de inconvenientes que han provocado su escasa implantación hasta el momento en el estudio de Bienes Culturales. Por un lado, se trata de un equipamiento de poca accesibilidad, ya que supone un importante esfuerzo económico, tanto su adquisición, como su mantenimiento. Las obras a estudio deben ser trasladadas al centro o institución que disponga de este equipamiento, con los consiguientes trámites de gestión. A todo ello hay que añadir el inconveniente de las limitaciones del propio aparato en sí, como es que el tamaño de las piezas a estudiar está limitado por el diámetro de la garganta del tomógrafo, el campo de visión, o que el estudio del objeto se debe adaptar a los parámetros de protocolo establecidos para el estudio médico.

Finalmente, también resulta un condicionante importante el material del que estén realizados los objetos de estudio, ya que solo pueden ser analizados aquellos cuya densidad del material con el que están contruidos sea similar al del cuerpo humano, debido al límite del potencial del generador de rayos X que oscila de los 80 a los 140 kV³. Aun así la TC resulta una poderosa herramienta de análisis y estudio.

La tomografía computarizada usada en diagnóstico médico empezó a aplicarse en el estudio de Bienes Culturales a finales de los años 80 del siglo XX. En 1986 se realizaron los primeros estudios mediante TC médica de momias egipcias⁴, y en

3 Juanes, D. "La tomografía axial computerizada. Estudio de escultura de madera". En, *La Ciencia y el Arte II. Ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico*. (Madrid: Ministerio de Cultura. Secretaria General Técnica. Subdirección General de Publicaciones, Información y Documentación, 2010), p. 37.

4 Strouhal, E.; Kvicala, V.; Vyhanank, L. "Computed Tomography of a Series Egyptian Mummified Heads". En, *Science in Egyptology*. (Manchester: Ann Rosalie David, 1986), pp. 123-140. Consultado el 20 de marzo de 2014 https://books.google.es/books?id=jSTEAAlAAJ&pg=PA123&lpg=PA123&dq=Computed+tomography+of+a+series+Egyptian+mummified+heads%E2%80%9D&source=bl&ots=qr65offA_s&sig=_19ylv6ZQfp39Zd_haZ85j442fE&hl=es&sa=X&ved=0CDYQ6AEwAmoVChMlxZ3Oq93bxwIVhG0UCh3vIAvq#v=onepage&q=Computed%20tomography%20of%20a%20series%20Egyptian%20mummified%20heads%E2%80%9D&f=false.

1989 se utilizó para el estudio y restauración de cráneos fósiles⁵. Esta técnica sirvió para comprobar si los espacios internos del cráneo contenían roca sedimentaria que fuera necesario eliminar. En 1993, la evolución tecnológica permitió estudiar una momia del Museo Británico que databa de la 22^a dinastía (945-715 a. C.), que había sido previamente radiografiada, y en la que se conocía la existencia de amuletos, falsos ojos, etc. (Fig. 1). Los resultados del estudio TC mostraron de forma independiente los dientes y los molares lo que evidenció la pronta edad de su muerte, así como el modo de preparación del cráneo para su momificación⁶.

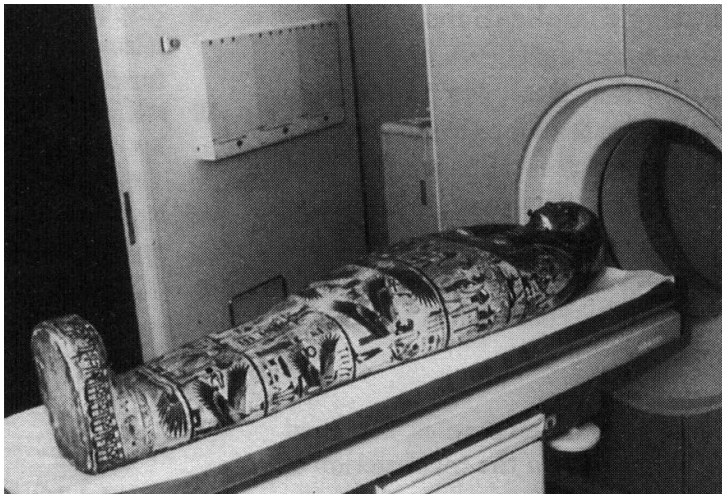


Figura 1.

Estudio mediante TC. *Tjnetmutengebtju*, momia egipcia de la 22^a dinastía (945-715 a. C.) del Brithis Museum analizada en el St Tomas´ Hospital de Londres.

Desde entonces se han producido grandes avances técnicos que han permitido dar el salto al estudio de obras de arte. Aunque a veces es complicado el poder realizar estos estudios mediante TC, debido a la problemática que suscita el que estos hayan de realizarse en hospitales, la tendencia actual es la de seguir procesos en los que se tenga que dar un enfoque multidisciplinar a la investigación. Es por lo que resulta esencial una colaboración entre las instituciones, para una mejor garantía del aprovechamiento eficaz de los recursos.

5 Zonneveld, F. W.; Spoor, C. F.; Wind, J. "The Use of CT in the Study of the Internal Morphology of Hominid Fossils". *Medical Mundi* 34, nº 3, (marzo 1998), pp. 117-128.

6 Baldock, C.; Hughes, S. W.; Whittaker, D. K.; Taylor, J.; Davis, R.; Spencer, A. J.; Tonge, K.; Sofat, A. "3-D Reconstrucción of an Ancient Egyptian Mummy Using X-ray Computer Tomography". *Journal of de Royal society of Medicine* 87 (diciembre 1994), pp. 806-808. Consultado el 15 de marzo de 2014.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1295009/pdf/jrsocmed00078-0096.pdf>.

A nivel nacional, son diversas las instituciones que están utilizando la tomografía computarizada médica en el estudio de obras de arte y han coordinado su trabajo mediante colaboraciones entre las instituciones.

El Servicio de Restauración de la Diputación Foral de Álava ha llevado a cabo estudios mediante TC aplicados al análisis de escultura, entre los que destacan cinco Bustos-Relicario de Santas Vírgenes procedentes del Museo Diocesano de Arte Sacro de Álava. El estudio de estas piezas a través de dicha técnica ha permitido identificar el sistema constructivo y la técnica de ejecución con la que fueron realizadas. Posteriormente, han sido comparadas con otros veinticinco casos de Bustos-Relicarios de similar tipología procedentes de diferentes países. Sus características técnicas y constructivas han determinado que algunas de estas piezas estaban construidas en el mismo taller, sin tener de ello constancia. Con esto se demuestra que la TC resulta una importante herramienta a la hora de identificar la autoría en aquellos casos en los que no existan fuentes documentales que lo avalen⁷.

El Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales (CRBC) y el Instituto de Restauración del Patrimonio (IRP) de la Universidad Politécnica de Valencia han realizado diversos estudios de TC aplicados a escultura. En junio de 2003 se realiza un análisis tomográfico de la imagen de *Nuestra señora de Aguas Vivas*, Carcaixent (Valencia)⁸. En 2005 se lleva a cabo el análisis de otra escultura, en este caso la del *Cristo de la Poble Llarga* realizado en madera policromada. Es a partir de este momento cuando, junto con el Servicio de Radiología del Hospital Universitario de la Ribera, se empieza a articular un programa de incentivo a la investigación para tratar de poner en marcha un servicio de evaluación de procesos adaptados a la aplicación de la TC en el análisis de obras de arte⁹.

Desde el año 2006 el entonces Instituto Valenciano de Conservación y Restauración (IVC+R) de la Generalitat, ahora Subdirección de Conservación, Restauración e Investigación IVC+R Culturarts Generalitat y el Servicio de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Diputación de Castellón (SCRC) están llevando a cabo una serie de estudios científicos mediante tomografía computarizada (TC) médica aplicados al análisis de escultura policromada. Para ello se estableció una relación

7 Ruiz de Arcuete, E. "On the Trail of Select Group of Central European Reliquary Busts: Using Construction Typology for Authorship Attribution". En actas, *Polychrome Sculpture: Artistic Tradition and Construction Techniques*. Glasgow 13-14 de abril de 2012. (Glasgow: K.Seymour, ICOM-CC, 2012), p. 87.

8 Guerola, V. "Tomografía axial computerizada aplicada al análisis de escultura". En actas, *XV Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*. Murcia, 21-24 de octubre de 2004. (Murcia: Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Consejería de Educación y Cultura, 2006), pp. 995.

9 Guerola, V.; Girones, I.; Esteban, E. "Tomografía axial computerizada (TAC) y de multicorte (TCM) como sistema analítico aplicado a la exploración de obras de arte". En actas, *16Th International Meeting on Heritage Conservation*. Valencia, 2-4 de noviembre de 2006 (Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2006), p. 499.

de colaboración entre el Servicio de Radiodiagnóstico del Consorcio Hospitalario Provincial de Castellón y el SCRC, entidad copartícipe del IVC+R Culturarts Generalitat. La colaboración entre dos servicios diferentes y dos áreas tan distintas como son el radiodiagnóstico médico y la conservación del patrimonio histórico-artístico ha facilitado el estudio de un número muy importante de esculturas policromadas, principalmente imágenes religiosas que aún siguen estando dedicadas al culto.

Dentro de los diferentes casos de esculturas que han sido estudiadas mediante TC médica, la mayor parte están realizadas en madera, material susceptible de estudio con dicha técnica ya que su densidad resulta similar a la del cuerpo humano, al igual que otros más ligeros como el cartón, papel o textil. De entre todas estas imágenes analizadas, debemos destacar la *Virgen de las Victorias o Batallas*, *Santa María de Carlet* y *San Miguel Arcángel* del Museo Histórico de Valencia (Fig. 2).



Figura 2.

Realización del análisis mediante TC de la imagen de *San Miguel Arcángel*. Equipo Siemens Somatom Definition Flash®, Servicio de Radiodiagnóstico del Consorcio Hospitalario Provincial de Castellón.

Otra de las instituciones que está realizando análisis mediante TC es el Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE). En el año 2013, con motivo de la restauración del Retablo de Belén de la Iglesia de Santa María de la Asunción de Laredo, se gesta un convenio de colaboración entre el IPCE y el Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital de Laredo para el estudio mediante tomografía computarizada de catorce de las esculturas pertenecientes a dicho retablo.

En el ámbito internacional, ya son diversas las instituciones que están poniendo en práctica el uso de la tomografía computarizada médica en el estudio de escultura policromada en madera.

Destaquemos el trabajo realizado por el Royal Institute for Cultural Heritage (KIK-IRPA) de Bruselas (Bélgica), con el estudio de veintiséis esculturas de madera policromada de la región de Meuseu datadas entre los siglos XIII y XIV. El análisis de este grupo de esculturas mediante TC ha permitido identificar su sistema constructivo, consiguiendo que muchas obras no identificadas salieran a la luz¹⁰.

Y por otro lado, los que ha llevado a cabo el Centre de Conservation-Restoration du Patrimoine (CCRP) en Perpignan (Francia), en especial, el estudio de doce Vírgenes sedentes datadas entre los siglos XII y XIV de la región de los Pirineos Orientales. Estas fueron analizadas mediante TC, pudiéndose identificar sus características técnicas y constructivas. A través de dicho conocimiento, se ha podido entender la historia y la producción de este tipo de imágenes. Los estudios han sido llevados en coordinación con el Hospital Universitario de Perpignan¹¹.

Con todo ello se pone de manifiesto que la TC es una técnica de análisis que ya se está poniendo en práctica por diversas instituciones a nivel Nacional e Internacional en el estudio de obras de arte.

Existe hoy día otra generación de TC que se están utilizando en el estudio de Bienes Culturales, los denominados TC industriales. La ventaja de estos equipos radica en que pueden radiar mayor energía que los de uso médico. Pero el problema de su utilización está en el escaso número de estos en instituciones, y por tanto la poca disponibilidad que se tiene de su uso.

La Universidad de Burgos cuenta desde 2005 con el primer TC industrial creado exclusivamente para fines científicos y de investigación. El problema de su uso está en su reducido tamaño, por lo que la utilidad que se le está dando es para el estudio de los fósiles de la Sierra de Atapuerca, otros restos actuales y en el campo de la industria¹².

10 Mercier, E. "The Artisan Carver's Materials and Practices: Studying 13th 14th Century Mosan Sculptures". En actas, *Polychrome Sculpture: Tool Marks and Construcción Techniques*. Maastricht, 24-25 de octubre de 2010. (Maastricht: K. Seymour, ICOM-CC, 2012), p. 16.

11 Van Hauwermeiren, C. "The Technical Study of Romanesque and Gothic Sedes Sapientiae from the Pyrenees-Orientales (France): a Methodological Approach". En actas, *Polychrome Sculpture: Tool Marks and Construcción Techniques*. Maastricht, 24-25 de octubre de 2010. (Maastricht: Kate.Seymour, ICOM-CC, 2010), pp. 29 y 30.

12 Carretero, J. M.; Garciva, R.; Juez, L.; Rodríguez, L.; Santos, E. "La tomografía axial computarizada (TAC) y su utilidad para el estudio, conservación y difusión del Patrimonio Paleontológico. Algunos ejemplos de la Sierra de Atapuerca". En, *La Ciencia y el Arte II. Ciencias experimentales y Conservación del patrimonio histórico*. (Madrid: Ministerio de Cultura. Secretaria General Técnica. Subdirección General de Publicaciones, Información y Documentación, 2010), p. 199.

Otra de las instituciones que dispone de un TC de este tipo es el Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont (ICP), que desde el 2013 cuenta con un equipo de tomografía computarizada industrial de última generación que permite analizar piezas de hasta 500 Kg de peso y dimensiones de 120 × 100 cm.

Fuera del ámbito nacional y de las limitaciones que impone el uso de la TC médica en lo relacionado con el tamaño de las piezas, el Departamento de Física y Astronomía – DIFA de la Universidad de Bolonia (Italia) junto con el Instituto Nacional de Física Nuclear INFN, sección de Bolonia, llevan a cabo una colaboración de trabajo a través de la cual crean el *X-ray Imaging Group*. Dicho grupo utiliza la TC aplicada a los Bienes Culturales, la medicina y la industria. Entre los estudios que han realizado en el ámbito de los Bienes Culturales, se han analizado diferentes obras realizadas con diversos materiales, destacando, entre otros, el bronce, el mármol o la madera. Algunos de estos trabajos han sido llevados a cabo en colaboración con instituciones como el Getty Conservation Institute, Los Angeles (EEUU) y el Concilio de Florencia y el Centro de Restauración del Opificio delle Pietre Dure, Florencia (Italia).

Por otro lado, la Alte Nationalgalerie, Staatliche Museen zu Berlin (SMB) y el Instituto Federal de Investigación y Ensayo de Materiales (BAM) están realizando estudios mediante TC en esculturas en yeso y mármol de Carrara en los que se han utilizado diferentes energías de excitación¹³.

Pero aun así existe una escasa aplicación de la TC en estudios de escultura. Es por lo que los casos que van a dar sustento a esta investigación se centrarán en el estudio de escultura policromada cuyo soporte sea la madera, además de otros casos singulares que hemos considerado interesantes debido a la ligereza del material con el que están construidas, cartón y tela. Son un total de dieciséis imágenes religiosas, datadas entre los siglos XIII y XX, que, en su mayoría, aun hoy siguen estando dedicadas al culto, y que han sido analizadas por el IVC+R Culturarts Generalitat, el SCRC y el Servicio de Radiodiagnóstico del Consorcio Hospitalario Provincial de Castellón.

Estos trabajos han puesto de manifiesto la necesidad de profundizar en la aplicación de la TC médica en el estudio de escultura en madera, de modo que se pueda explotar al máximo las capacidades de esta técnica de análisis. La accesibilidad que se puede tener a estos equipos hospitalarios es mucho más fácil que a los industriales, ya que la mayoría de hospitales se encuentran provistos de dicho equipamiento; solo hace falta una colaboración interdisci-

13 Badde, A.; Illerhaus, B. "Three Dimensional Computerized Microtomography in the Analysis of Sculpture". *Scanning* 30, nº 1 (enero-febrero 2008), p. 16.

plinar e intersectorial en el ámbito de la conservación de Bienes Culturales y del radiodiagnóstico médico.

Las cuestiones anteriormente expuestas han motivado nuestro interés por profundizar en este campo tan interesante y prácticamente desconocido, después de años de trabajo y experiencia en el área de la conservación y restauración de la escultura policromada, como es el estudio de esculturas policromadas en madera mediante tomografía computarizada médica.

Objetivos generales y específicos

Los objetivos generales y específicos planteados para esta investigación son los siguientes:

2.1. OBJETIVOS GENERALES

- Delimitar las capacidades y limitaciones de la TC médica con un importante impacto en los procesos de conservación y restauración de esculturas en madera policromada.
- Establecer, en su caso, pautas de conservación preventiva tras el análisis realizado mediante TC.
- Adquirir mayor conocimiento respecto de las estructuras internas de una escultura, así como de los diferentes materiales utilizados tanto en la construcción como en distintas intervenciones de restauración mediante la realización y análisis de una probeta patrón.
- Definir una metodología de trabajo y unos protocolos de estudio mediante los cuales se pueda estandarizar el uso de la TC médica en los estudios de escultura.
- Aplicar la metodología de trabajo y los protocolos de estudio definidos al análisis de una serie de casos de imágenes religiosas policromadas en madera, cuya cronología abarca desde el siglo XIII hasta el siglo XX.
- Determinar la utilidad e interés que para el restaurador pueda tener la utilización de la TC como herramienta de trabajo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Confirmar que la TC médica es un método de análisis científico no invasivo que puede ser utilizado en el estudio de los Bienes Culturales.
- Actualizar los métodos de análisis aplicados al campo de la conservación y restauración mediante el uso de la tomografía computarizada médica.
- Determinar la diversa problemática con la que nos podemos encontrar en el momento de analizar las imágenes tomográficas.
- Mostrar las posibles diferencias de medición y análisis entre distintos equipos de tomógrafos.
- Prescribir el uso más adecuado de la TC médica para conseguir una mayor precisión a la hora de determinar la localización y medida de los diferentes elementos o irregularidades del objeto a analizar.
- Establecer las diferencias que pudieran existir entre los materiales y rellenos utilizados en la restauración de piezas escultóricas.
- Fijar las alteraciones más comunes que podemos encontrar en una escultura realizada en madera.
- Aplicar la TC médica en los análisis histórico-artísticos a partir del estudio de la técnica de ejecución.
- Identificar los distintos sistemas constructivos de piezas escultóricas utilizados en épocas históricas concretas.
- Analizar las distintas intervenciones de restauración a las que puedan haberse visto sometidas las piezas escultóricas objeto de estudio mediante el uso de la TC médica.
- Planificar los procesos de restauración de una escultura policromada en madera a partir de los resultados obtenidos tras el estudio tomográfico.
- Abrir, en su caso, nuevas líneas de estudio que puedan surgir tras la investigación objeto de esta tesis.

Metodología de trabajo

Resulta fundamental en cualquier trabajo de investigación desarrollar una metodología de trabajo para, de esta manera, poder trasladar con mayor claridad todos los pasos que se pretenden dar en el tratamiento de la materia sujeta a estudio.

En esta investigación se han planteado tres fases diferenciadas de trabajo:

- Una fase teórica en la que se expondrán los dos principales contenidos en los que se sustenta dicha investigación. En primer lugar, un apartado en el que se desarrollará todo lo concerniente a la técnica de tomografía computarizada aplicada en el campo de la medicina para la exploración del cuerpo humano, sus antecedentes, evolución, características y funcionamiento. En segundo lugar, otro en el que se analizará la escultura policromada en madera, sus características, técnica de tallado y aquellas alteraciones que afectan a su estado de conservación.
- Una fase experimental en la que, tras construir y analizar una probeta patrón que nos sirva de modelo real de una escultura en madera, se establecerán las distintas capacidades y limitaciones de los dos equipos diferentes de tomógrafos de los que dispone el Consorcio Hospitalario Provincial de Castellón (Siemens Somatom Sensation 16® y Siemens Somatom Definition Flash®) con los que hemos trabajado durante estos años de investigación. Con los resultados de dichos estudios se determinarán, con la mayor exactitud y precisión posible, la posición y medida de cualquier elemento que podamos encontrar en la estructura de una escultura, así como las características de los distintos materiales utilizados tanto en la construcción como en las distintas intervenciones de restauración; a lo que hay que añadir que, al hacerlo con

dos equipos de características distintas, podemos concretar las diferencias que existían en las mediciones y análisis realizados.

- Una fase práctica que se llevará a cabo en dos etapas.
 - Una primera etapa, respecto al visualizado y procesado de las imágenes tomográficas que se generan en todo estudio de este tipo, que consiste en la adaptación de dicho procesado de imágenes al estudio de escultura policromada en madera, lo cual nos permitirá establecer una metodología y unos protocolos de trabajo y estudio en el procesado de las imágenes tomográficas. Dicha metodología y protocolos podrán ser utilizados en el estudio de cualquier escultura de madera.
 - Una segunda, en la que se estudiarán diferentes esculturas policromadas en madera, concretamente dieciséis imágenes religiosas que han sido analizadas por el IVC+R de Culturarts Generalitat y el SCRC en colaboración con el Servicio de Radiodiagnóstico del Consorcio Hospitalario Provincial de Castellón. De las mismas se han seleccionado las cuatro que hemos entendido más representativas, sobre las que llevaremos a cabo un exhaustivo estudio aplicando la metodología y los protocolos ya establecidos. El resto de esculturas serán analizadas en su conjunto.

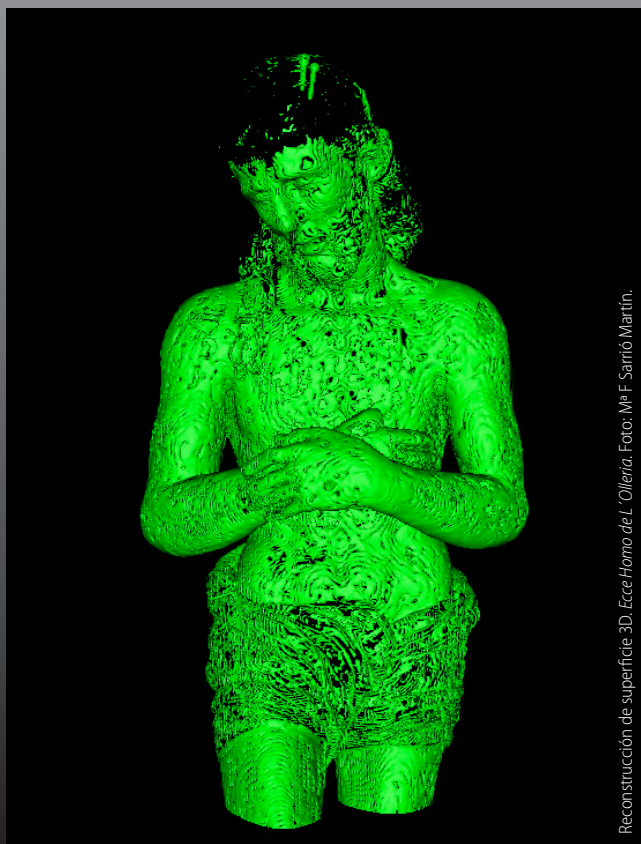
Con todo ello obtendremos una importante base de datos de los sistemas constructivos, del estado de conservación e intervenciones de restauración de un conjunto importante de esculturas de madera pertenecientes a diferentes periodos históricos.

Notas:

1. Todas las imágenes tomográficas que ilustran este trabajo de investigación han sido numeradas de la siguiente manera:
 - En primer lugar, la abreviatura de cada uno de los cortes en cada uno de los planos: axial (A), sagital (S) y coronal (C).
 - A continuación, el número de la imagen tomográfica que estamos visualizando.
 - Para finalizar, el número total de imágenes que ha generado dicho estudio.
Ejemplo: A 352/951
2. Las coordenadas espaciales de cualquiera de los puntos que se han definido en las imágenes tomográficas se han referenciado en el texto sin determinar los diferentes planos de posición (X, Y, Z). Se sobreentiende que la primera numeración corresponde a la X, seguida de la Y, y para finalizar la Z.
Ejemplo: coordenadas espaciales (325,32 mm, 522,543 mm, -202,324 mm).

4. CUERPO DEL TRABAJO

I^a PARTE: FASE TEÓRICA



Reconstrucción de superficie 3D. *Ecce Homo de L'Ollería*. Foto: M^a F. Sarrrió Martín.

■ 4.1. INTRODUCCIÓN: FASE TEÓRICA

En esta fase de la investigación expondremos, en primer lugar, el contenido y características de la técnica de análisis y diagnóstico que se conoce como tomografía computarizada (TC). Lo haremos, inicialmente, definiendo lo que es la tomografía computarizada, haciendo un recorrido por sus antecedentes históricos, para posteriormente mostrar cómo esta técnica científica ha ido evolucionando según se han ido sucediendo los avances tecnológicos, evolución que explica la existencia de diversas generaciones de equipos, siendo los de última generación, los TC helicoidales multicorte, aquellos con los que se trabaja actualmente en diagnosis médica.

Tras esta primera aproximación a la técnica de TC, resulta, necesario, sin lugar a duda, incidir en el conocimiento de los principios y fundamentos en los que se basa, así como en sus partes más significativas y características, todo ello enfocado a su aplicación práctica en la conservación y restauración de Bienes Culturales.

Una vez puestas de manifiesto todas estas cuestiones, nos adentraremos en el conocimiento del objeto sobre el que vamos a aplicar dicha técnica: la escultura policromada en madera, núcleo principal de nuestro estudio y que fundamenta esta investigación.

En un segundo apartado de la fase teórica pretendemos dar a conocer, en líneas generales, las características de la escultura que tiene a la madera como material principal de soporte, así como la estructura, características y propiedades de dicho material.

Este material de soporte, la madera, está sujeta a un proceso de envejecimiento que se puede ver acelerado en función de las condiciones físicas a las que esté expuesta. Pero a la vez existen una serie de alteraciones propias de la misma y unos factores de deterioro que pueden influir en la preservación de la pieza escultórica, por lo que es importante conocerlos y saber en qué medida pueden afectar al estado de conservación final de la obra.

Una vez determinadas la estructura, características y componentes de la madera, así como las alteraciones y factores de deterioro que afectan a esta, expondre-

mos la técnica escultórica del tallado en dicho material y la importancia de la misma a lo largo de la historia. Observaremos cómo, en las diferentes épocas, los sistemas constructivos utilizados en el tallado de una pieza escultórica han ido cambiando, debido a la mayor complejidad que iban presentando las formas escultóricas, lo que hizo necesario buscar nuevos métodos que facilitaran el tallado.

Completado todo lo anterior, también haremos referencia a los diferentes tipos de madera que han sido utilizados, sobre todo centrándonos en los empleados en las piezas que ocupan el periodo de las piezas estudiadas, para finalmente determinar, en líneas generales, la forma de preparar el soporte de una talla antes de ser policromado, técnicas y procesos de preparación que son iguales a los utilizados en pintura sobre tabla.

Respecto de la policromía, si bien está presente en la mayoría de las esculturas realizadas en madera, no resulta prioritario su análisis en esta investigación, ya que la TC no determina diferencia entre los distintos estratos que componen una policromía; por ello solo haremos referencia a la misma en función a aquellas cuestiones que analiza la TC.

■ 4.2. LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA (TC)

La tomografía computarizada es un método imagenológico, fundamental hoy en el diagnóstico médico, que permite observar el interior del cuerpo humano a través de cortes milimétricos transversales al eje céfalo-caudal mediante la utilización de los rayos X.

■ 4.2.1. Antecedentes históricos y evolución de la técnica

El primer aparato de tomografía axial computarizada fue creado y desarrollado por el ingeniero británico Goodfrey Newblod Hounsfield (1919-2004). Este nace en Newark (Inglaterra) y desde muy joven desarrolla gran interés por la electrónica. Con el estallido de la II Guerra Mundial se incorpora como reservista voluntario en la Royal Air Force (RAF), donde aprovecha para obtener el título de mecánico especialista en radares. Estudia ingeniería eléctrica en la Faraday House Electric Engineering Collage de Londres y, finalizados sus estudios en 1951, el joven ingeniero se incorpora a la cadena de empresas Electric and Musical Industries (EMI). Es aquí donde desarrolla nuevos sistemas de radar y diseña la primera computadora con tecnología basada en transmisores. Dicha compañía da vía libre al trabajo de Hounsfield, estableciendo un fondo de investigación para financiar sus proyectos innovadores. Y es en 1967 cuando propuso la cons-

trucción del escáner EMI, que fue la base técnica para desarrollar el Tomógrafo Axial Computarizado (TAC), como una máquina que unía el cálculo electrónico a la técnica de rayos X con el siguiente fin:

crear una imagen tridimensional de un objeto tomando múltiples mediciones del mismo con la misma fuente de rayos X desde diferentes ángulos y utilizar un ordenador que permitiera reconstruir a partir de cientos de ‘planos’ superpuestos y entrecruzados¹⁴.

El concepto de tomografía computarizada ya había sido descrito en 1917 por el matemático J. Radon, que postulaba la reconstrucción matemática de un objeto bidimensional o tridimensional a partir de sus proyecciones, y publicado por Allan Cormack, físico sudafricano, en los años 1963 y 1964. Sin embargo, sus estudios no tuvieron un resultado práctico probablemente por las dificultades de los ordenadores de su época para realizar todos los cálculos necesarios en un tiempo razonable.

Es en 1967 cuando Newblod Hounsfield construye su primer prototipo de escáner o tomógrafo de rayos X cerebral. En 1971 se realiza en el Atkinson Morleys Hospital de Londres el primer examen clínico con prototipo de TAC para exploraciones del cerebro. En 1972 se instala en dicho hospital el primer escáner de TAC comercializado por EMI. Ya en el año siguiente, el TAC era solicitado por la mayoría de los hospitales de todo el mundo.

Todos estos trabajos le hicieron merecedor de multitud de reconocimientos tanto nacionales como internacionales, como por ejemplo la distinción de doctor *honoris causa* en Ciencias de la Universidad de Londres y en Medicina de la Universidad de Basilea (Suiza), así como el Mac Robert Award (considerado como el Premio Nobel de Ingeniería) y la medalla austriaca Wilhelm Exner para logros científicos e industriales, entre otros tantos. Pero su mayor reconocimiento fue en 1979 cuando recibió el Premio Nobel de Medicina y Fisiología “*por sus aportes al desarrollo del escáner y empleo en los diagnósticos clínicos y en especial por las mejoras aplicadas a la tomografía asistida por ordenador*”, compartido con el físico Allan. M. Cormack¹⁵.

■ 4.2.1.1. Generaciones de equipos de tomografía computarizada

Cuatro son las generaciones de equipos de tomografía computarizada que se caracterizan por su diferente adquisición de datos y geometría de los sistemas.

14 González, J. *Manual práctico de tomografía* (ed. Javier González Vásquez, 2011), p. 24. Consultado el 14 de octubre de 2014.

http://www.academia.edu/10780497/Manual_practico_de_tomografia.

15 García, R. *La historia y las generaciones de la tomografía computarizada*. (Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2014), p. 6. Consultado el 17 de septiembre de 2014, http://issuu.com/ivangz/docs/la_historia_de_la_tomografia_y_sus_generaciones.

- 1^a GENERACIÓN. Se basa en la geometría del haz de rayos X paralelo y movimientos de traslación-rotación en un tubo de rayos X y un solo detector (Fig. 3); para la obtención de un corte tomográfico son necesarias muchas mediciones, lo que hace que el tubo-detector tenga que realizar multitud de rotaciones, con tiempos de barrido por corte de 4 a 5 minutos.

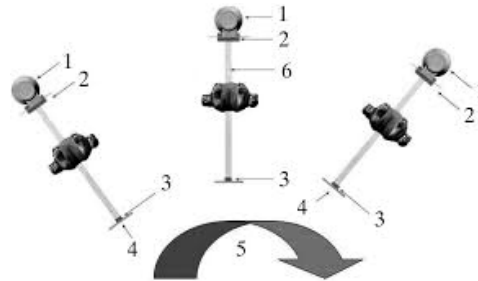


Figura 3.

Equipo TC de primera generación. (1) Movimiento de traslación del tubo de rayos X y del (3) detector; (2) Colimador del tubo de rayos X; (4) El primer equipo contaba con un solo detector; (5) Una vez terminada la adquisición, el sistema tubo-detector realiza una rotación para obtener el perfil de la próxima proyección; (6) Haz de rayos X único y altamente colimado.

- 2^a GENERACIÓN. Esta nueva generación de tomógrafos se basa en una geometría de haz de rayos X en abanico y movimientos de traslación-rotación con una serie lineal de detectores (de 5 a 30) (Fig. 4). Al utilizarse mayor número de detectores, se reducen las rotaciones, disminuyendo el tiempo de la exploración.

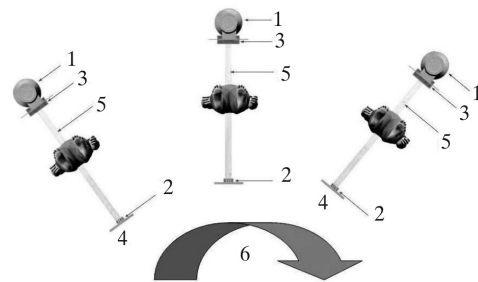


Figura 4.

Equipo TC de segunda generación. (1) Movimientos de traslación del tubo de rayos X y de los (2) detectores; (3) Colimador del tubo de rayos X; (4) En esta generación se montan 30 detectores; (5) Una vez terminada la adquisición, el sistema tubo-detector realiza una rotación para obtener el perfil de la próxima proyección; (6) Haces de rayos X múltiples, cada uno de los cuales incide en un único detector.

- 3ª GENERACIÓN. La geometría de los sistemas de tercera generación se ha convertido hoy en la configuración estándar utilizada en prácticamente todos los sistemas de escáner. Estos aparatos utilizan una geometría de haz de rayos X en abanico de gran angular (50 a 55°); un arco de detectores y un tubo de rayos X que giran continuamente alrededor del paciente 360° (Fig. 5). Este sistema reduce el tiempo de barrido de 3 a 10 segundos¹⁶.

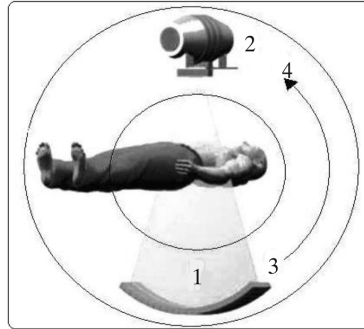


Figura 5.

Equipo TC de tercera generación. (1) Conjunto de detectores que forman un arco móvil que recibe un haz de rayos X en forma de abanico; (2) Tubo de rayos X; (3-4) Rotación completa del sistema tubo-detectores.

- 4ª GENERACIÓN. Esta generación de aparatos también utiliza una geometría de haz de rayos X en abanico de gran angular (50° a 55°); sin embargo, el tubo de rayos X gira dentro de un arco de detectores estacionarios de 360° (Fig. 6).



Figura 6.

Equipo TC de cuarta generación.

¹⁶ García, R. *La historia y las generaciones de la tomografía computarizada*, p. 9.

■ 4.2.1.2. Nueva tecnología

En estos equipos helicoidales se ha retomado la arquitectura correspondiente a los equipos de tercera generación.

- TC HELICOIDAL (TCH). La introducción de la adquisición helicoidal ha mejorado considerablemente el rendimiento del dispositivo de TC. A diferencia de los equipos convencionales, se escanea un volumen en lugar de un corte cada vez y, durante este proceso, el tubo de rayos X rota alrededor del paciente, emitiendo un haz de rayos X, y la mesa con el paciente se mueve simultáneamente, de forma horizontal a una velocidad constante, a través de la garganta del tomógrafo, mientras que los detectores miden la radiación transmitida por el paciente durante todo el tiempo que dure el estudio¹⁷ (Fig. 7). A partir de los datos obtenidos, se pueden realizar reconstrucciones 3D y ortogonales 2D en varios planos sagitales, coronales y oblicuos con excelente resolución de imagen.

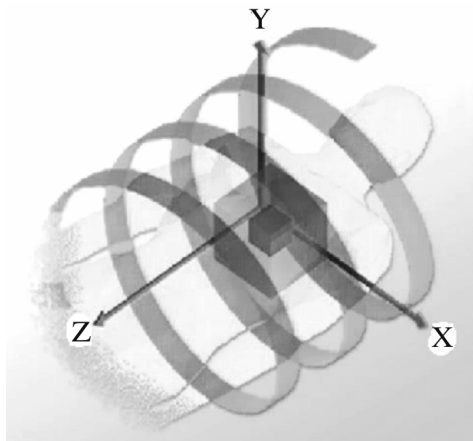


Figura 7.

Equipo TC espiral o helicoidal. La rotación del tubo de rayos X de forma ininterrumpida, unido al movimiento de la mesa, provoca una hélice o espiral.

- TC HELICOIDAL MULTICORTE (TCM). Se trata de la generación de equipos de tomógrafos más avanzados tecnológicamente. Es uno de los equipos que hemos utilizado en esta investigación. En el mismo, en lugar de una fila de detectores, se ubican en posición al tubo de rayos X múltiples filas. Los primeros equipos tenían 4 filas contiguas de

¹⁷ García, P. *Principios Técnicos de la tomografía axial computarizada*. (La Habana: Editorial Ciencias Médicas, 2008), p. 11.

detectores activos, posteriormente se pasó a las 16 y 64 filas respectivamente. Con esto se acorta el tiempo de la exploración y mejora la resolución temporal. Los cambios se encuentran principalmente en el diseño de los detectores; se combinan distintas longitudes de detectores en el eje Z, situando los de mayor tamaño en los extremos del haz cónico y los de corte fino en el centro¹⁸ (Fig. 8).

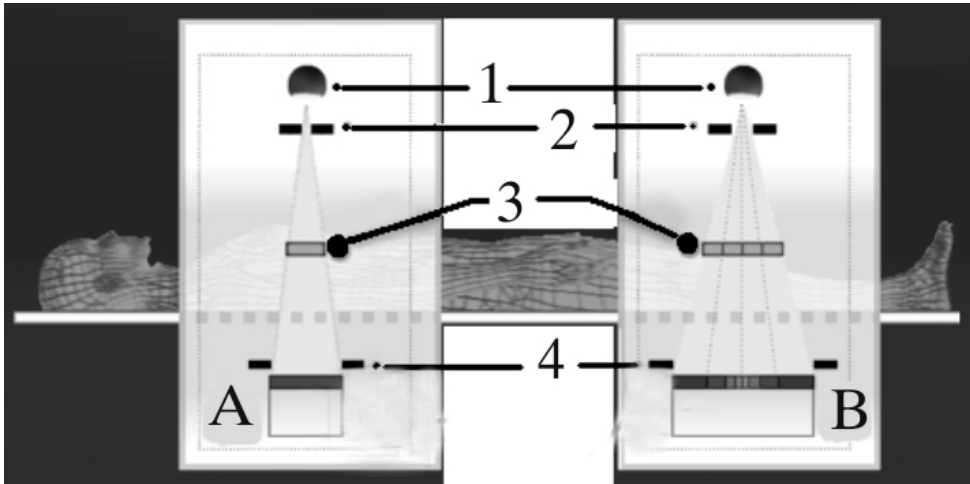


Figura 8.

El equipo TC helicoidal multicorte (B) en relación al monocorte (A). Por cada rotación estudia un mayor volumen, con un aumento de la velocidad de rotación, lo que disminuye los tiempos de exposición. (1) Tubo de rayos X; (2) Colimador del tubo de rayos X; (3) Colimador del Slice. En los equipos multicortes existen tantos colimadores del Slice en el eje Z como cantidad de filas de detectores posee el equipo; (4) Colimador de los detectores. En los equipos multicortes existen tantos colimadores del detector en el eje Z como cantidad de filas de detectores posee el equipo.

- **TC DE DOBLE FUENTE.** La tomografía computarizada con energía dual (TCED) es uno de los campos más novedosos y atractivos en la radiología actual. Estos equipos de última generación tienen la posibilidad de poder realizar estudios con diferentes espectros de RX.

Los mismos están provistos de dos tubos de rayos X, cada uno con sus respectivos detectores, y situados de forma perpendicular al *gantry* (Fig. 9). Cuando dichos tubos trabajan con diferente energía, se hace una adquisición con doble energía (ED). La ventaja es que la corriente del tubo (miliamperios) se puede ajustar por separado, lo que implica un nivel de ruido similar en los

¹⁸ García, P. *Principios técnicos de la tomografía axial computarizada*, p. 13.

dos conjuntos de datos. El tubo de 80 kV utiliza una corriente 4-5 veces mayor que el de 140 kV¹⁹.

Es otro de los equipos que hemos utilizado en esta investigación.

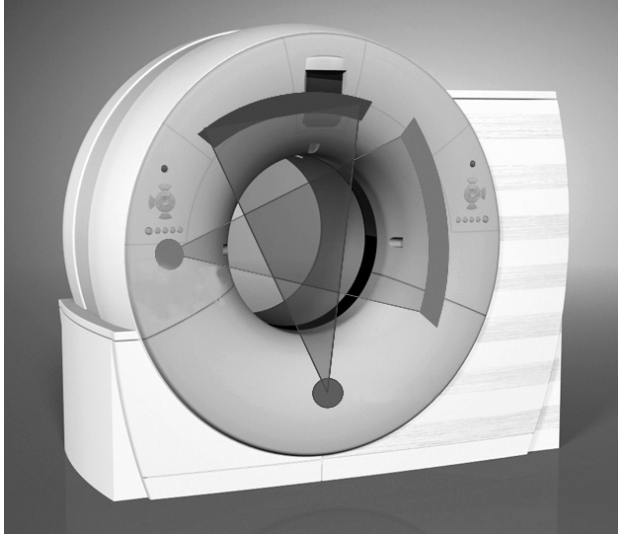


Figura 9.
Equipo TC con doble energía.

■ 4.2.2. Funcionamiento y características de la técnica

■ 4.2.2.1. Principios físicos y de funcionamiento de la TC

La TC se basa en la atenuación que sufre un haz de fotones, en este caso rayos X, al atravesar un espesor de materia en un gran número de proyecciones. Cuando un haz de fotones atraviesa un material, sufren interacciones con los átomos que forman ese medio, que dependen de su energía y las propiedades del material que está siendo irradiado. El resultado de estas interacciones es la atenuación de un haz de rayos X que atraviesa el material (Fig.10) y que se puede describir matemáticamente del siguiente modo: si un haz de fotones de intensidad I_0 incide sobre un material y espesor x , la intensidad de fotones I después de atravesar el material viene dada por la siguiente expresión (ec. 1):

$$I = I_0 e^{-\mu x} \text{ (ec.1)}$$

19 Delgado, C.; Martínez, C.; Trinidad, C. "La tomografía computarizada de doble energía: ¿para que la quiero?". *Radiología* 55, nº 4 (julio-agosto 2013), p. 347. Consultado el 20 de septiembre de 2014.
<http://www.elsevier.es/es-revista-radiologia-119-articulo-la-tomografia-computarizada-doble-energia-90208015>.

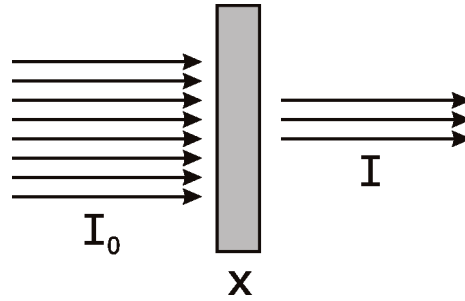


Figura 10.

Esquema de la atenuación del haz de fotones al atravesar un espesor de material.

Es importante recalcar que μ (coeficiente de atenuación lineal total) depende tanto de la energía del fotón como del tipo de material, por lo que, para una misma energía de rayos X, los materiales con una mayor densidad absorben más radiación que los materiales con menor densidad.

En la Fig. 11 se representa el coeficiente de atenuación en función de la energía de los fotones incidentes para el tejido adiposo, cuya densidad es un poco mayor (0.9) que la de las especies forestales más comunes en España (0.5-0.9)²⁰, mientras que en la Fig. 12 se representa el coeficiente de atenuación para el hueso cortical, con mayor densidad que la madera (1.9). En la región de la izquierda, que corresponde a la zona de energías de rayos X donde trabaja la TC, se observan diferencias en las dos gráficas²¹, y son precisamente estas diferencias de absorción las que nos permitirán distinguir distintos materiales dentro del objeto.

20 Rodríguez, F.; Broto, M.; Lizarralde, I. "Densidad normal de la madera de las principales especies forestales de Castilla y León". Área I+D+i de Cefesor. Consultado el 10 de agosto de 2014.

http://www.researchgate.net/publication/242251164_Densidad_normal_de_la_madera_de_las_principales_especies_forestales_de_Castilla_y_Leon

21 Hubbell, J. H.; Seltzer, S. M. "Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients". *NIST Standard Reference Database 126*, (julio 2004). Consultado el 10 de agosto de 2014.

<http://physics.nist.gov/xaamdi>.

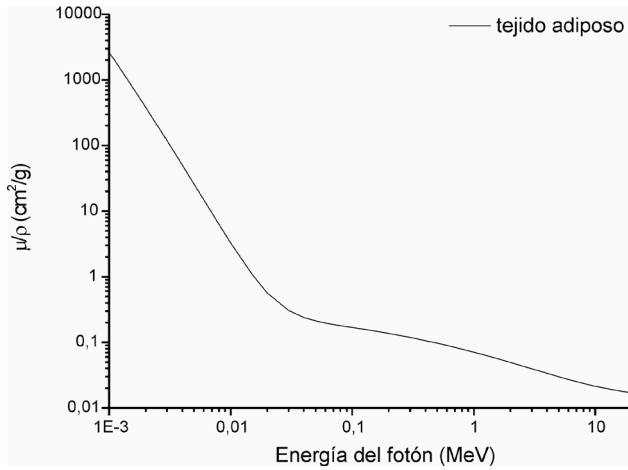


Figura 11.
Coeficiente de atenuación en función de la energía del fotón incidente para el tejido adiposo.

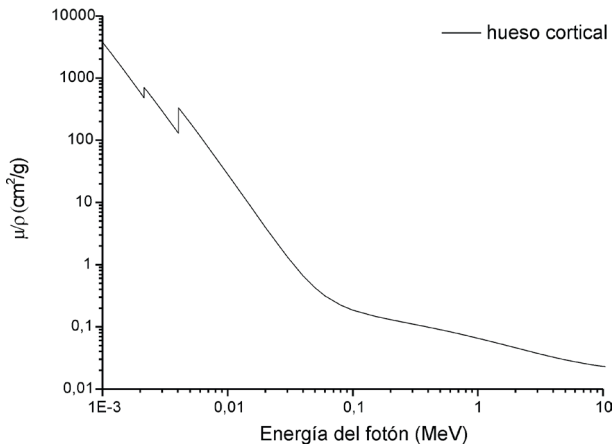


Figura 12.
Coeficiente de atenuación en función de la energía del fotón incidente para el hueso cortical.

Por tanto, el principio básico de funcionamiento de la TC es la medida de las intensidades del haz de rayos X inicial y final, I_0 e $I(x)$, respectivamente. A continuación, se aplican las diferentes técnicas de reconstrucción de la imagen para obtener una matriz de los coeficientes de atenuación lineal de la transmisión medida $I(x)/I_0$.

4.2.2.2. Unidades Hounsfield

En la TC la matriz de reconstrucción de los coeficientes de atenuación lineal (μ_{mat}) se transforma en una matriz de números de TC medidos en unidades Hounsfield del material (UH_{mat}). La atenuación de los materiales en la escala Hounsfield se expresa en relación con el coeficiente de atenuación lineal del agua a temperatura ambiente (μ_{agua}) (ec. 2):

$$UH_{mat} = \frac{\mu_{mat} - \mu_{agua}}{\mu_{agua}} \times 1000 \text{ (ec.2)}$$

El aire presenta por definición un valor teórico de -1000 UH ($\mu_{mat} = 0$) y el agua tiene, también por definición, 0 UH ($\mu_{mat} = \mu_{agua}$), y cada incremento de una UH se asocia con un incremento del 0,1% del coeficiente de atenuación lineal relativo al del agua.

En la visualización de las imágenes de la TC, es muy importante definir los valores de gris que corresponden a un determinado material, lo que se consigue de modo óptimo ajustando adecuadamente los valores del nivel (WL) y del ancho de la ventana (WW).

La escala Hounsfield tiene un valor mínimo de -1.024 HU y un máximo de 3.071 HU, aunque en medicina solo se trabaja con 2.000 valores Hounsfield comprendidos entre -1.000 HU del aire y 1.000 HU de los elementos metálicos. Estos valores se visualizan en una escala de gris de 8 bits que proporciona 256 niveles de gris.

En la Fig. 13, se puede observar una imagen del torso con un ancho de ventana que corresponde al tejido blando, mientras que a la derecha se visualiza la misma imagen con un filtro de hueso.

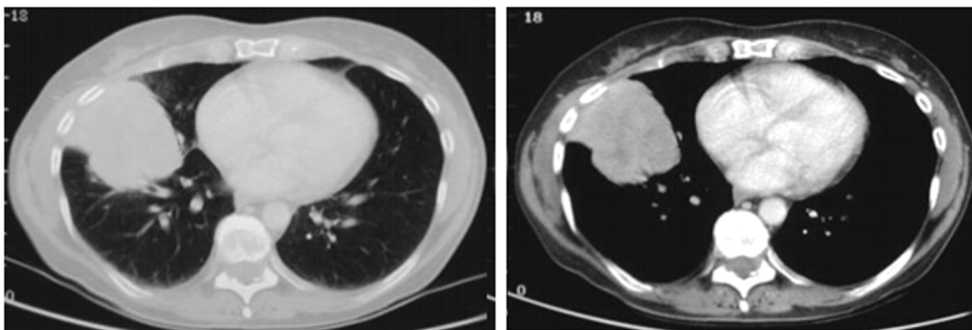


Figura 13.

Sección transversal del torso con un ancho de ventana que corresponde al tejido blando (izquierda) donde se potencia los tejidos de menor densidad, perdiendo información del tejido denso. La misma imagen con un filtro de hueso (derecha) donde se potencia los tejidos de alta densidad.

4.2.2.3. Componentes y características del TC

a) *Gantry o garganta*

Es el sistema en el que se recogen los datos, para posteriormente ser transformados y procesados por el ordenador del TC²². Dentro de este anillo giratorio se alojan: el tubo de rayos X, los detectores, el generador de alta tensión para el tubo, el sistema de refrigeración del tubo de rayos X, el sistema de adquisición de datos, el colimador y los filtros de forma (Fig. 14).

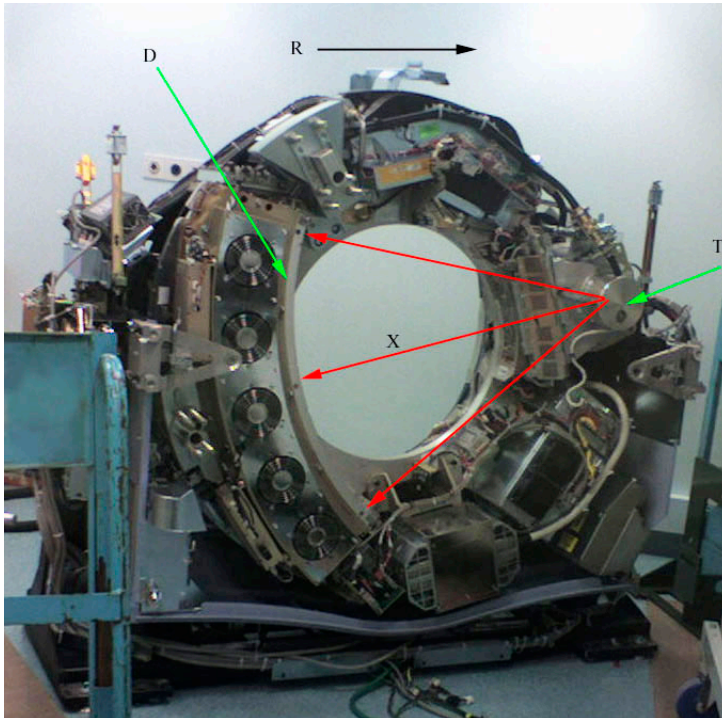


Figura 14.

Interior de un TC. El tubo de rayos X (T) y los detectores (D) están montados en un anillo que gira en el sentido (R) alrededor de la garganta.

b) *El tubo de rayos X*

El tubo de rayos X que produce el haz de rayos X, habitualmente, consta de un ánodo de wolframio, y es alimentado por un generador de alta tensión. La potencia máxima de los equipos modernos está en el rango de 60-120 kW, con valores de tensión entre 80 y 140 kV. La ingeniería de estos componentes del escáner es complicada, ya que se montan en la parte giratoria del *gantry* y tienen que ser diseñados para soportar las fuertes fuerzas G (fuerza cen-

²² García, P. *Principios técnicos de la tomografía axial computarizada*, p. 35

trífuga) que se producen durante la rotación rápida del conjunto. El tiempo de rotación, y la correspondiente resolución temporal de TC, están limitados debido al fuerte incremento de las fuerzas G en tiempos de rotación más cortos. En equipos de TC rápidos, con tiempos de rotación del orden de 0,35 s, las piezas giratorias están expuestas a varias decenas de fuerzas G²³.

c) *Filtración y colimación*

El haz de rayos X generado en el tubo es colimado para adaptarlo a las dimensiones deseadas. El ancho del haz a lo largo del eje longitudinal es generalmente pequeño, por lo que es frecuente utilizar el término "haz en abanico". Además de la filtración característica de todos los equipos de rayos X, los escáneres de TC incorporan "filtros de forma" (*bow tie filters*) para crear un gradiente de intensidad del haz de rayos X en el plano axial en la dirección perpendicular al rayo central. Para lograr mejor el gradiente deseado, los filtros se montan cerca del tubo de rayos X. El objetivo del gradiente y de los filtros de forma que lo producen es la reducción del rango dinámico de la señal que tiene que ser registrada en el sistema detector.

d) *Detectores*

Los equipos actuales de TC incorporan detectores de estado sólido. Su eficiencia de detección es prácticamente del 100%, tienen una respuesta rápida (con poca luminiscencia residual, *afterglow*), y buena transparencia en la luz generada para garantizar su detección óptima por los fotodiodos. Los sistemas detectores actuales de TC constan de miles de elementos detectores de estado sólido. Estos elementos están separados por un septo para impedir que la luz generada en cada elemento detector sea detectada por el fotodiodo de un elemento vecino. Tanto las láminas que forman el septo como los elementos que forman la rejilla antidispersión deben tener el menor tamaño posible, ya que reducen el área efectiva de detección y, por tanto, la eficiencia absoluta de detección de rayos X. Actualmente existen módulos del detector de escáneres de 4, 16, 64 y 320 filas.

El conjunto detector de TC está curvado en el plano axial (plano xy), y tiene forma rectangular a lo largo del eje longitudinal (eje z). La medida de intensidad del haz en los elementos detectores permite obtener los perfiles transmitidos para cada dirección angular $I(x)$. Los equipos de TC cuentan además con detectores situados fuera del FOV (*Field of view*)²⁴ que miden la

23 Calzado, A.; Geleijns, J. "Tomografía computarizada. Evolución, principios técnicos y aplicaciones". *Revista de Física Médica* 11, nº 3 (diciembre 2010), p. 167.

24 Área de la superficie de corte que estudiamos y que podemos ampliar o reducir en función de la zona de interés. García, P. *Principios técnicos de la tomografía axial computarizada*, p. 26

intensidad inicial del haz de rayos X, I_0 . Así, el cociente $I(x)/I_0$, que se relaciona con la atenuación relativa del haz de rayos X, puede registrarse fácilmente. El tamaño de los detalles que se pueden resolver en las imágenes reconstruidas varía en función del número y el tamaño de los elementos detectores presentes a lo largo del arco detector, del tamaño de los elementos a lo largo del eje z y del número de ángulos en los que se han registrado las proyecciones en la adquisición.

El número mínimo de elementos detectores en un arco detector para alcanzar una resolución espacial de x en la imagen reconstruida cubriendo un valor determinado de FOV debe ser aproximadamente $(2 \text{ FOV}) / x$. Por lo tanto, se necesitarían cerca de 800 elementos del detector para alcanzar una resolución espacial de 1 mm en una imagen reconstruida en un campo de visión de 400 mm.

Como regla general, para obtener una buena resolución, el número de ángulos de proyección que se necesita es similar al número de elementos detectores utilizados.

Así pues, el tubo de rayos X emite un haz muy fino de rayos X en forma de abanico que incide sobre el objeto a estudiar. Parte de la radiación del haz es absorbida en el interior del objeto y el resto lo atraviesa, siendo recogida por los detectores situados en el lado opuesto. De este modo, se consigue información acerca de las densidades del objeto para una disposición geométrica del tubo de rayos X y los detectores, lo que se denomina una *proyección*. Para visualizar en cada corte axial zonas de distintas densidades en el interior del objeto, evitando la superposición de planos, es necesario obtener distintas proyecciones cambiando la geometría mediante el giro del tubo de rayos X y los detectores alrededor del anillo (Fig. 15).

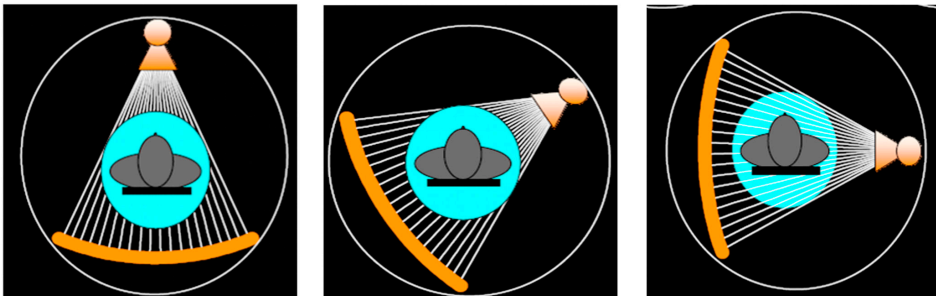


Figura 15.

Giro del tubo de rayos X y de los detectores alrededor del objeto para obtener las distintas proyecciones alrededor del anillo.

Por tanto, el tubo de rayos X y los detectores van variando su orientación, obteniendo de este modo, las distintas proyecciones, hasta que el anillo da una vuelta completa.

e) *Reconstrucción y procesado de la imagen*

Los resultados de las numerosas mediciones de la transmisión de rayos X a través de un objeto constituyen la información básica para reconstruir la imagen. Es sabido que, si se utiliza una retroproyección simple de los perfiles de transmisión medidos para reconstruir la imagen, se obtiene una imagen muy borrosa. Esta conclusión se justifica matemáticamente; se puede demostrar que una retroproyección simple (Fig. 16) no es suficiente para la reconstrucción exacta de la imagen en la TC y que se debe hacer una retroproyección utilizando un filtro.

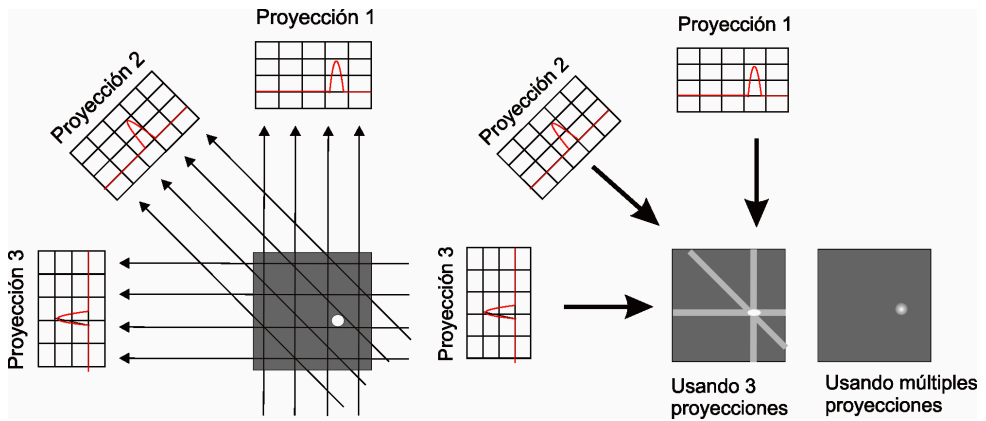


Figura 16.

Esquema de la toma de datos y el proceso de reconstrucción de imagen utilizando la retroproyección simple.

El método conocido como retroproyección filtrada (FBP), con múltiples variantes, es el estándar para la reconstrucción de la imagen en la TC (Fig. 17).

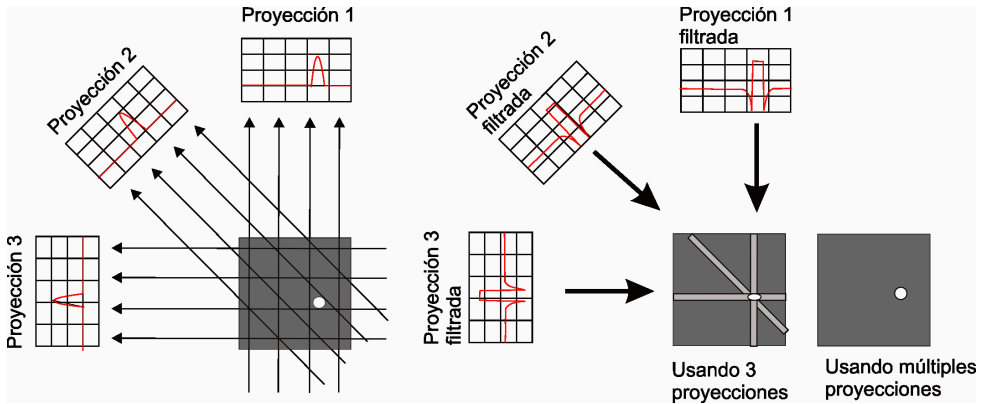


Figura 17.

Esquema de la toma de datos y el proceso de reconstrucción de imagen utilizando una retroproyección filtrada.

El filtro (o *kernel* de convolución) con el que teóricamente se obtiene una reconstrucción óptima en retroproyección filtrada (FBP) es el denominado filtro de *Lakshminarayanan*. Produce imágenes reconstruidas con resolución espacial óptima, aunque presenta también niveles de ruido relativamente altos. Este filtro "óptimo" se denomina con frecuencia en la práctica clínica filtro *sharp* o filtro de hueso. A menudo se utilizan filtros que reducen el nivel de ruido de las imágenes reconstruidas; estos filtros producen cierta pérdida de respuesta en las frecuencias más altas. Esto sucede moderadamente con un filtro *Shepp-Logan*, que proporciona imágenes que son menos ruidosas y con mejor resolución de bajo contraste y resolución espacial un poco peor; este filtro se conoce clínicamente como filtro estándar. Se puede reducir aún más el ruido en las imágenes reconstruidas y mejorar así la resolución de bajo contraste, pero a cambio de obtener una resolución espacial notablemente peor; estos filtros son los que en las aplicaciones clínicas se suelen denominar *smooth* o filtros de tejido blando²⁵. Los equipos de TC actuales ofrecen muchos filtros de reconstrucción que están optimizados para aplicaciones clínicas específicas. Es posible reconstruir una sola exploración con diferentes filtros de reconstrucción para optimizar la visualización de, por ejemplo, tejidos óseos y blandos de manera adecuada.

25 Calzado, A.; Geleijns, J. "Tomografía computarizada. Evolución, principios técnicos y aplicaciones", p. 168.

f) *Artefactos*

Se denomina artefacto a la distorsión de una imagen real que dificulta la visualización de las estructuras adyacentes; estos pueden tener relación con la adquisición, la reconstrucción, o con el objeto. Los artefactos que tienen que ver con la adquisición ocurren en caso de mal funcionamiento de uno o más elementos detectores (artefactos de anillo); en caso de mal funcionamiento del tubo de rayos X durante la adquisición (arcos en el tubo de rayos X), se producen imágenes inutilizables; un muestreado pobre produce patrones de Moiré²⁶; como el grosor de corte es finito se obtiene un valor promedio de los materiales del vóxel²⁷, denominado efecto de volumen parcial; la luminiscencia residual (*afterglow*) del detector puede producir borrosidad en la imagen.

La fuerte atenuación del haz de rayos X al atravesar un material muy denso u objetos metálicos puede dar lugar a artefactos por endurecimiento del haz. Cuando se escanean metales se produce un artefacto de metal, porque atenúa casi completamente el haz, resultando en perfiles de proyecciones incompletas con pérdida de datos que provoca la aparición de artefactos. Dependiendo de la densidad y del tamaño, pueden provocar una absorción total de la radiación y producir como resultado fuertes rayas, negras o blancas, o en forma de estrella, las cuales enmascaran las zonas donde se proyectan dichos artefactos²⁸.

Las imágenes en TC son más propensas a artefactos que las radiografías convencionales debido a que la imagen es reconstruida a partir del orden de un millón de medidas de detectores independientes; los algoritmos de reconstrucción asumen que todas esas medidas son consistentes, por lo que cualquier error de medida se reflejará como un error en la imagen reconstruida²⁹.

g) *Proceso de medida*

En primer lugar se realiza un posicionamiento del objeto en la camilla de manera que la mayor parte del objeto entre dentro del campo de visión (*Field of view-FOV*).

26 Calzado, A.; Geleijns, J. "Tomografía computarizada. Evolución, principios técnicos y aplicaciones", p. 178.

27 Es la unidad cúbica que compone un objeto tridimensional. Constituye la unidad mínima procesable de una matriz tridimensional y es, por tanto, el equivalente del píxel en un objeto 2D. García, P. *Principios técnicos de la tomografía axial computarizada*, p. 16.

28 García, P. *Principios Técnicos de la tomografía axial computarizada*, p. 19.

29 Barret, J.F.; Keat, N. "Artifacts in CT: Recognition and Avoidance". *RadioGraphics* 24, nº 6 (noviembre-diciembre 2004), p. 1679. Consultado el 2 de septiembre de 20015.
<http://dx.doi.org/10.1148/rg.246045065>.

A continuación se realiza la radiografía de planificación. El examen real de TC está precedido por al menos una radiografía plana de planificación denominada topograma. Se efectúa con el tubo de rayos X estático (sin rotación), con el haz muy colimado longitudinalmente y la camilla con el objeto en movimiento. El tubo de rayos X se fija por lo general en una posición que permita obtener una radiografía de proyección frontal o lateral del paciente. La radiografía de proyección de la exploración se realiza con valores intermedios de tensión (120 kV) y valores bajos de intensidad de corriente del tubo (entre 20 y 100 mA). La calidad de la imagen, en particular la resolución espacial, de estas radiografías es moderada en comparación con la de las radiografías clínicas³⁰.

Las radiografías de planificación sirven para fijar las posiciones de inicio y finalización de la adquisición de TC. También se obtiene la información sobre la transmisión de diferentes zonas del objeto a partir del análisis de la(s) radiografía(s) de planificación. Los sistemas automáticos de control de la exposición estiman a continuación la corriente óptima del tubo en función de la posición longitudinal del tubo de rayos X relativa al objeto; esos valores de corriente serán los aplicados durante la adquisición de TC; esto se llama modulación de la corriente del tubo en el eje z. Durante la adquisición helicoidal, la carga del tubo es mayor en zonas con alta atenuación y disminuye en las zonas con menor atenuación de los rayos X.

El siguiente paso es la medida TC y por último se realiza la reconstrucción aplicando los filtros que se consideren más adecuados.



Figura 18.
Ajuste de las medidas de la escultura de la *Virgen de las Victorias o Batallas* al campo de visión (FOV).

30 Calzado, A.; Geleijns, J. "Tomografía computarizada. Evolución, principios técnicos y aplicaciones", p. 169.

4.3. LA ESCULTURA POLICROMADA EN MADERA: CARACTERÍSTICAS Y ALTERACIONES

4.3.1. Características, propiedades y estructura de la madera

Se llama madera al conjunto de tejidos que forman el tronco, raíces y ramas de los vegetales leñosos, excluyendo lo que se entiende normalmente por corteza³¹.

Para conocer cómo analizar una escultura realizada en madera, resulta fundamental conocer las características y propiedades de esta. De esta forma quedará más claro qué es lo que podemos observar a través de la aplicación de la TC. Dichas características vienen determinadas por diversidad de factores, como pueden ser el tipo de árbol del que proviene, la parte del mismo que se haya seleccionado o su crecimiento, entre otros. Dichas cuestiones pueden influir en su anatomía, que puede variar aun perteneciendo a una misma especie. Es por ello por lo que es importante conocer de qué elementos se compone la madera. Los componentes principales de la madera son la celulosa, la lignina y la hemicelulosa. Existen otros componentes minoritarios, como resinas, ceras, grasas y otras sustancias.

Al igual que su composición, resulta fundamental conocer las propiedades de la madera. Estas se resumen en las siguientes:

- **Anisotropía:** Los materiales anisotrópicos son aquellos que poseen propiedades o reacciones diferentes en cada una de sus direcciones. La madera posee esta propiedad, por lo que tenderá a moverse de forma diferente en cada una de sus direcciones dependiendo de su estructura constitutiva.
- **Higroscopicidad:** Es la capacidad de absorber o eliminar agua. Dicha capacidad viene determinada por el grado de humedad al que se encuentre sometida la madera.
- **Plasticidad:** Otra de las propiedades principales de la madera es la capacidad que tiene de deformarse en función de las cargas o fuerzas a las que se vea sometida, disminuyendo en función de la temperatura y la humedad a la que se vea sometida.
- **Densidad:** La densidad de la madera viene determinada por la relación que existe entre el peso y el volumen. Las maderas de mayor densidad tienen células de paredes gruesas, quedando pequeños huecos en su interior. Sin

³¹ Bermúdez, C. *La escultura en madera policromada. Degradaciones causadas por la inadecuada ejecución de la técnica, defectos e incompatibilidad de materiales.* (Granada: Dpto. de escultura. Facultad de Bellas Artes. Universidad de Granada, 2001), p. 15.

embargo, en las de menor densidad los huecos son de mayor tamaño y con unas paredes celulares muy finas.

- *Retracción y turgencia:* Por su anisotropía, la madera se hincha y/o se contrae produciéndose variaciones dimensionales. Estos movimientos se producen de manera irregular y son lo que conocemos como “juego o trabajo de la madera”.
- *Elasticidad:* La madera puede deformarse bajo presiones y compresiones, pudiendo volver a su estado original tras el cese de estas. Dicha propiedad se mantiene aun estando la madera seca.

La estructura de la madera de un tronco puede ser analizada a simple vista mediante un corte transversal del mismo, distinguiéndose las diferentes capas o subcapas en las que se divide el tronco de un árbol.

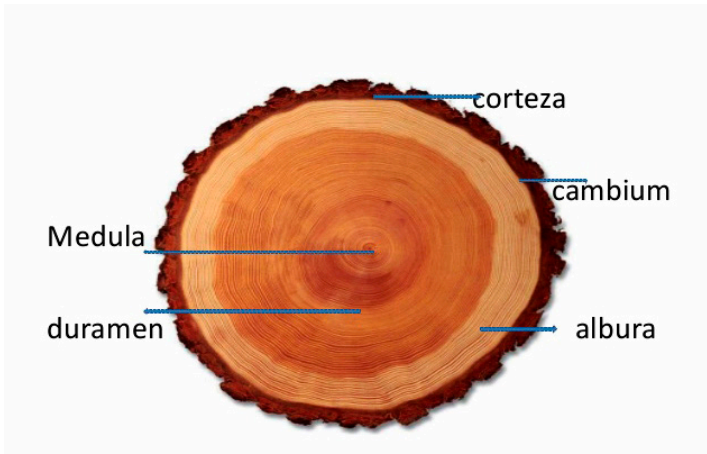


Figura 19.
Estructura de un tronco.

- *Corazón:* Núcleo o médula. Constituye el centro del tronco.
- *Albura:* Es la capa exterior y la que contiene más agua, siendo de esta manera la más blanda y ligera. Su higroscopicidad es muy superior a la del duramen y, debido a ello, resulta más fácil de tallar³². Su apariencia visual es clara con respecto al duramen.
- *Duramen:* Es la parte más interna del árbol y la zona con mayor dureza y resistencia, por lo que resulta muy complicada de tallar. Presenta una higros-

32 Doerner, M. *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*. (Barcelona: Reverté, 1991), p. 101.

copacidad baja, por lo que no se produce contracción ni dilatación³³. En cuanto a su apariencia visual, suele ser más oscura que la albura.

- **Cámbium:** Se encuentra hacia el exterior y está formado por dos caras, una interna y otra externa (*Xilema* y *Floema*).
- **Corteza:** Con su dureza, forma y espesor, protege al árbol de los agentes atmosféricos.

En la albura y en el duramen, "se pueden distinguir los anillos de crecimiento en la mayoría de las especies arbóreas, gracias a la diferencia de coloración según el periodo vegetativo que haya sufrido el árbol o la época estacional en la que se originó el Cámbium (capa embrionaria original del árbol)"³⁴.

4.3.2. Clasificación de las maderas

Podemos clasificar las maderas en dos grandes grupos:

- **Resinosas:** Llamadas coníferas debido a la forma del fruto que producen. Pertenecen al grupo de las *Gimnospermas*. Se caracterizan por presentar una estructura anatómica muy simple con un solo tipo de células, las traqueidas. Al cortar la masa leñosa de estas, encontramos los radios leñosos, presentando, además de estos, "canales resinosos". Entre las especies más comunes de este grupo podemos nombrar el pino, el abeto y el alerce, así como el ciprés, la sabina y el tejo, entre tantas otras.
- **Frondosas:** Dicotiledóneas, pertenecientes al grupo de las *Angiospermas*. La estructura de estas maderas es mucho más compleja que las de las coníferas. Según la agrupación que realiza Hernández Manzano³⁵ atendiendo a la dureza de estas maderas, se pueden determinar tres clases diferenciadas: duras, blandas y muy blandas.
 - **Duras:** Entre estas se encuentra el roble. Se trata de una madera dura y compacta, resistente y a la que le afecta en menor medida la humedad y la sequedad, siendo apenas vulnerable al ataque por hongos o insectos xilófagos. Otra de las maderas característica por su dureza es el haya, pero esta sí se altera por el efecto de la humedad y la sequedad y es vulnerable al ataque de hongos e insectos xilófagos.

33 Grañán, C. *Técnicas y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*, p. 104.

34 Hernández, C. *El MDF como material escultórico. Estudio analítico, técnico, estructural y comparativo del conglomerado de madera de fibras de densidad media*. (Tesis doctoral, Departamento de escultura. Universidad de Granada, 2012), p. 35. Consultado el 2 de enero de 2015. <http://hdl.handle.net/10481/23991>.

35 Hernández, C. *El MDF como material escultórico. Estudio analítico, técnico, estructural y comparativo del conglomerado de madera de fibras de densidad media*, p. 58. Consultado el 2 de enero de 2015. <http://hdl.handle.net/10481/23991>.

- Blandas: El abedul es una de las maderas que podemos considerar blandas. Tiene la gran ventaja de que prácticamente no existe diferencia entre albura y duramen, lo que la hace idónea en trabajos de carpintería de alta calidad y en escultura.
- Muy blandas: Se trata de maderas derivadas de los árboles frutales de pequeño tamaño. Entre estos tenemos el nogal, de madera muy compacta y con pequeña contracción, apenas vulnerable a los hongos y a los insectos, pero no a las termitas. También se encuentra en esta clasificación el cerezo, madera fina resistente a los hongos, pero muy vulnerable a los insectos.

■ 4.3.3. Defectos, anomalías, alteraciones y factores de deterioro de la madera

En este apartado hablaremos de aquellas particularidades que se consideran 'defectos', 'anomalías' y 'alteraciones' de la propia constitución de la madera y que puedan ser posibles causas futuras en la degradación de una escultura. Entre estas se encuentran:

■ 4.3.3.1. Grietas o fendas

Con carácter general, se denomina fenda (según la norma UNE-EN 844-9) a toda separación de las fibras (raja o hendidura) en dirección longitudinal³⁶.

Según la manera de producirse, estas fendas tienen una denominación determinada:

- Acebolladura o *colainas*. Se manifiestan por una discontinuidad entre los anillos de crecimiento.
- Fendas superficiales o de desecación. Se producen cuando el árbol se ve sometido a altas temperaturas o por acción del sol, ocasionándose un desecamiento de la corteza, del liber y del cambium y, como consecuencia de ello, una necrosis cortical, quedando desprotegida la madera. Se trata de pequeñas grietas o fendas en sentido longitudinal³⁷.
- Fendas de heladura. Son fendas radiales originadas por la acción de una helada. Estas se producen en superficie y en el interior del tronco.

36 Esteban, M.; Arriaga, F.; Iñiguez, G.; Bobadilla, I.; Mateo, R. "Influencia de las fendas en la resistencia de la madera estructural". *Materiales de construcción* 60, nº 299 (julio-septiembre 2010), p. 116. Consultado 10 de enero de 2015. <http://materconstrucc.revista.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/213/259>.

37 Hernández, C. *El MDF como material escultórico. Estudio analítico, técnico, estructural y comparativo del conglomerado de madera de fibras de densidad media*, p. 64. Consultado el 2 de enero de 2015. <http://hdl.handle.net/10481/23991>.

- Fendas de viento. Se producen cuando el árbol se ve afectado por esfuerzos extraordinarios a causa del viento. En este caso se ocasionan fendas longitudinales y transversales.

Hasta aquí hemos conocido todas aquellas fendas o grietas que son de origen natural, pero existen otras que se producen durante el secado de la madera, son las denominadas fendas de secado. Estas se forman durante el secado de la madera, y su causa es la pérdida de humedad de la misma, lo que ocasiona una serie de tensiones internas que dan lugar a una separación de las fibras.

Es importante conocer todos los tipos de grietas de origen que podemos encontrar en la madera, pero cabe reseñar que muchas de las que presentan las esculturas de madera se han ocasionado una vez realizada la escultura, debido a las fluctuaciones de temperatura y humedad a las que se pueden haber visto sometidas estas.

■ 4.3.3.2. Fibras reviradas y entrelazadas

La orientación de las fibras de la madera recibe comúnmente el nombre de hilo o grano.

Normalmente las fibras se disponen paralelamente al eje principal del tronco, pero existen ocasiones, debido a las tensiones a las que esté sometido el árbol o por la presencia de un nudo, en las que se altera la dirección de las fibras, bien en espiral o entrelazadas.

■ 4.3.3.3. Nudos

Los nudos son quizás el defecto natural más común en la madera. La normativa UNE de 56.521 sobre defectos y anomalías de la madera aserrada define nudo como “anomalía local de la estructura de la madera producida por la parte inferior de una rama que va quedando englobada en el tronco a medida que se producen los crecimientos de este”³⁸.

Existen diferentes formas de nudos:

- Nudo adherente, también conocido como vivo, fijo o sano. Se define como “aquel cuyos tejidos son solidarios con los de la madera que los rodea debido a ser formado por una rama viva” (norma UNE 56.521).
- Nudo suelto, también conocido como saltadizo, muerto o nudo seco. Este se define como “aquel en que los tejidos de la rama que lo producen no son solidarios con los de la madera que los rodea y suelen separarse” (norma UNE 56.521).

38 Normas españolas para madera aserrada. Consultado 5 de mayo de 2013.
http://www.informadera.net/uploads/articulos/archivo_570_16457.pdf.

■ 4.3.3.4. Núcleos de resina

Los núcleos de resina se localizan como cavidades entre los estratos que componen los anillos de crecimiento. Normalmente se presentan cercanas a los nudos o distribuidas de forma arbitraria a lo largo del tronco.

■ 4.3.3.5. Factores de deterioro de tipo biótico

El estado de conservación de una escultura no solo se ve afectado por las alteraciones que presenta la madera, sino que además existen una serie de factores de deterioro que también influyen en esta. Aparte de la humedad y la temperatura que provocan movimientos de retracción y turgencia, los principales factores de deterioro de las esculturas en madera también vienen determinados por los agentes de tipo biótico. Entre estos podemos destacar los insectos xilófagos y los hongos.

Los insectos xilófagos son uno de los peores enemigos de la madera seca. Se trata de organismos que se nutren de dicho material. Una humedad relativa elevada y temperaturas no excesivamente bajas favorecen su desarrollo. Los principales daños que causan son la ruptura de las fibras de la madera, con pérdida de sus características mecánicas, ocasionada por las profundas galerías que provocan en su interior. Entre los insectos xilófagos que atacan la madera (coleópteros, isópteros e himenópteros), dos son las especies que mayor daños ocasionan a la misma; los coleópteros –anóbidos, líctidos y cerambícidos– y los isópteros –termitas–. Los daños que estos provocan varían en función de la especie.

Entre los microorganismos, los hongos son los principales agentes de deterioro de la madera. Son capaces de desarrollarse tanto en la superficie como en el interior de la estructura de la madera.

La madera afectada pierde humedad, se reduce de tamaño y se deforma. En cuanto al aspecto y color que adquiere la madera tras un ataque por hongos, se pueden distinguir tres tipos diferentes de degradación: la pudrición blanca, la pudrición parda o pudrición seca y la pudrición blanda³⁹.

■ 4.3.4. Tallado en madera

La talla es una técnica sustractiva en la que partiendo de una masa sólida y mediante el corte, cincelado y abrasión se da una forma concreta⁴⁰.

39 Caneva, G.; Nugari, M. P.; Salvadori, O. *La biología en la restauración*. (Hondarribia: Nerea, 2000), p. 81.

40 Grañán, C. *Técnica y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*, p. 85.

■ 4.3.4.1. Evolución histórica

La talla es el proceso escultórico más antiguo conocido. Así, en la época en que Plinio escribe su *Historia Natural*, en el que se recoge la mayor información sobre los artistas griegos (s. I), ya existe una división en las artes plásticas: *fusoria*, *plastica* y *scultura*⁴¹.

- La *fusoria* como el arte de fundir metales.
- La *plastica* como el arte de trabajar el barro o la cera.
- La *scultura* como el arte de trabajar la piedra.

Es en este caso de la *scultura* en el que Plinio se refiere al concepto de tallado, la sustracción o detracción del material a partir de un bloque.

A lo largo de la historia, los materiales que han predominado para el tallado de escultura han sido la madera, la piedra y el marfil. Pero la madera, por sus condiciones específicas, ha sido uno de los materiales más utilizados.

Es sabido que la madera ya era utilizada en Egipto en la realización de imágenes. Se conocen esculturas de bulto redondo, de tamaño natural o incluso mayores, trabajadas en un solo tronco que ha sido ahuecado en su reverso, al que se le encastran los brazos u otros elementos. Incluso alguno presenta un policromado y un dorado (a partir de la V dinastía), utilizando herramientas de tallado muy similares a las que se usan hoy día.

Ya con posterioridad, de la Grecia preclásica pocos son los restos de estas que han llegado a nuestros días. Pero es en la época clásica y en el Imperio Romano cuando se alcanza un dominio total a la hora de tallar la madera.

El tallado en madera no deja de utilizarse en la Alta Edad Media, pero es a partir del siglo XI (Baja Edad Media) cuando se produce un fenómeno de proliferación de imágenes talladas en madera y policromadas en toda Europa. A partir de este momento, se origina una evolución de la técnica y de las herramientas de tallado, para culminar en el Renacimiento. También en el Barroco se producen un gran número de imágenes talladas en madera.

Con esta breve introducción, en la que se pone de manifiesto la antigüedad de la utilización de la madera, hemos querido exponer lo que ha sido la evolución de la técnica del tallado en madera en escultura.

41 Wittkower, R. *La escultura: procesos y principios* (Madrid: Alianza forma, 2010), p. 37.

■ 4.3.4.2. Maderas más utilizadas en escultura

Las cualidades más importantes de la madera a efectos de tallado son la uniformidad de las direcciones de las fibras y la homogeneidad en cuanto aspecto y composición.

En el tallado de escultura se han utilizado maderas blandas y duras. La elección de un tipo de madera u otro viene determinada por el tamaño de la pieza escultórica a realizar: maderas compactas y duras para aquellas piezas de menor tamaño y con un tallado de detalle.

La elección del tipo de madera también ha estado influenciado por las maderas autóctonas. Así, en Italia las maderas más utilizadas han sido el álamo y el chopo; en Francia, el nogal y el castaño, y en los Países Bajos, el roble y la encina. Entre las maderas más utilizadas en España, concretamente en Andalucía, destacan el borne o pino de Flandes, el cedro de la Habana, el castaño, el tejo, el álamo, el nogal, el ciprés y el boj⁴². Junto con estas, las otras maderas utilizadas en España han sido el pino silvestre y algunas procedentes de árboles frutales como el peral.

■ 4.3.4.3. Sistemas constructivos en el tallado

Las ventajas de la madera como material de soporte de una pieza escultórica son diversas, desde su relativa ligereza hasta la posibilidad de unirse y ensamblarse para crear un bloque con diversas formas. Para la creación de este bloque, donde finalmente se tallará la escultura, se han utilizado diferentes sistemas constructivos.

Un primer sistema consiste en un único bloque de madera a partir del tronco de un árbol, en la mayoría de los casos ahuecado por el reverso, aunque no en todos los casos el bloque de madera esté ahuecado. Dicho ahuecado se realizaba para contrarrestar fuerza y movimiento de la madera, aligerando de alguna manera también el peso.

Otro de los sistemas constructivos que se empieza a utilizar a partir del siglo XVI es el de un bloque principal de madera, núcleo central, al que se le añaden diferentes piezas al hilo para completar su volumen, todo ello dirigido hacia la elaboración de un bloque de madera estable a partir de la unión de varias piezas que contengan la forma y el tamaño de la talla. A este bloque se le denomina embón.

42 Grañán, C. *Técnicas y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*, p. 116.

A partir de aquí se iniciaba el tallado, siguiendo con un complejo proceso técnico en el que se iban definiendo los volúmenes y detalles generales, para finalizar con el alisado de las diferentes superficies. Las manos eran retiradas después del desbaste y colocadas una vez terminadas.

El tipo de ensamblajes utilizados para llevar a cabo la unión de las diferentes piezas que componen dicho embón era normalmente el de *ensambles de acoplamiento* o de *superposición*, también conocidos como uniones de madera viva o al hilo. Las piezas eran adheridas por simple contacto y en algunas ocasiones se utilizaban como refuerzo clavos o mechones de madera. Muchos de estos embones eran ahuecados en su interior para conferir mayor estabilidad.

Es ya a partir del Barroco cuando se empiezan a realizar embones mucho más equilibrados. Estos, normalmente, ya son ensamblados en hueco para evitar el ahuecado posterior. Se utilizan bloques de madera de la misma especie y características, con el mismo grosor y con una disposición en la que las fibras queden a igual dirección, todo ello encaminado a equilibrar las tensiones propias del material y las que se puedan ocasionar durante el tallado.

■ 4.3.4.4. Preparación del soporte

Una vez terminado el tallado, se realizaba una impregnación de la madera, "ajicola" o "giscola", así nombradas en el tratado *Arte de la Pintura* de Pacheco⁴³ y en el de Palomino. Se trata de un tipo de cola utilizada como primera imprimación con el fin de disminuir la porosidad de la madera y prepararla para posteriormente aplicar los estratos de preparación y de la policromía.

Por lo general, las uniones o ensamblajes de los bloques de madera eran reforzados con tiras de tejido adheridas (enlizado o entrapado)⁴⁴. Se daban también ocasiones en las que la talla era entelada completamente debido a que dicho soporte estaba constituido por un número elevado de piezas.

■ 4.3.4.5. Estrato de preparación

La preparación engloba todas las capas intermedias entre el soporte y la capa pictórica.

También conocida en la antigüedad como "aparejo", normalmente estaba compuesto por yeso (sulfato cálcico) aglutinado con cola animal, *yeso grueso* en las primeras capas y *yeso fino o mate* en las últimas. Se aplicaba en capas sucesi-

43 Pacheco, F. *El Arte de la Pintura*. (Madrid: Cátedra, 2001), p. 495.

44 Rodrigo, L. "Los procedimientos técnicos en la escultura en madera policromada granadina". *Cuadernos de Arte. Universidad de Granada* 40, (noviembre 2009), p. 460.

vas, cuatro o cinco capas como dice Pacheco, de yeso grueso y, sobre estas, cuatro o cinco de yeso fino. Posteriormente eran lijadas hasta conseguir una superficie muy fina.

Una vez la escultura estaba cubierta con las sucesivas capas de yeso, se procedía a retirar la mascarilla del rostro, anteriormente ahuecada, en la que se abrían por el interior las órbitas de los ojos, donde se albergarían los globos de vidrio, esféricos o semiesféricos, y la boca. Durante el siglo XVII se alternó la colocación de estos ojos de vidrio con los ojos pintados directamente sobre el aparejo.

A continuación se aplicaba la capa de imprimación⁴⁵ generalmente coloreada. La composición suele ser parecida a la del estrato de preparación, aunque en este caso los pigmentos son más finos y se aplican muy fluidos.

Las imprimaciones coloreadas comienzan a emplearse a partir del siglo XVII, las oleosas en el siglo XVIII. El color de dicha imprimación vendrá en función del tono general de la policromía a realizar, solién dose utilizar tonalidades ocres y rojas para las carnaciones.

Por último y antes de proceder con la policromía, se aplicaba una capa aislante. La composición de esta capa estaba en función de la técnica a utilizar en el policromado de la escultura: para la técnica al temple, las colas, y para las técnicas al óleo, los aceites y barnices.

■ 4.3.4.6. Capa superficial de policromía

La policromía no es una mera adición a la forma plástica sino una operación habitual en la realización de una pieza escultórica, siendo un dato esencial para la comprensión de ésta y mostrando una estética propia inseparable de la historia de la escultura. Varía según sea la naturaleza del soporte escultórico, la función de la obra, su iconografía, etc., y está sujeta a la evolución técnica, estilística y estética de los diferentes periodos de la historia del arte⁴⁶.

En este apartado no vamos a definir las diferentes técnicas empleadas a la hora de policromar una escultura en madera, ya que no es el fin de esta investigación. Solo nos limitaremos a exponer que los diferentes pigmentos que mayoritariamente han sido utilizados a la hora de policromar una escultura en madera en los diferentes periodos de la historia poseen una densidad diferente al soporte y

⁴⁵ Fina capa con alto porcentaje de aglutinante y poca carga que se aplica sobre la preparación, para hacer más lisa y menos porosa la superficie a pintar. Calvo, A. *Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos De la A a la Z*. (Barcelona: Del Serbal, 2003), p. 120.

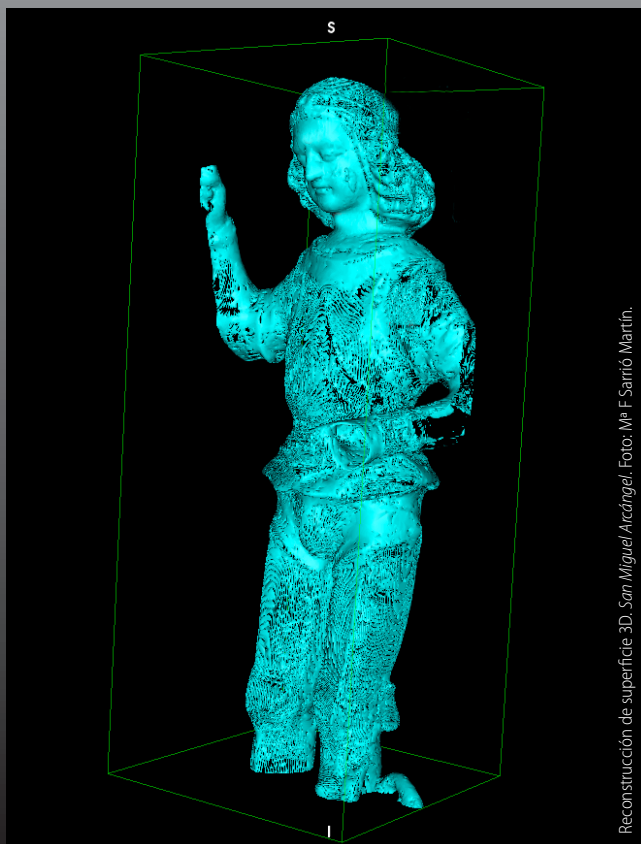
⁴⁶ Gómez, M. L. *La restauración. Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*. (Madrid: Cátedra, 2000), p. 18.

a la capa de preparación. Pigmentos como el albayalde y el bermellón proporcionan una alta densidad a la capa de policromía. De igual modo, otros pigmentos como las tierras, azurita, verdigrís y los pigmentos de carácter industrial poseen una densidad mayor que las capas de preparación y el soporte de madera.

En general, la capacidad de resolución de la TC no permite diferenciar entre diferentes capas de policromía. La detección de las capas de policromía dependerá de su densidad y espesor. La sucesión de estratos generan en la imagen TC una diferencia de densidad respecto a la preparación y al soporte de madera que permite evidenciarla, sin resolver las distintas capas que puedan componerla. Por ello, la contribución de la TC al estudio de la policromía es muy limitada y no requiere una profunda exposición sobre los diferentes pigmentos utilizados en el policromado de escultura en madera.

4. CUERPO DEL TRABAJO

2ª PARTE: FASE EXPERIMENTAL



Reconstrucción de superficie 3D. San Miguel Arcángel. Foto: M^a F. Sarrío Martín.

■ 4.4. INTRODUCCIÓN: FASE EXPERIMENTAL

Como ya expusimos en la introducción de esta tesis, desde el año 2006 el IVC+R y el SCRC en colaboración con el servicio de Radiodiagnóstico del Consorcio Hospitalario Provincial de Castellón están llevando a cabo una serie de estudios en diferentes esculturas policromadas en madera.

A medida que se realizaban estudios, se iba mejorando el uso de la información que proporcionaba la TC en el análisis de una pieza escultórica. Era evidente su utilidad a la hora de detectar daños, añadidos, elementos metálicos, maderas distintas, etc. Quedaba pendiente definir la capacidad de la técnica a la hora de determinar con exactitud posiciones de objetos y sus medidas. Este hecho resulta fundamental desde el punto de vista de la restauración, ya que ciertas intervenciones deben hacerse con muchas garantías, como por ejemplo, eliminar elementos añadidos, como tablas, o reconstrucciones volumétricas, en donde es primordial conocer con exactitud su posición y dimensión.

Otro aspecto que quedaba por investigar era la reconstrucción de la imagen que genera el equipo. Además de la separación entre los cortes, las opciones de procesado que ofrecen los equipos, principalmente los filtros de reconstrucción, también son un aspecto importante que puede limitar la información que se obtiene de la TC y su uso en restauración.

Es por lo que nos propusimos construir una probeta patrón que nos sirviera de modelo real de una escultura en madera, en la que se introdujeron diferentes materiales y elementos representativos de lo que es la técnica de ejecución y el estado de conservación de una escultura de estas características, para posteriormente poder ser analizada mediante TC. Con todo ello llevamos a cabo una fase experimental en el estudio de la escultura policromada en madera mediante dos equipos distintos de TC, Siemens Somatom Sensation 16® y Siemens Somatom Definition Flash®.

A través de estos estudios se pretende determinar las diferencias entre ambos equipos y revisar aquellas cuestiones relacionadas con la toma de datos: condiciones de trabajo a las que están limitados, número de cortes, el FOV (*Field of View*), potencia o intensidad, diferentes protocolos de estudio, etc. Por otro lado, también se pretende determinar la precisión y exactitud con la que trabaja la TC a la hora de analizar la estructura interna de una pieza escultórica.

Es en esta parte de la presente tesis en la que exponemos todo el proceso llevado a cabo en la fase experimental. La misma se inicia con la descripción de las características de los equipos empleados, sus limitaciones y capacidades; para continuar con la realización de la probeta patrón, la selección del material y el método de construcción de esta; finalizando con la descripción de los resultados obtenidos en el análisis de dicha probeta con los equipos de TC.

4.5. INSTRUMENTACIÓN: CAPACIDADES Y LIMITACIONES

Es en este apartado donde describiremos las particularidades de cada uno de los equipos que se han utilizado en esta investigación, Siemens Somatom Sensation 16[®] y Siemens Somatom Definition Flash[®]. En la Tabla 1 quedan referenciadas algunas de las características de estos.

Tabla 1.
Características y especificaciones técnicas de los equipos.

	*Siemens Somatom Sensation 16 [®]	*Siemens Somatom Definition Flash [®]
Abertura gantry	70 cm	78 cm
Tubo	DURA Akron-Q	2 x Straton MX P
Tensiones del tubo de rayos X	80; 100; 120; 140 kV	70; 80; 100; 120; 140 kV
Rango de corrientes de tubo	28-250 mA	20-800 mA
Topograma	128-1536 mm	128-1970 mm
Longitud de exploración	Max. 1570 mm	Max. 1840 mm

*Los datos han sido obtenidos de los manuales de usuario de los equipos.

Entre las características que determinan ambos equipos podemos añadir que el Siemens Somatom Sensation 16[®] realiza dieciséis cortes, es decir 16 imágenes tomográficas por cada vuelta que da el sistema tubo RX-detectores. Sin embargo,

el Siemens Somatom Definition Flash® realiza 2×128 cortes cuando trabaja con los dos tubos, 256 imágenes axiales por cada vuelta del sistema tubo RX-detectores.

El equipo Siemens Somatom Flash® trabaja con mayor rapidez y menor irradiación, factores que no resultan determinantes en el análisis de una escultura en madera.

Existen una serie de limitaciones en los tomografos y es importante conocerlas. Una de ellas, presente en ambos equipos, es el ajuste del campo de visión (*Field of view-FOV*). La forma de establecer el FOV es mediante el diámetro en centímetros de la circunferencia en que se muestra la imagen. Este debe ajustarse a la región de la pieza a estudiar; pero, al tener dicho campo un ajuste máximo, todas aquellas parte a estudio que excedan de esta zona quedarán fuera del campo de visión y por tanto no podrán ser analizadas.

La región máxima que el tomógrafo puede explorar se mide desde el centro de la circunferencia de la garganta hacia fuera. En el caso de ambos equipos TC es de 500 mm a excepción del Siemens Somatom Definition Flash® cuando realiza la técnica de doble energía (*Dual Energy*), que se reduce a 330 mm.

En cuanto a la garganta (*gantry*), es por el diámetro de esta por donde se introduce la mesa o camilla con el objeto a analizar. Dicho diámetro está condicionado por unas medidas, lo que conlleva una limitación en el volumen de las piezas a explorar. En el caso del equipo Siemens Somatom Definition Flash®, el diámetro es de 78 cm, y en el Siemens Somatom Sensation 16® es de 70 cm.

Esto ha sido un condicionante a la hora de analizar algunas piezas escultóricas cuyo volumen o la propia peana sobre la que se apoya la imagen excedían en tamaño del diámetro de la garganta del TC (Fig. 20).



Figura 20.
Imposibilidad de introducir la peana de la imagen de la *Inmaculada Concepción de Granada* en la garganta del equipo TC.

Todos los equipos tienen unos protocolos estándares ya establecidos para el estudio clínico. En el análisis de una escultura en madera, el realizar uno u otro protocolo no resulta determinante ya que estos están enfocados al estudio humano.

Otra de las diferencias que existen entre un equipo y otro es la longitud de exploración máxima que tiene cada uno. Así, el Siemens Somatom Sensation 16[®] tiene una longitud de exploración limitada a 1570 mm, mientras que el Siemens Somatom Definition Flash[®] lo tiene de 1840 mm. Es por lo que este último equipo nos permite realizar análisis de piezas de un mayor tamaño.

Otra de las cuestiones que plantea un problema al analizar una pieza escultórica son los elementos metálicos que podemos encontrar en su estructura.

Estos elementos resultan problemáticos a la hora de analizar las imágenes tomográficas donde se visualizan, ya que ocasionan una distorsión en dichas imágenes. Esto es debido al alto coeficiente de atenuación a los rayos X de estos objetos metálicos, que impiden que llegue señal al detector. La corrección de esta distorsión en la imagen tomográfica solo es viable mediante métodos de

ajuste en el procesado posterior de la misma; estos mejoran la calidad de la imagen, pero no son capaces de recuperar detalles en la zona que rodea el objeto metálico⁴⁷.

En las piezas escultóricas que hemos estudiado, se han determinado estructuras en las que existía un mayor o menor número de elementos metálicos. Dicha cuestión ha resultado problemática al definir claramente estos objetos ya que, si el volumen de elementos metálicos es grande, un gran número de imágenes tomográficas quedan afectadas, lo que ocasiona una dificultad en su estudio.

El equipo Siemens Somatom Definition Flash® puede trabajar con doble energía, pues es de los denominados TC de *Dual Energy* (DECT). Este tipo de TC dispone de dos tubos de RX, cada uno con sus respectivos detectores, colocados de forma perpendicular al *gantry*. La ventaja es que la corriente de los tubos se puede ajustar por separado y así podemos trabajar con dos bloques de datos. Cuando los tubos trabajan con diferente energía (emiten con diferente kilovoltaje y miliamperaje), se hace una adquisición con doble energía. El posprocesado de los datos (con software específico) permite realizar una separación espectral de los mismos con múltiples aplicaciones clínicas. Una de estas es la reducción de los artefactos provocados por el metal⁴⁸.

■ 4.6. PROBETA PATRÓN

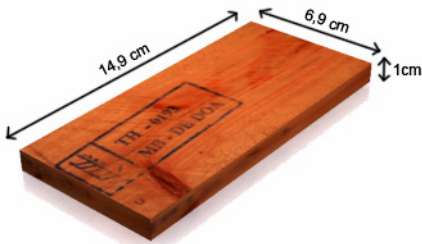
■ 4.6.I. Selección del material

El estudio y la restauración de un gran número de piezas escultóricas durante estos años de trabajo en el campo de la conservación y restauración de la escultura policromada en madera nos ha permitido conocer los tipos de soportes con el que están construidas, las alteraciones y, las diferentes intervenciones de restauración que normalmente presentan, así como los materiales con los que se han llevado a cabo dichas intervenciones. El material seleccionado para la construcción de la probeta patrón viene determinado por dicho conocimiento.

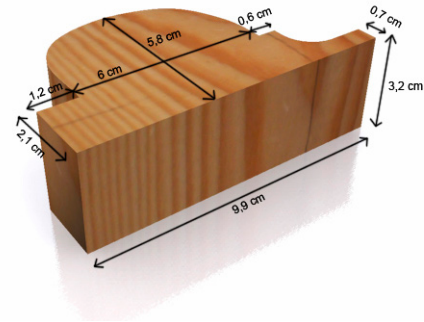
47 Molina, C. de. "Corrección del artefacto de endurecimiento de haz (beam hardening) para imágenes obtenidas con tomógrafo de rayos X de pequeños animales". (Proyecto fin de carrera, 2012, Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, 2012), p. 25. Consultado el 20 de febrero de 2015. <http://hdl.handle.net/10486/9637>.

48 Bamberg, F.; Dierks, A.; Nikolaou, K.; Becker, C.; Johnson, T.; Reiser, M. "Metal Artifact Reduction by Dual Energy Computed Tomography Using Monoenergetic Extrapolation". *European Radiology* 21, nº 7 (julio 2011), p. 1424. Consultado el 10 de enero de 2015. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1295009/pdf/jrsocmed00078-0096.pdf>.

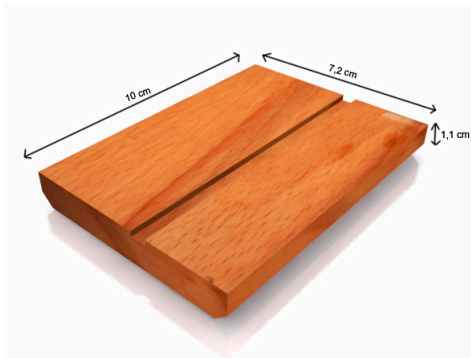
En primer lugar, diferentes piezas de distintas especies de madera (haya, roble, pino, tilo, mobila y balsa) de desigual tamaño y forma, un total de dieciséis que hemos numerado para posteriormente poder ser identificadas en el análisis mediante TC. Previo al montaje de la probeta, la totalidad de las piezas han sido renderizadas, escaneadas y acotadas todas sus medidas en las diferentes vistas de planta, alzado y perfil. A continuación exponemos la relación de piezas de madera seleccionadas (Fig. 21) y una tabla donde se detallan sus características (Tabla 2).



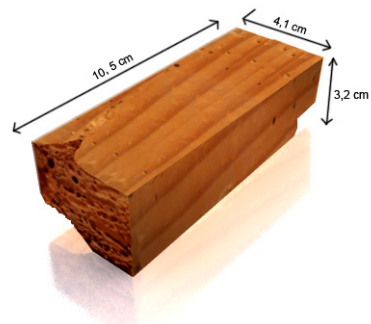
PIEZA nº 1



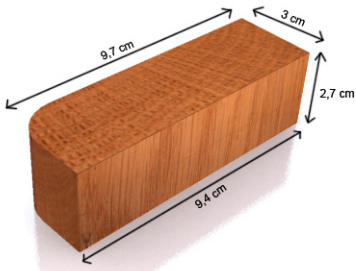
PIEZA nº 2



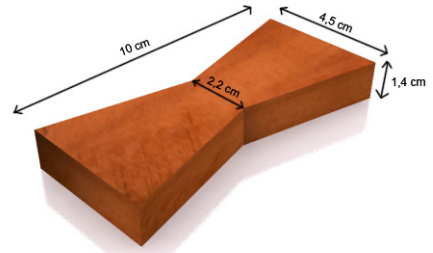
PIEZA nº 3



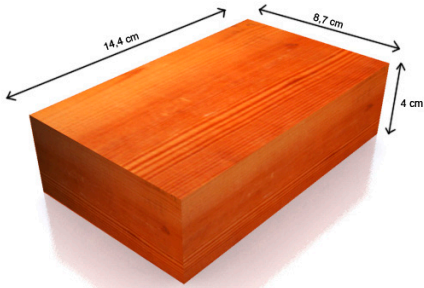
PIEZA nº 4



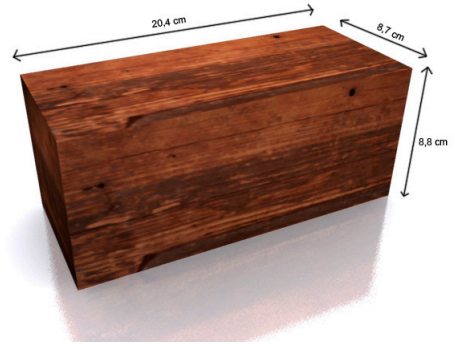
PIEZA n° 5



PIEZA n° 6



PIEZA n° 7



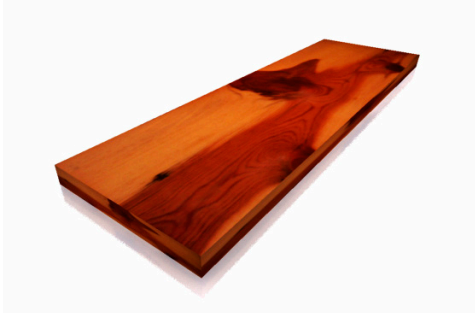
PIEZA n° 8



PIEZA n° 9



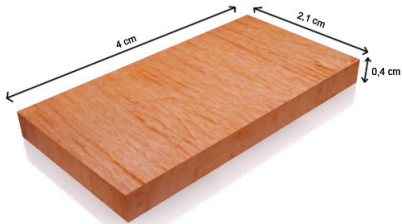
PIEZA n° 10



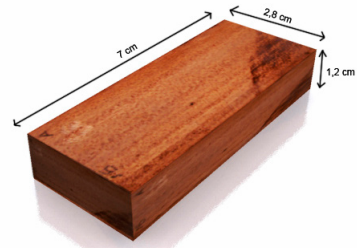
PIEZA nº 11



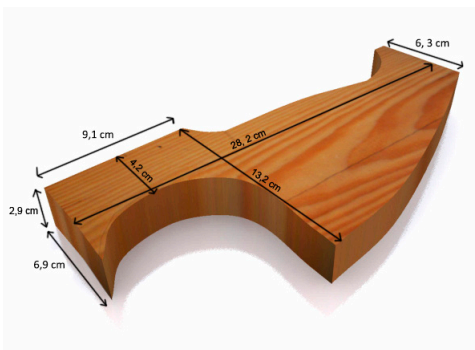
PIEZA nº 12



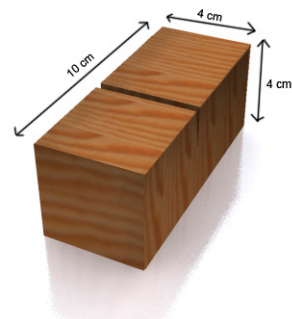
PIEZA nº 13



PIEZA nº 14



PIEZA nº 15



PIEZA nº 16

Figura 21.
Imágenes renderizadas de las diferentes piezas de madera seleccionadas.

Tabla 2.
Características y medidas de las diferentes piezas de madera seleccionadas.

	ESPECIE	MEDIDAS		
		ALTO (cm)	ANCHO (cm)	LARGO (cm)
Pieza nº 1	Pino	1,0	6,9	14,9
Pieza nº 2	Pino	5,8	3,2	9,9
Pieza nº 3	Haya	1,1	7,2	10,0
Pieza nº 4	Pino	3,2	4,1	10,5
Pieza nº 5	Roble	3,0	2,7	9,7
Pieza nº 6	Tilo	1,4	4,5	10,0
Pieza nº 7	Pino	4,0	8,7	14,4
Pieza nº 8	Mobila	8,8	8,7	20,4
Pieza nº 9	Pino	2,1	15,9	52,9
Pieza nº 10	Pino	2,1	16,8	53,0
Pieza nº 11	Pino	2,0	15,9	52,9
Pieza nº 12	Pino	3,0	5,6	20,8
Pieza nº 13	Balsa	0,4	2,1	4,0
Pieza nº 14	Pino	1,2	2,8	7,0
Pieza nº 15	Pino	2,9	13,2	28,2
Pieza nº 16	Pino	4,0	4,0	10,0

Todas las piezas han sido cortadas en forma rectangular a excepción de algunas que presentan diferentes curvas (pieza nº 2, 5 y 15).

Como añadido a las variadas dimensiones y formas que tienen las piezas de madera, la selección de algunas de estas ha estado en función de las distintas alteraciones que presentaban: grietas, nudos, oquedades, ataque de insecto xilófago... En otras, la alteración ha sido realizada intencionadamente; así se han efectuado hendiduras perfectamente definidas (pieza nº 3) y diferentes orificios (pieza nº 12). Para la realización de dichos orificios, hemos utilizado distintos tamaños de brocas con un diámetro y profundidad determinados (Tabla 3). Todos estos orificios han sido acotados en la vista que representa la planta de la pieza (Fig. 22).

Tabla 3.
Medidas orificios pieza n^o 12.

PIEZA 12	Diámetro Ø (cm)	Profundidad (mm)
Línea 1 (2 orificios)	0,25	15
Línea 2 (2 orificios)	0,20	15
Línea 3 (2 orificios)	0,30	10
Línea 4 (2 orificios)	0,25	10
Línea 5 (2 orificios)	0,20	10
Línea 6 (2 orificios)	0,15	10
Línea 7 (2 orificios)	0,11	10
Línea 8 (2 orificios)	0,10	10

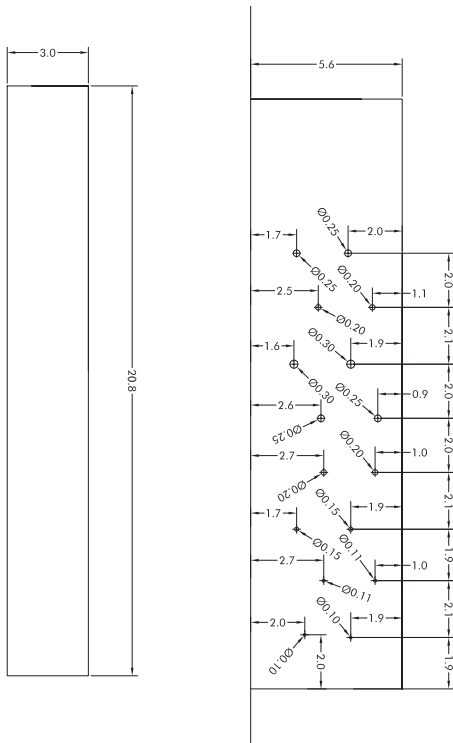


Figura 22.
Vista de alzado y planta de la pieza n^o 12.

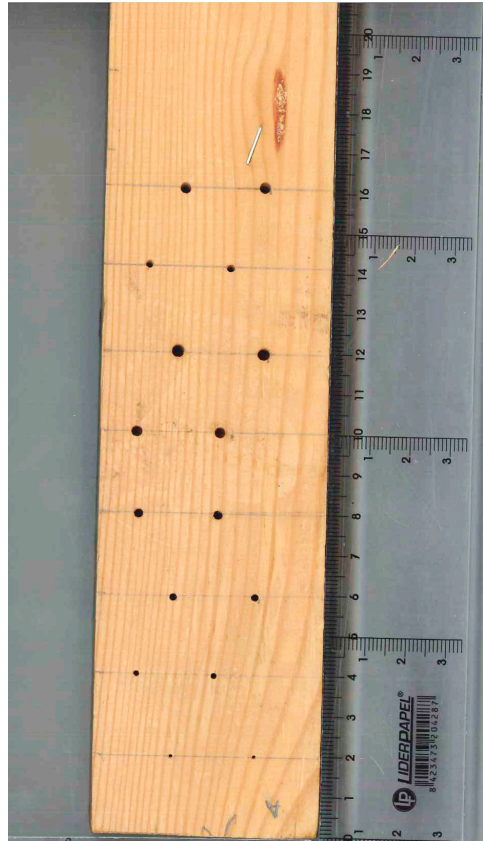


Figura 23.
Imagen visible de la pieza n^o 12.

En la sujeción de las piezas hemos utilizado diferentes elementos, principalmente clavos, tornillos, grapas, pletinas y mechones de madera (Tabla 4). En otras ocasiones, de forma combinada con dichos elementos de sujeción, la adhesión de las piezas se ha realizado mediante un adhesivo natural de cola de pescado.

Tabla 4.
Medidas de los elementos de sujeción.

Elementos de sujeción	Diámetro Ø (mm)	Largo (cm)
Clavos	2	5,2
	2	2,2
Tornillos	3	3,9
	3	1,2
Mechones de madera	6	4,3
	Alto (cm)	Ancho (cm)
Pletinas	1,6	3,7
Grapas	0,7	1,0

También se han aplicado diferentes materiales que encontramos en las intervenciones de restauración que se realizan en escultura de madera. Podemos distinguir, por un lado, entre los rellenos realizados con estuco, en los que hemos empleado dos materiales distintos como son el carbonato cálcico y el yeso, y, por otro, los rellenos realizados con resina epoxídica, en los que hemos utilizado dos de estas resinas comercializadas como Araldit® SV 427 y Balsite®. El último de los materiales seleccionado ha sido tela de lino (4 × 4 cm), también de dos tipos diferentes.

4.6.2. Método

En la construcción de la probeta se ha establecido un orden a la hora de situar las diferentes piezas de madera, los elementos de sujeción y aquellos materiales de restauración que hemos seleccionado previamente.

En primer lugar, una base de madera (pieza nº 10) sobre la que se han ido situando todas las piezas. Estas han sido orientadas de forma diferente y, en los espacios de separación entre unas y otras, se han aplicado los distintos materiales de relleno (estucos de yeso y carbonato cálcico, Araldit SV427® y Balsite®).

Como ya hemos explicado con anterioridad, para la sujeción de las piezas se han utilizado distintos elementos y materiales. En la Tabla 5 hemos querido referenciarlos.

Tabla 5.
Sistema de sujeción entre piezas.

	ELEMENTOS METÁLICOS	MECHONES DE MADERA	ADHESIVO
Pieza nº 1			Cola de pescado
Pieza nº 2			Cola de pescado
Pieza nº 3			Cola de pescado
Pieza nº 4			Cola de pescado
Pieza nº 5	3 grapas	1 mechón de 4,3 cm	
Pieza nº 6	1 clavo de 2,2 cm		
Pieza nº 7		1 mechón de 4,3 cm	Cola de pescado
Pieza nº 8	1 clavo de 2,2 cm		Cola de pescado
Pieza nº 9	2 clavos de 5,2 cm		
Pieza nº 10/ BASE	1 pletina y dos tornillos de 1,2 cm		
Pieza nº 11	2 clavos de 5,2 cm		
Pieza nº 12	2 clavos de 5,2 cm		
Pieza nº 13			Cola de pescado
Pieza nº 14			Cola de pescado
Pieza nº 15	3 clavos de 5,2 cm		
Pieza nº 16	1 tornillo de 4 cm		Cola de pescado

La posición espacial de cada una de las piezas o elementos que se han ido situando en la probeta viene determinada por un punto de medida inicial (punto de origen), que se ubica en una de las esquinas de la base. En la Fig. 24 se ha situado dicho punto de origen y también se han referenciado las coordenadas espaciales X y Z; la Y no se ha podido referenciar en la imagen pero se proyecta en sentido perpendicular a la base. Las coordenadas de la probeta se orientan de esta manera para que coincidan con las de la TC. El sistema de ejes cartesianos en TC se proyecta de diferente manera. En este caso, Z coincidiría con el eje vertical, Y con el perpendicular y X con el horizontal.



Figura 24.
Punto de origen.

En la siguiente secuencia de imágenes se visualizan las diferentes fases de construcción de la probeta:



Figura 25.
Primera secuencia fase de construcción de la probeta.



Figura 26.
Segunda secuencia fase de construcción de la probeta.



Figura 27.
Tercera secuencia fase de construcción de la probeta.

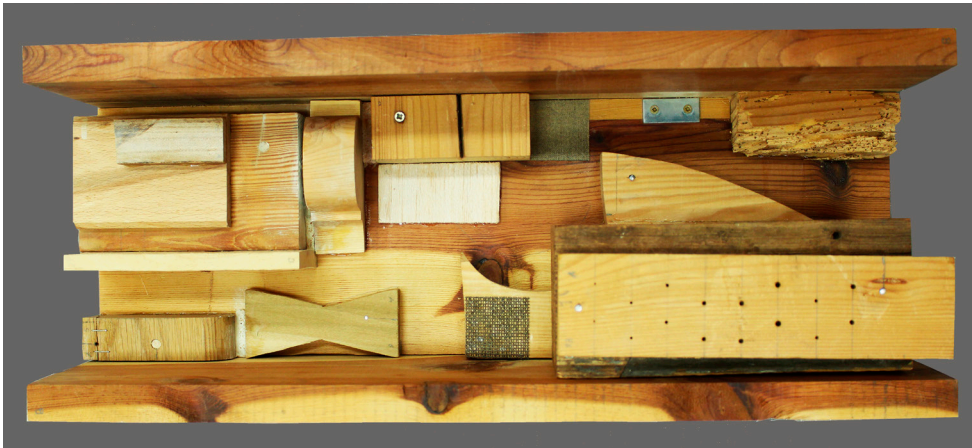


Figura 28.
Fase final de la construcción de la probeta.

4.6.3. Resultados

La probeta patrón ha sido analizada con los dos tomógrafos de los que dispone el Consorcio Hospitalario Provincial de Castellón, Siemens Somatom Definition Flash[®] y Siemens Somatom Sensation 16[®], a los que anteriormente hemos hecho referencia.

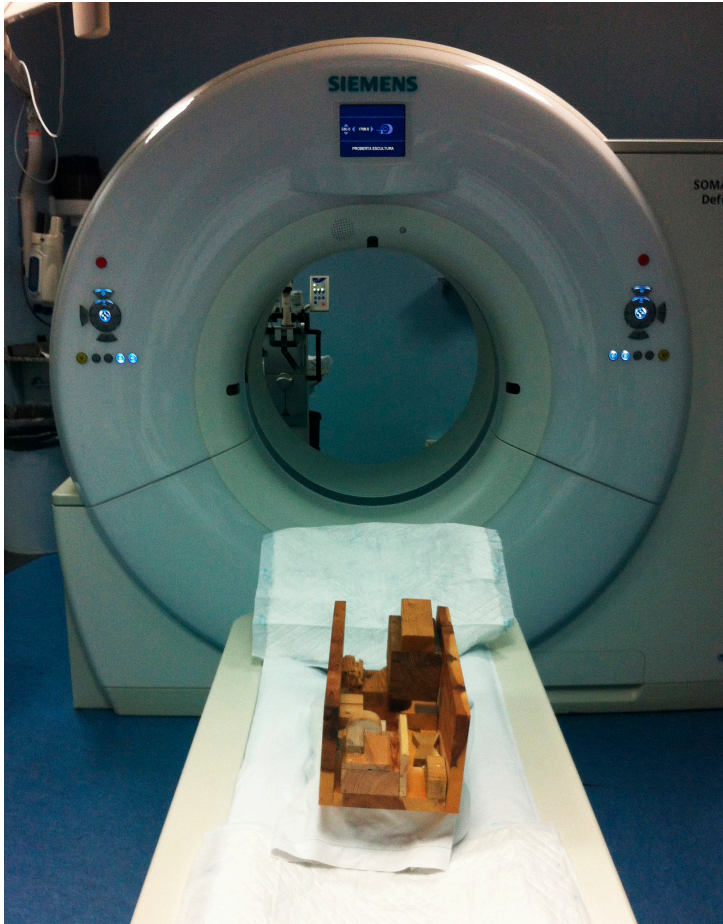


Figura 29.
Fase previa a la introducción de la probeta patrón en el
equipo Siemens Somatom Definition Flash®.

Previo al análisis en cada uno de los equipos, la probeta se posicionó sobre la camilla en el interior del *gantry* de tal manera que la totalidad de esta se encontrara dentro del campo de visión (FOV). Para ello se tomaron como referencia los distintos puntos de laser que proyecta el *gantry* sobre el objeto a analizar.

A continuación se realizó el topograma (radiografía de planificación) en proyección frontal y lateral (Fig. 30-31). Dicho topograma sirvió para planificar la posición de inicio y finalización de la adquisición de TC, así como la regulación de la potencia. Como protocolo de estudio médico se ha utilizado el de Abdomen–pelvis y se han aplicado varios grosores de corte.

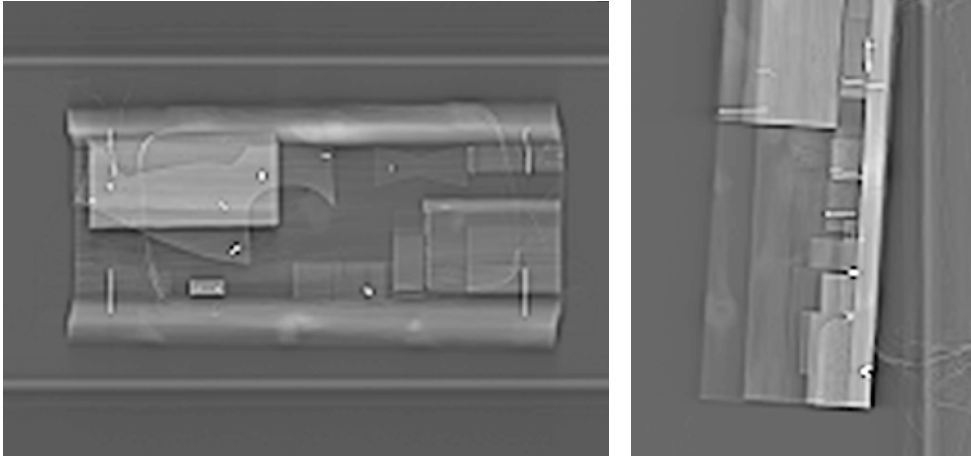


Figura 30-31.
Topograma frontal y lateral de la probeta.

El valor del grosor de corte está directamente relacionado con la definición de la imagen. La elección entre cortes más finos o más gruesos está determinada por querer obtener mayor o menor resolución espacial o una mayor resolución de contraste⁴⁹. En el caso de estudio de nuestra probeta patrón se han realizado cortes de 2 y 5 mm. Se ha considerado que los de 1 mm generan demasiada información cuyo manejo es complicado y requiere de potentes equipos informáticos, no resultando esta necesaria para el análisis de una pieza escultórica. Los cortes realizados con un grosor de 5 mm hacen que se pierda bastante resolución e información, sobre todo a la hora de realizar reconstrucciones 3D, quedando la imagen prácticamente distorsionada. Es por lo que se ha concluido que el mejor análisis de la probeta es el realizado con cortes de 2 mm.

La primera de las cuestiones a determinar en el estudio de la probeta era apreciar si existe diferencia en las imágenes que se generan en los diferentes tomógrafos. Así, se ha visualizado, en los cortes axiales y la reconstrucción 3D, que existe una mejor resolución espacial en los estudios realizados con el equipo Siemens Somatom Definition Flash® (Fig. 32-33).

⁴⁹ García, P. *Principios técnicos de la tomografía axial computarizada*, p. 60.

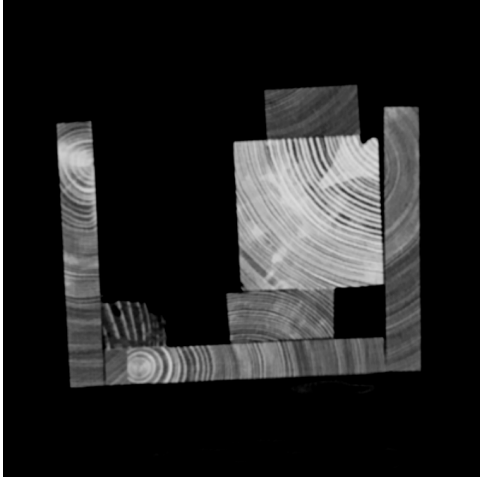


Figura 32.
A 155/ 563. Corte axial realizado con equipo
Siemens Somatom Definition Flash®.

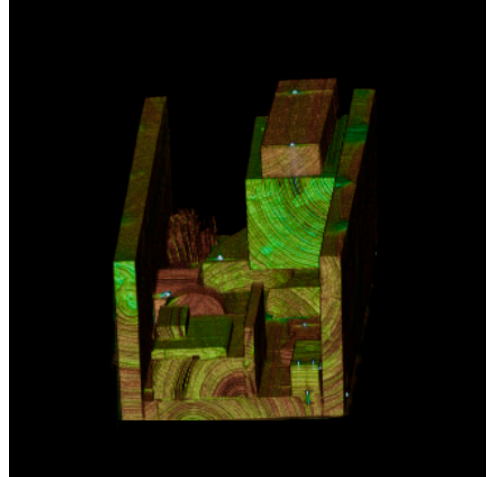


Figura 33.
3D *clut-french* . Reconstrucción
volumétrica (3D) con equipo Siemens
Somatom Definition Flash®.

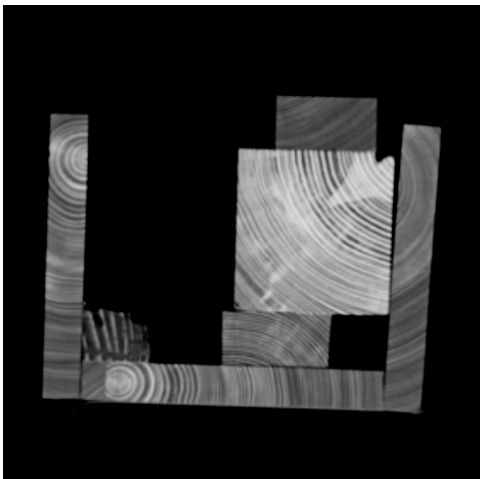


Figura 34.
A 59/ 305. Corte axial realizado con equipo
Siemens Somatom Sensation 16®.

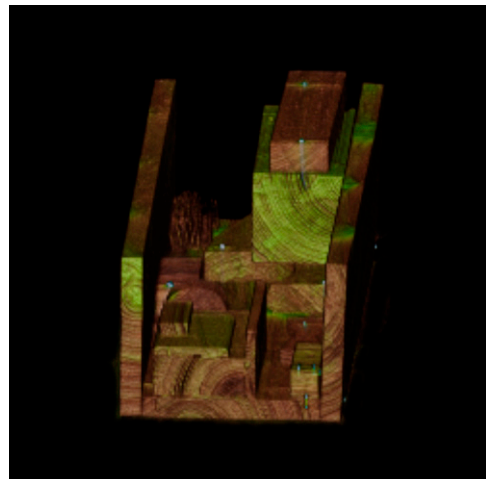


Figura 35.
3D *clut-french* . Reconstrucción
volumétrica (3D) con equipo Siemens
Somatom Sensation 16®.

Otra de las cuestiones que se han estudiado ha sido el resultado que determinan los diferentes filtros o algoritmos de reconstrucción.

En el análisis de la probeta patrón se han aplicado tres tipos diferentes de filtros: dos filtros *Shepp-logan* o estándar (30f- 50f) y un filtro *Sharp* o de hueso (70f).

En las imágenes TC con corte axial se observa que, con el filtro 30, existe una importante pérdida de resolución espacial pero el nivel de ruido se reduce logrando una reconstrucción 3D óptima (Fig. 36). Así queda también evidenciado en la reconstrucción 3D (Fig. 39).

En el análisis con filtro 50 se observa que ha mejorado en cierta medida la resolución espacial, pero aumenta el nivel de ruido (Fig. 37). La reconstrucción 3D en este caso presenta ciertos niveles de ruido, pero nos aporta una resolución espacial menos óptima que con el filtro 30 (Fig. 40).

Sin embargo, con el filtro 70 se observa una muy buena resolución espacial, que se puede apreciar en la definición de los anillos de la madera comparada con el filtro 30, pero los niveles de ruido en este caso son muy altos (Fig. 38). Al realizar la reconstrucción 3D, se observa que esta queda muy artefactada, sin apenas definición (Fig. 41).

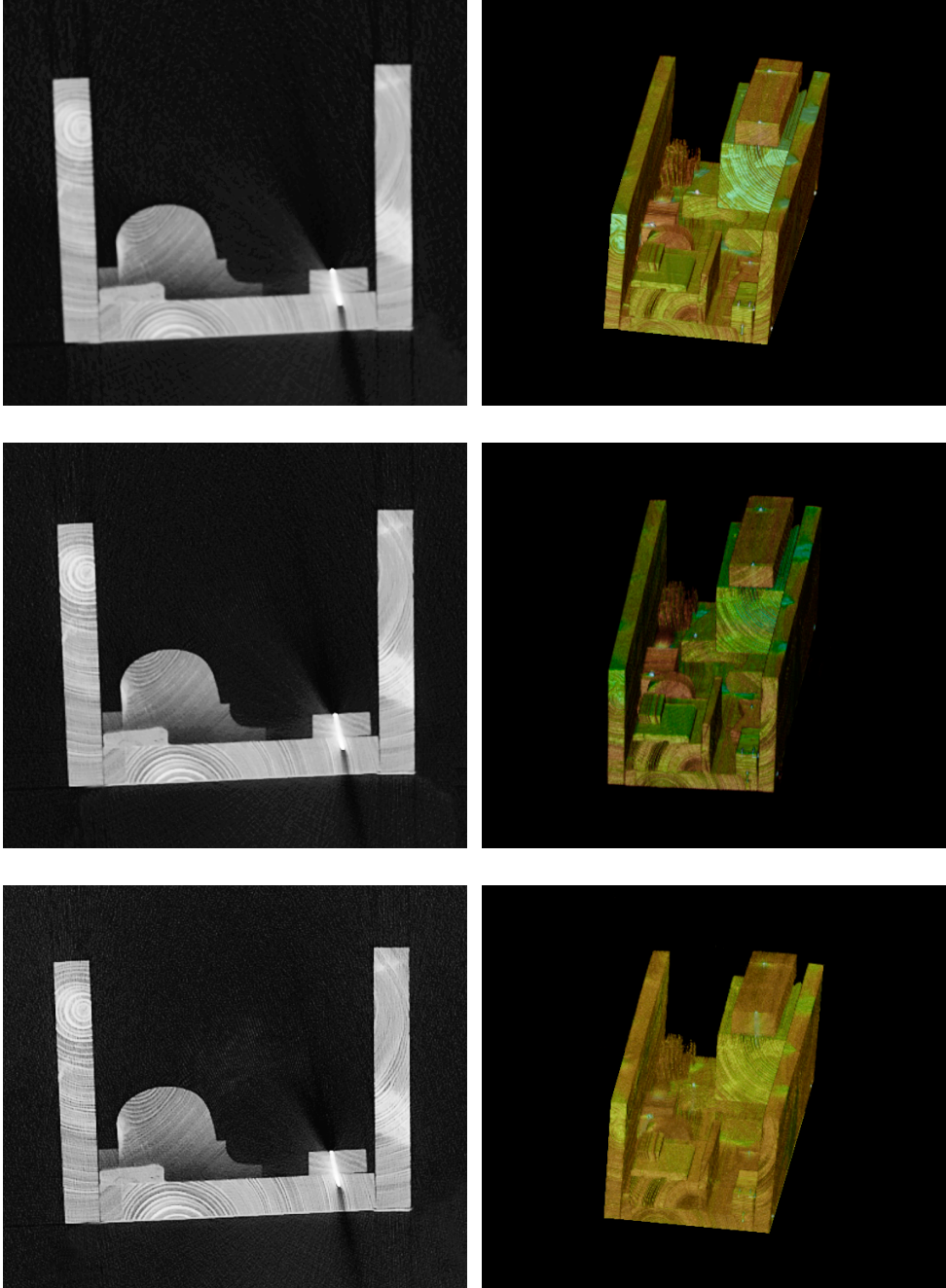


Figura 36-37-38.
A 367/563. Cortes axiales con
filtro *Shepp-logan* o estándar 30f,
50f y *Sharp* o de hueso 70f.

Figura 39-40-41.
3D *clut-french*. Reconstrucción volumétrica
3D con filtro *Shepp-logan* o estándar
30f, 50f y *Sharp* o de hueso 70f.

Es por ello, por lo que hemos podido establecer que el filtro más adecuado para su utilización es el 50, ya que aporta una adecuada resolución espacial y de contraste, con niveles de ruido aceptables, tanto en las imágenes TC en sus diferentes cortes como en la reconstrucción 3D.

La siguiente cuestión que se pretende ratificar mediante la probeta patrón es aquella que hace de esta técnica una importante herramienta de análisis, que no es otra que la precisión con la que podemos trabajar a la hora de localizar y medir cualquier irregularidad o elemento en el interior de un objeto.

Para corroborar dicha precisión de la técnica, hemos elegido tres de las piezas de madera. Y va a ser a través de estas como analizaremos dicha precisión. Para tener un abanico diferente de irregularidades y formas, se han seleccionada las piezas nº 12, 15 y 16.

En lo que respecta a la pieza nº 12, se han hecho coincidir las medidas reales que se habían fijado de la misma con las medidas que ha determinado la TC, observándose que ambas coinciden, así queda reflejado en la Fig. 42-43. En la reproducción de estas medidas a través de la TC, en el peor de los casos se observa una pequeña desviación de ± 1 mm. Dicha mínima desviación no resulta una cuestión relevante en el análisis de un elemento interno, ya que la importancia viene determinada por la medida real en su conjunto (Tabla 6).

En esta pieza se observa que las tres últimas líneas de orificios con un diámetro de 1 mm no han podido ser medidas debido a la escasa resolución espacial de la imagen TC. En este caso, sería muy difícil asegurar que los puntos oscuros inferiores corresponden a agujeros sin un conocimiento previo.

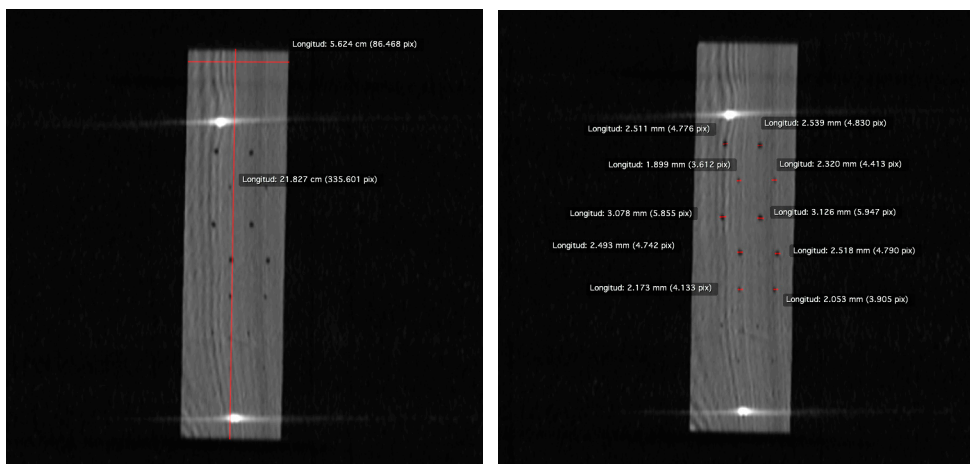


Figura 42-43.

C 108/512. Corte coronal en el que se sitúan las diferentes medidas de la pieza nº 12.

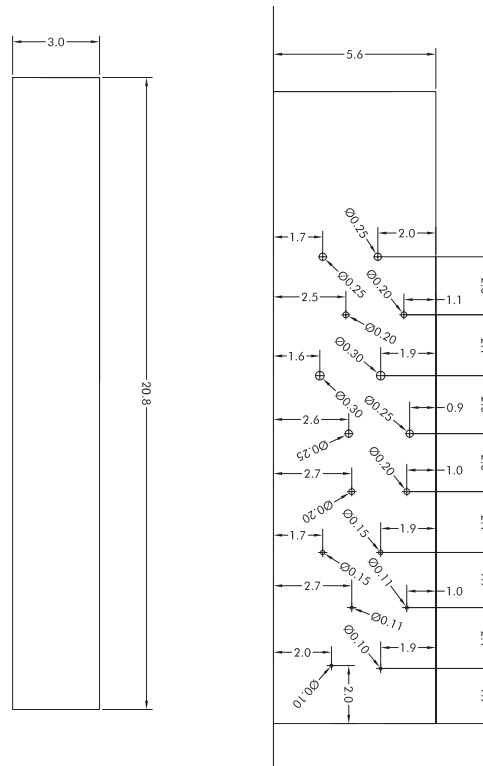


Figura 44.

Vistas (alzado y planta) de la pieza nº 12 en la que han sido acotadas sus medidas.

Tabla 6.

Orificios de la pieza nº 12 medidos en la probeta y en la TC.

ORIFICIOS	DIÁMETRO DE MEDIDAS EN LA PROBETA (cm)		DIÁMETRO DE MEDIDAS EN LA TC (mm)	
Línea 1	0,25	0,25	2,511	2,539
Línea 2	0,20	0,20	1,899	2,020
Línea 3	0,30	0,30	3,078	3,126
Línea 4	0,25	0,25	2,493	2,518
Línea 5	0,20	0,20	2,173	2,053
Línea 6	0,15	0,15		
Línea 7	0,11	0,11		
Línea 8	0,10	0,10		

Al igual que en la anterior, en esta pieza n^o 15 también se han hecho coincidir las medidas reales (Fig. 46) con las medidas TC (Fig. 45), volviéndose a confirmar que ambas medidas coinciden (Tabla 7). En la reproducción de estas medidas a través de la TC, en el peor de los casos se observa una pequeña desviación de ± 1 mm.

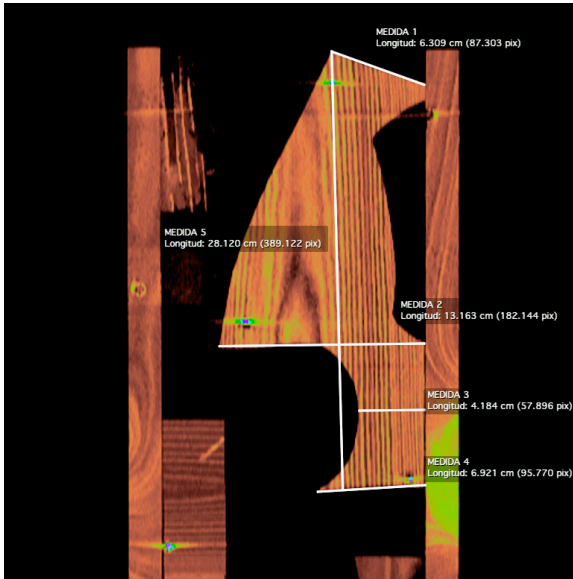


Figura 45.
C 283/512. Corte coronal en el que se han situado las diferentes medidas de la pieza n^o 15.

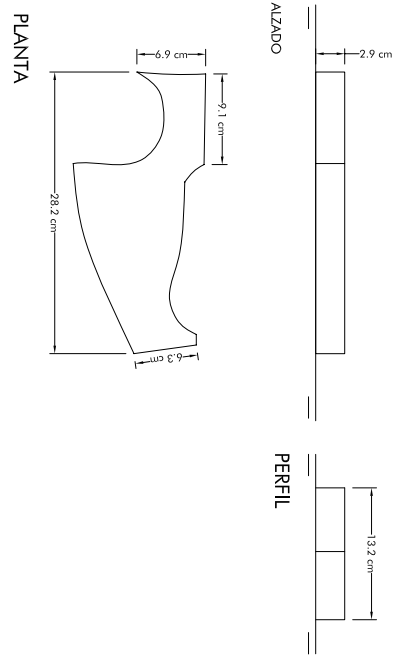


Figura 46.
Vistas (planta, alzado y perfil) de la pieza n^o 15 en la que se han acotado sus medidas.

Tabla 7.
Pieza n^o 15 medidas en la probeta y en la TC.

PIEZA N ^o 15	MEDIDAS EN LA PROBETA (cm)	MEDIDAS EN LA TC (cm)
MEDIDA 1	6,3	6,309
MEDIDA 2	13,2	13,163
MEDIDA 3	4,2	4,184
MEDIDA 4	6,9	6,921
MEDIDA 5	28,2	28,120

Por último analizamos la pieza nº 16, en la que de nuevo vuelven a coincidir las medidas (Fig. 47-48-49). En este caso la pieza presenta una grieta que la recorre transversalmente y longitudinalmente con una profundidad de 1,8 cm. Se ha determinado el punto de inicio y el final de dicha grieta localizados en la Fig. 50 para confirmar la profundidad de esta y su dirección. Dichas medidas quedan reflejadas en la Tabla 8.

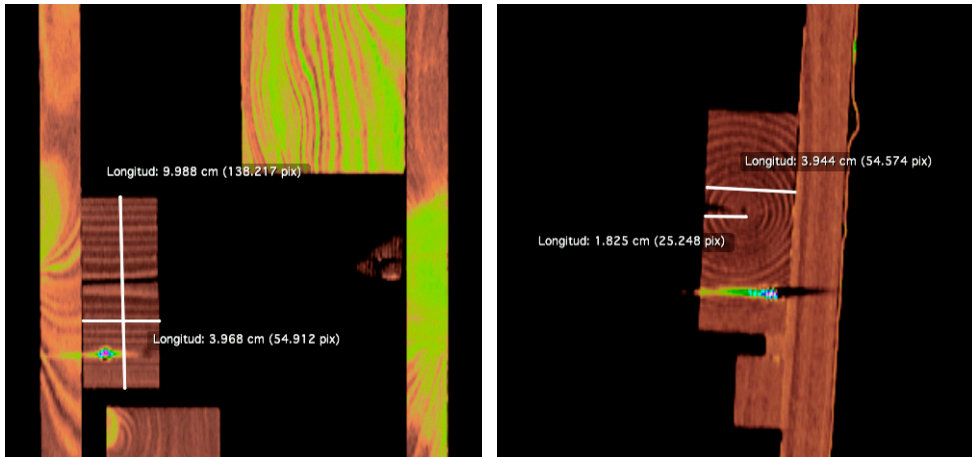


Figura 47-48.

C 247/512- S 145/512. Corte coronal y sagital en los que se han situado las diferentes medidas de la pieza nº 16.

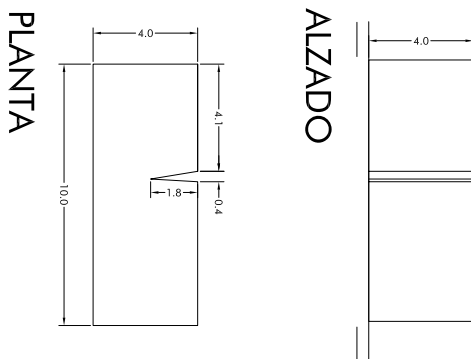


Figura 49.

Vistas (planta y alzado) de la pieza nº 16 en la que se han acotado sus medidas.

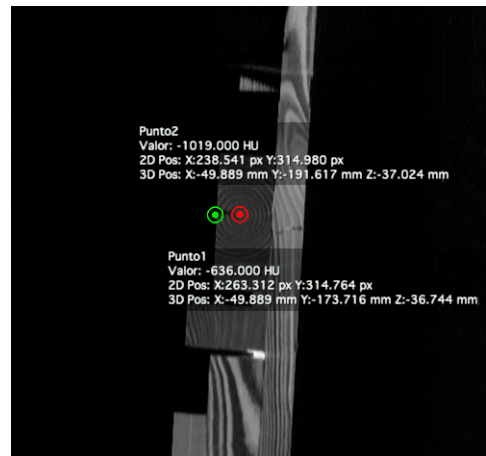


Figura 50.

S 145/512. Corte sagital en el que se han situado los puntos de inicio y final de la grieta de la pieza nº 16.

Tabla 8.
Coordenadas espaciales y esféricas de la grieta localizada en la pieza n° 16.

	COORDENADAS ESPACIALES INICIO (mm)	COORDENADAS ESPACIALES FINAL (mm)	LONGITUD (mm)	ANGULO θ	ANGULO φ
Grieta Pieza n° 16	X: -49,889	X: -49,889	18,59	90,86°	254,39°
	Y: -191,617	Y: -173,716			
	Z: -37,024	Z: -36,744			

Después del análisis de las tres piezas, volvemos a corroborar que la TC es una técnica de diagnosis que trabaja con una total precisión a la hora de determinar medidas de diferentes elementos o irregularidades del objeto.

La localización exacta de aquellos elementos que se puedan encontrar en el interior de la estructura de un objeto resulta de suma importancia, sobre todo a la hora de analizar una pieza escultórica para su posterior restauración. Esta cuestión era uno de los objetivos principales que se nos planteó a la hora de realizar la probeta.

En este caso se hizo coincidir el punto de origen que determinamos a la hora de construir y posicionar todas las piezas y elementos en la probeta (Fig. 24) con el punto de origen que se ha fijado en la TC. Este se ha situado en la imagen C 276/512 (Fig. 51).

A partir de dicho punto, se han ido situando las diferentes coordenadas espaciales de cada una de las piezas para de esta manera ver si coinciden las medidas de la probeta con las que nos define la TC. Nuevamente queda evidenciado que coinciden las posiciones reales en la probeta con las de la TC (Fig. 52-53). Estas quedan clarificadas en la Tabla 9. De nuevo se confirma la exactitud y precisión en la localización de un elemento determinado por el análisis mediante TC.

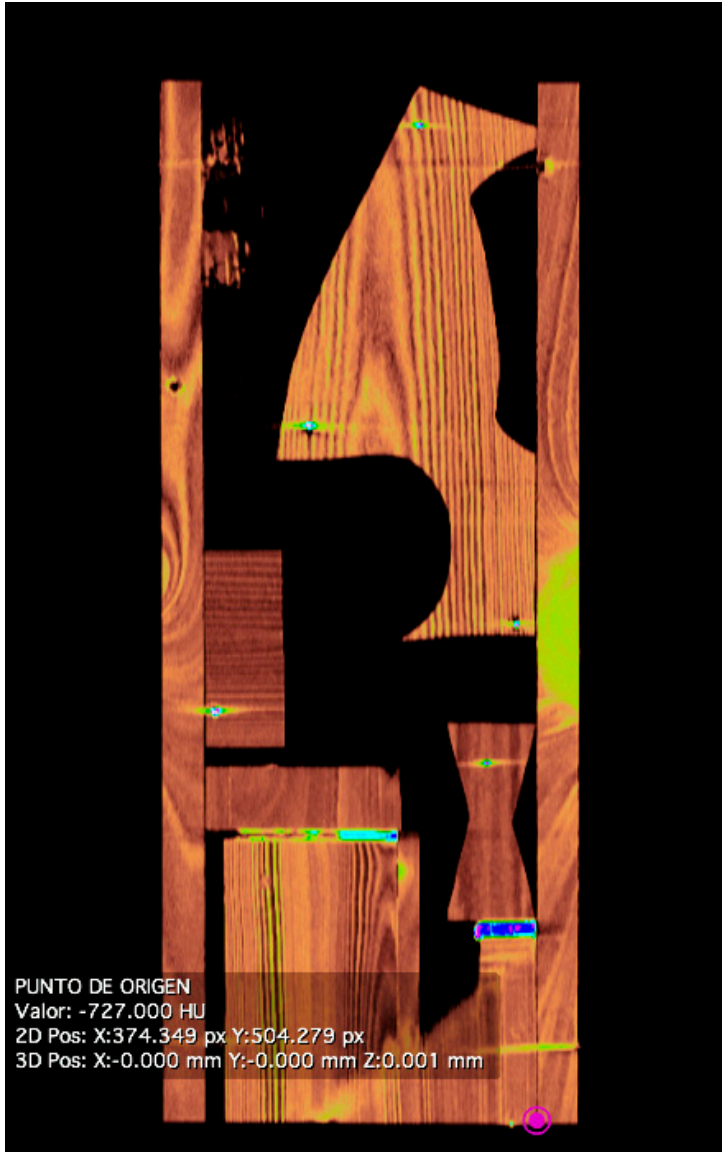


Figura 51.
C 276/512. Corte coronal en el que se sitúa el punto de origen.

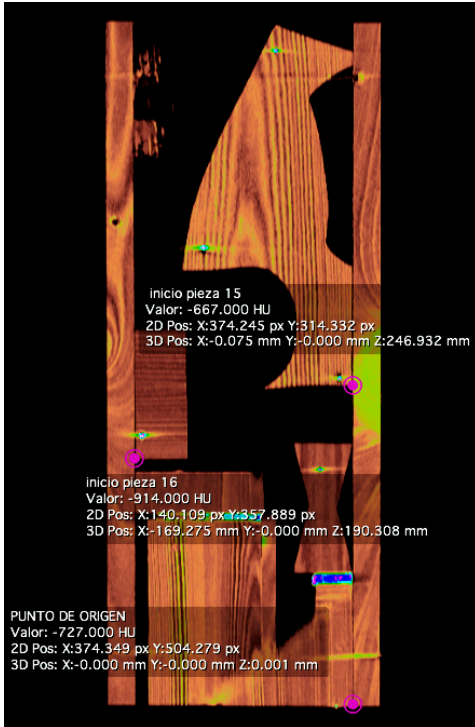


Figura 52.
C 276/512. Coordenadas espaciales de la pieza nº 15 y 16.

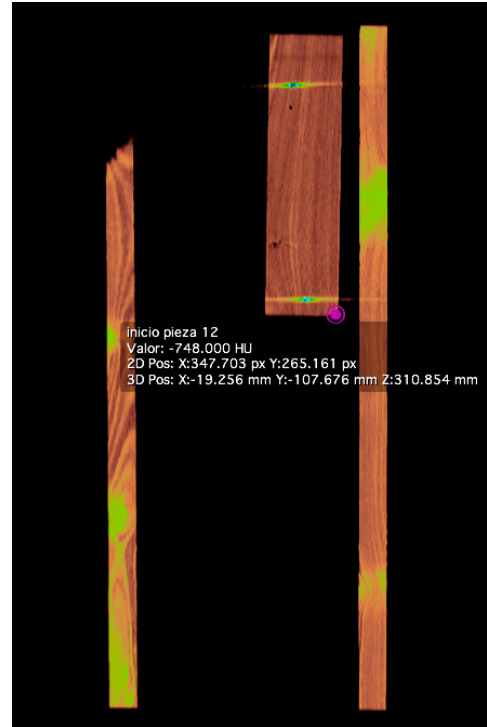


Figura 53.
C 127/512. Coordenadas espaciales de la pieza nº 12.

Tabla 9.
Posición de las diferentes piezas en la probeta y en la TC a través de sus coordenadas espaciales.

	POSICIÓN EN LA PROBETA (cm)	POSICIÓN EN LA TC (mm)
PIEZA nº 12	X: 1,92	X: -19,256
	Y: 10,7	Y: -107,676
	Z: 31	Z: 310,854
PIEZA nº 15	X: 0	X: -0,075
	Y: 0	Y: -0,000
	Z: 24,6	Z: 246,932
PIEZA nº 16	X: 16,9	X: -169,275
	Y: 0	Y: -0,000
	Z: 19	Z: 190,308

La probeta ha resultado útil, no solo para determinar las medidas y localización de las diferentes piezas que se han situado dentro de ella, sino también para posicionar un elemento metálico en el interior de una de estas piezas (pieza nº 16) y poder establecer la dirección espacial con la que lo hemos introducido.

Hemos determinado la posición espacial de dicho tornillo, que se sitúa en la Fig. 55, con unas coordenadas espaciales (-154,545 mm, -25,293 mm, 209,420 mm). Desde dicha posición se ha determinado el punto final del tornillo, obteniéndose de esta manera, a través de sus coordenadas espaciales, su longitud y sus ángulos de inclinación (Tabla 10). Nuevamente vuelven a coincidir la medida real del tornillo (3,9 cm) con la que determina la TC.

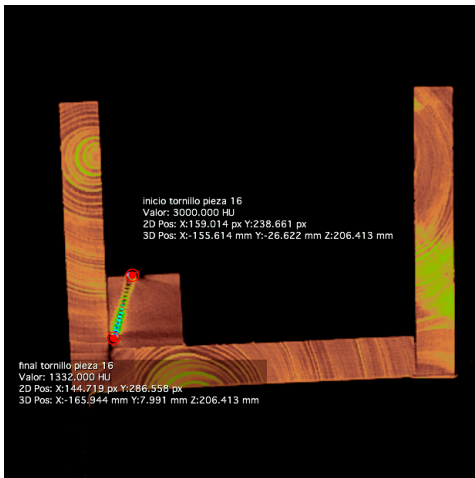


Figura 54.
A 347/563. Coordenadas espaciales del punto de inicio y final del tornillo situado en la pieza nº 16.

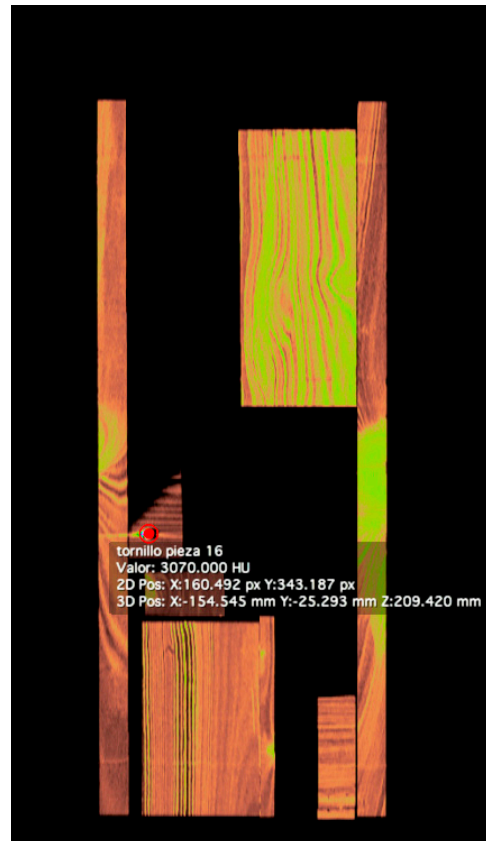


Figura 55.
C 127/512. Coordenadas espaciales del tornillo situado en la pieza nº 16.

Tabla 10.
Coordenadas espaciales y esféricas del tornillo situado en la pieza n° 16.

	COORDENADAS ESPACIALES INICIO (mm)	COORDENADAS ESPACIALES FINAL (mm)	LONGITUD (mm)	ANGULO θ	ANGULO φ
Tornillo	X: -155,614	X: -165,944	39,01	90	104,24°
	Y: -26,622	Y: 7,991			
	Z: 206,413	Z: 206,413			

Otra de las cuestiones que se pretendía analizar con la probeta son los materiales que podemos encontrar en una escultura, ya sean de su propia estructura original o aquellos que se han utilizado en las intervenciones de restauración.

En el caso de las resinas epoxídicas, hemos podido observar que, con los mismos valores de *windowing*, existe una diferencia de tonalidad entre dos resinas de las mismas características. Así, se aprecia para el Araldit® SV 427 una tonalidad más clara (Fig. 56) que para la de Balsite® (Fig. 57).

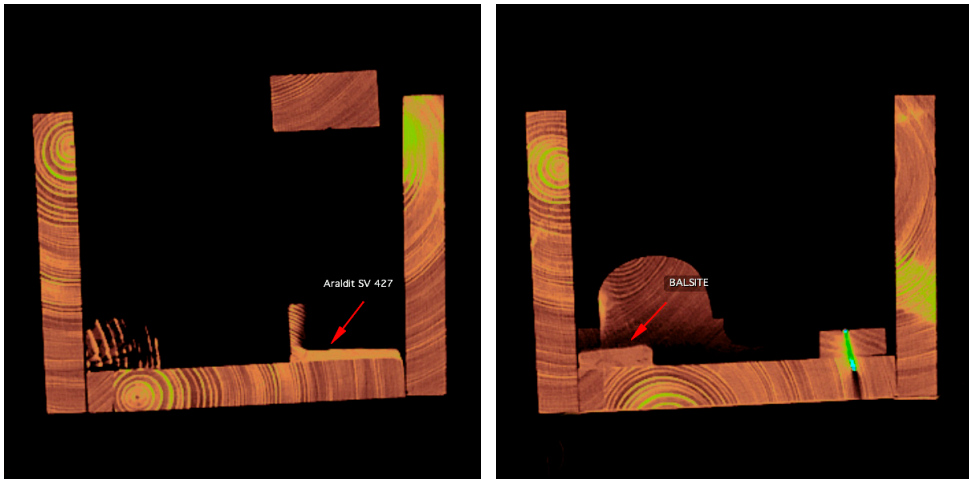


Figura 56-57.
A 102/563- A 366/563. Cortes axiales en los que se observa el relleno realizado con Araldit® SV 427 y con Balsite®.

En el tema de los rellenos de estuco, se aplicaron en la probeta dos estucos con diferente carga, carbonato cálcico y yeso. El análisis mediante TC ha detectado diferencia de densidad entre uno y otro. Tal y como se observa en la Fig. 58-59,

con los mismos valores de *windowing*, existe una diferencia de densidad entre el estuco realizado con carbonato cálcico y el de yeso.

Con esto, podemos concluir que la TC establece diferencias entre rellenos efectuados con resina epoxídica y también entre los estucos realizados con cargas diferentes.

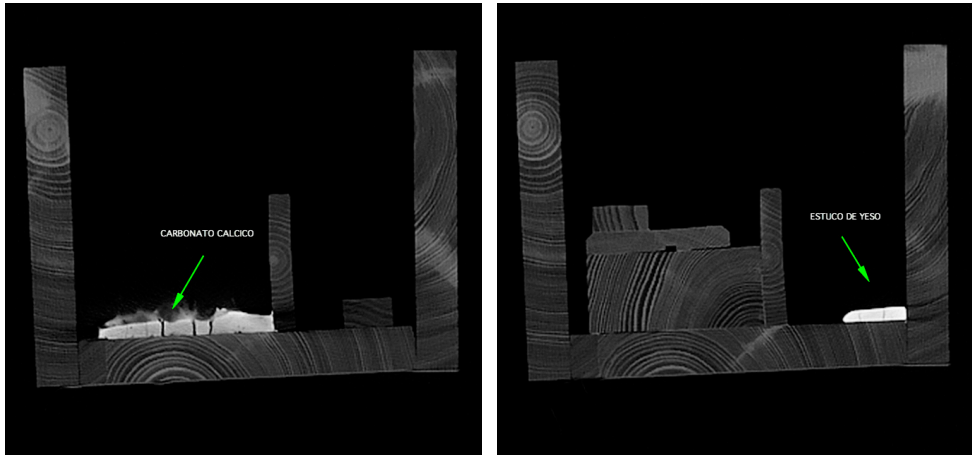


Figura 58-59.

A 393/563- A 432/563. Cortes axiales en los que se observa el relleno realizado con carbonato cálcico y con yeso.

La razón de introducir diferentes especies de madera en la probeta está determinada por la infinidad de casos de esculturas en las que nos encontramos con distintos tipos de maderas, ya sea por la diversidad de las empleadas a la hora de realizar el tallado original, o porque las mismas han sido utilizadas en posteriores intervenciones de restauración.

Se pretende establecer si con este análisis se detecta diferencia entre distintas especies de madera, es decir, si la TC permite definir características principales que nos determinen que se trata de una especie concreta.

Se ha podido constatar en las imágenes comparativas entre distintas especies de madera que sí aparecen diferencias en los anillos de crecimiento, pero la definición de estos no es lo suficientemente aclaratoria como para identificar la especie.

Así, en la Fig. 60 se visualizan anillos de crecimiento diferentes en la madera de pino y en la de tilo. Igualmente, en la Fig. 61 se observaban diferencias entre la madera de pino, roble y haya.

Es por esto que podemos concluir que, en el caso de distintas especies de madera, la TC sí que determina que existe una diferencia entre ellas. En cuanto a las características identificativas de un tipo de especie de madera, estas podrían ser determinadas mediante un estudio más profundo en el que se establezcan patrones de especies, realizando un análisis mediante comparativa. Esta es una nueva línea de investigación que queda abierta para futuros desarrollos.

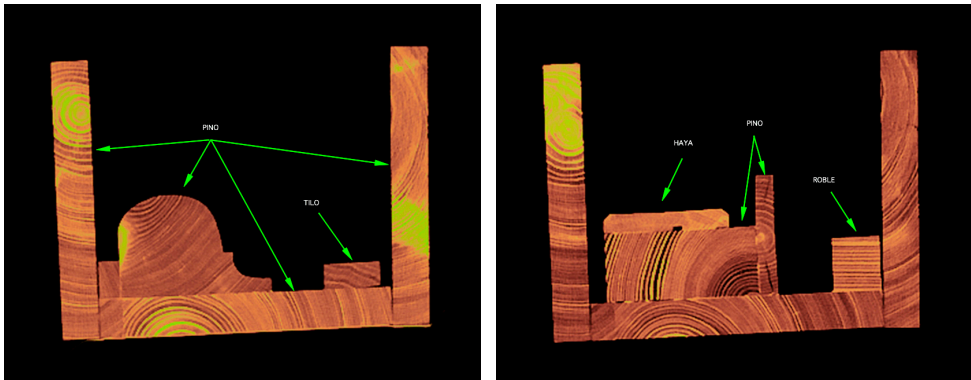


Figura 60-61.

A 371/563- A 490/563. Cortes axiales en los que se observa la diferencia entre los anillos de crecimiento de las distintas especies de madera.

Se ha realizado una comparativa entre la imagen TC de la pieza nº 11 (Fig. 62) y la imagen visible de dicha pieza (Fig. 63) en las que se ha podido corroborar que existe una falta de definición de la imagen TC con respecto a la visible. Se localizan los nudos y se visualiza la veta de la madera, pero la resolución de ambos resulta escasa.

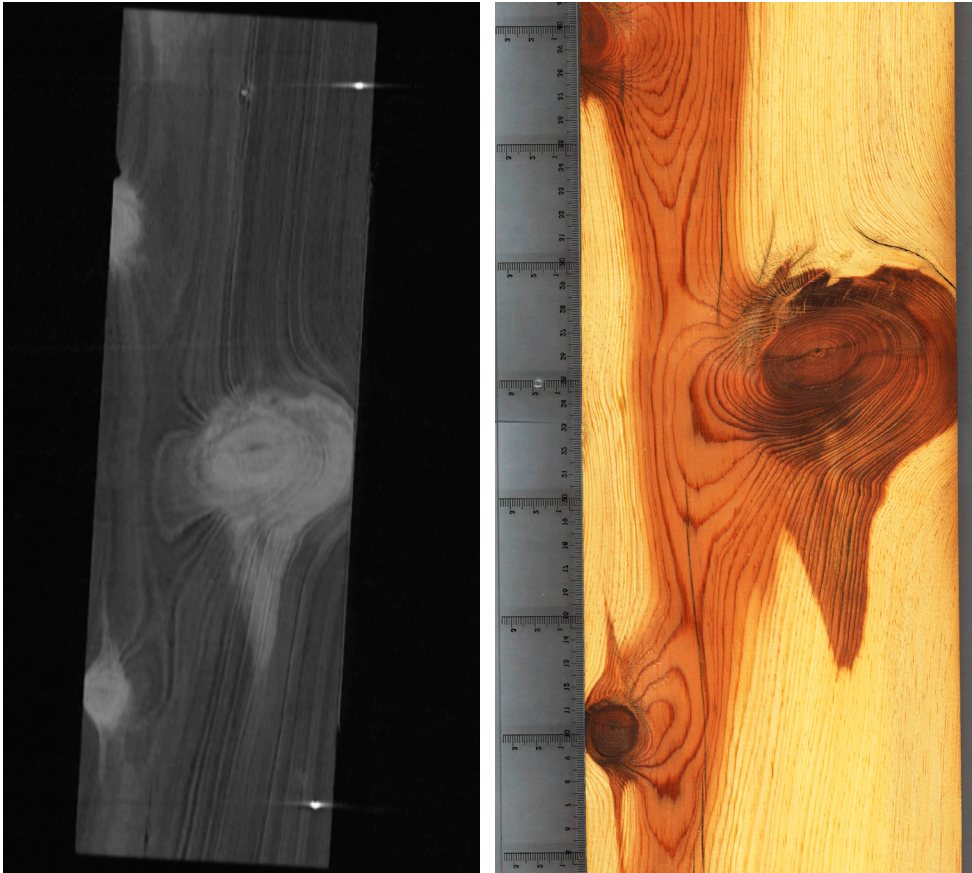


Figura 62-63.

S 401/512 e imagen visible. Comparativa de la imagen TC con la visible de la pieza nº 11.

Como ya hemos descrito con anterioridad, el equipo Siemens Somatom Definition Flash® trabaja con la técnica de doble energía. Es por ello por lo que la probeta patrón ha sido analizada con esta técnica.

A través de las imágenes tomográficas de corte axial realizadas con y sin técnica de doble energía hemos podido observar, a través de su comparativa, que sí disminuye el artefacto provocado por el metal del clavo (Fig. 64-65). En la Fig. 65 se observa que el artefacto provocado por el metal se reduce en cierta medida, incluso apreciamos una mejor definición de dicho elemento en las dos imágenes con los mismos valores de *windowing*.

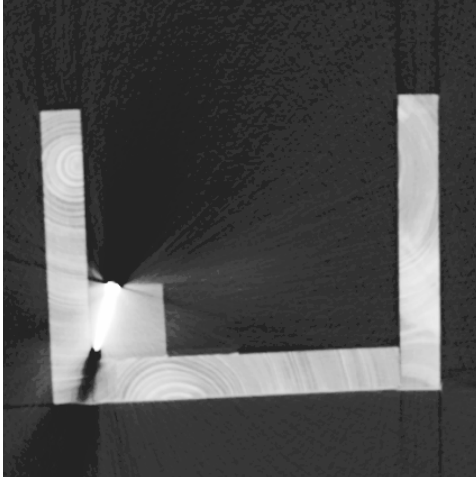


Figura 64.
A 283/563 . Corte axial realizado
sin la técnica de energía dual.

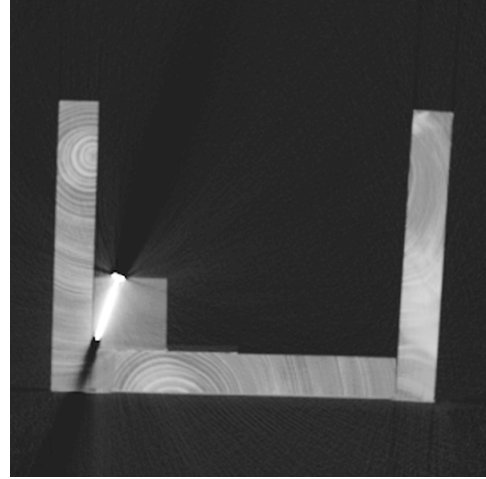


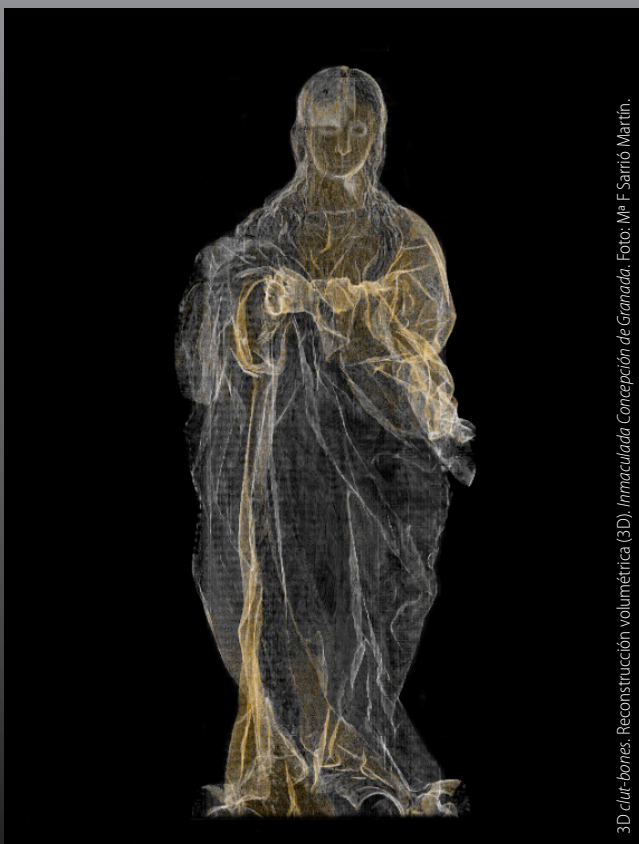
Figura 65.
A 283/563. Corte axial realizado
con TC de energía dual (DECT).

Esta técnica de doble energía está empezando a ser estudiada para posteriormente poder ser aplicada en futuros análisis de escultura. Se trata de una nueva línea de investigación que estamos poniendo en marcha y de la que aún queda mucho desarrollo por delante. Esta nueva línea de investigación abrirá, sin lugar a dudas, nuevas posibilidades al estudio mediante TC de las estructuras internas de una escultura en madera que se encuentren muy afectadas por la presencia de elementos metálicos.

La construcción y análisis de esta probeta patrón ha resultado fundamental en esta investigación. A través de este estudio se han corroborado múltiples cuestiones que quedaban sin resolver y que ahora hemos podido definir, las cuales resultan imprescindibles como herramienta de trabajo en el campo de la conservación y restauración de Bienes Culturales.

4. CUERPO DEL TRABAJO

3^a PARTE: FASE PRÁCTICA



3D elut-bones. Reconstrucción volumétrica (3D). *Inmaculada Concepción de Granada*. Foto: M^a F. Sarrío Martín.

■ 4.7. INTRODUCCIÓN: FASE PRÁCTICA

En la fase teórica hemos conocido los principios fundamentales en los que se basa la tomografía computarizada médica, además de sus partes más significativas y características. Y es en esta nueva fase de trabajo donde vamos a llevar a cabo la puesta en práctica de esta técnica de análisis no invasiva, siempre desde el enfoque de la conservación y la restauración, en el estudio de la escultura policromada en madera, buscando siempre el ajuste y mejor funcionamiento, dentro de las limitaciones a las que estamos sometidos por ser una práctica de uso médico.

Como ya manifestamos con anterioridad, la colaboración ente el IVC+R y el SCRC en el estudio de escultura policromada en madera mediante la TC se inició en el año 2006, lo que nos ha permitido el análisis de un número significativo de piezas escultóricas.

En la mayoría de los casos estudiados, se trata de esculturas policromadas realizadas en madera y, tan solo en casos puntuales, el soporte principal es de otro material como el textil o el cartón, aunque en su estructura constructiva también se haya utilizado la madera. Por todo ello, estos casos concretos de esculturas, dieciséis en total, van a ser los que den soporte a esta investigación.

Todas ellas son imágenes religiosas, la mayoría dedicadas al culto, realizadas en distintos periodos históricos y con un estado de conservación diferente en función de su antigüedad, los materiales con los que fueron construidas y las vicisitudes a las que hayan estado sometidas a lo largo de su historia.

Estos estudios se han enfocado desde el análisis de la técnica de ejecución y el estado de conservación de la obra. Pero nuestro objetivo no es solo determinar estas cuestiones, sino que nos sirvan como base de apoyo en los procesos de restauración. Por ello, la visualización y el procesado de las imágenes tomográficas resulta esencial para el estudio y análisis de dichas obras.

Los primeros estudios realizados de estas esculturas no fueron exhaustivos y no se obtuvo toda la información potencial que se puede extraer a día de hoy con

los nuevos programas de visualización y procesado de imágenes tomográficas, los cuales nos han permitido desarrollar una nueva metodología de trabajo, junto con unos protocolos de estudio definidos que nos han ayudado a obtener más información de los diferentes casos ya estudiados.

Una vez determinada esta metodología y establecidos los protocolos de estudio para el análisis de cualquier escultura policromada en madera mediante TC, hemos seleccionado cuatro casos representativos del total, de los que realizaremos un exhaustivo análisis aplicando la nueva metodología y los diferentes protocolos establecidos en esta investigación.

Para dar un enfoque distinto a la misma y no caer en una mera recopilación de diferentes estudios de esculturas policromadas en madera analizadas mediante TC médica, llevaremos a cabo un análisis del resto de casos teniendo, principalmente, en cuenta la técnica de ejecución y el estado de conservación de las distintas esculturas.

En cada uno de estos se definirán los sistemas constructivos, las alteraciones del soporte y las intervenciones de restauración, que nos permitirán fijar todos aquellos aspectos que se repiten o en los que exista una similitud en los distintos casos de estudio analizados en esta investigación.

■ 4.8. VISUALIZACIÓN Y PROCESADO DE LAS IMÁGENES TOMOGRÁFICAS

El análisis de un objeto mediante TC médica viene determinado por una serie de imágenes tomográficas. El número de imágenes que se realizan se establece en función del tamaño del objeto a estudiar, en nuestro caso de la escultura, y del espaciado entre los distintos cortes que conformarán la imagen final. Estas imágenes tomográficas que genera la TC son secciones transversales, pero los avances en el cálculo numérico, en los programas de reconstrucción de imágenes y en los sistemas informáticos permiten obtener, a partir de la sucesión de cortes axiales, cortes en el plano coronal y en el sagital y reconstrucciones tridimensionales⁵⁰.

Los tomógrafos de nueva generación permiten grabar la información que generan en diversos formatos, de los cuales el DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*)⁵¹ es el más común y el estándar reconocido para el intercambio de imágenes médicas.

50 Juanes, D. "La tomografía axial computerizada. Estudio de escultura de madera", p. 36

51 Pianykh, O. *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)*. (Berlín: Springer, 2012), p. 3.

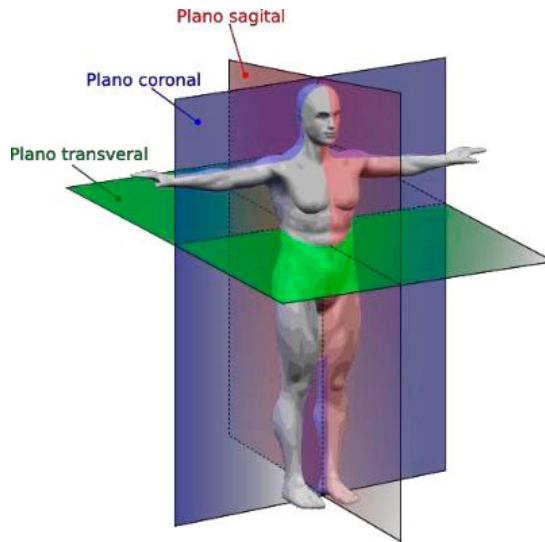


Figura 66.
Esquema de los diferentes planos corporales.

Para poder visualizar y manipular estos archivos de imágenes, se necesita un programa que nos permita realizar dichas acciones. Existe en el mercado un amplio abanico de programas de código abierto para el visualizado y el procesado de imágenes tomográficas en formato DICOM. De todos estos programas, hoy día, resultan esenciales aquellos que no solo admitan trabajar con imágenes tomográficas en formato bidimensional, sino que también nos permitan realizar reconstrucciones tridimensionales de dichas imágenes. Dentro de estos programas de visualización y procesado de imágenes en formato bidimensional y tridimensional, se encuentra el programa OsiriX.

El Servicio de Radiodiagnóstico del Consorcio Hospitalario Provincial de Castellón utiliza en sus estudios tomográficos el programa OsiriX versión 5.7.1.32-bit para la plataforma MAC OSX®. Este hecho ha condicionado la decisión de utilizar esta herramienta de trabajo en el análisis de las imágenes tomográficas en formato DICOM generadas del estudio de las diferentes esculturas objeto de esta investigación.

El trabajo realizado y la experiencia adquirida por parte de los técnicos de dicho servicio con el programa OsiriX, ha permitido una mejor coordinación entre dicho servicio, el IVC+R Culturarts Generalitat y el SCRC. Por ello la utilización de un mismo programa para el visualizado y procesado de las imágenes tomográficas, ha facilitado el intercambio y análisis de los datos obtenidos, y nos ha ayudado en el aprendizaje y manejo del mismo.

OSIRIX

Una de las cosas más destacables, por lo que ello implica, es que se trata de un programa de código abierto para la visualización y el procesado de imágenes de tipo médico que ofrece ventajas sobre otros visores en cuanto a su capacidad para manipular las imágenes tomográficas.

Este programa nos permite visualizar y procesar las imágenes tomográficas generadas en formato multimodal y multidimensional: bidimensionales, tridimensionales con dimensión temporal, reconstrucción multiplanar, simulación de superficie y volumen⁵².

Se pueden analizar las imágenes tomográficas individualmente en los diferentes planos de corte, sea axial, sagital o coronal, y a la vez el programa también nos permite realizar diferentes reconstrucciones de las imágenes tomográficas generadas, ya sea en formato bidimensional o tridimensional.

Técnicas de reconstrucción bidimensionales (2D)

- *Reconstrucción multiplanar (MPR) 2D*

Mediante la reconstrucción multiplanar 2D podemos visualizar simultáneamente las imágenes tomográficas en los diferentes planos de corte, pudiéndose seleccionar una posición en uno de los planos y ver su correspondencia en los otros dos planos (Fig. 67).

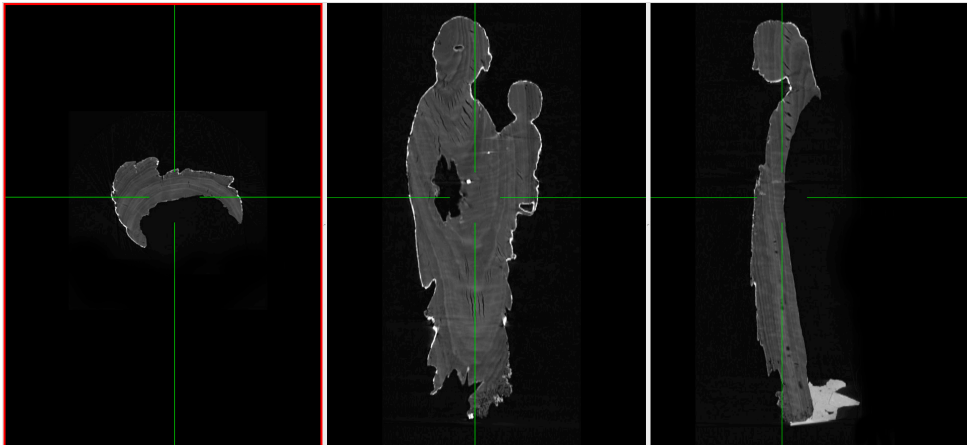


Figura 67.

Reconstrucción multiplanar 2D de la pieza escultórica *Virgen con Niño de Oliva*.

52 Sierra, E.; Cienfuegos, R.; Fernández, G. "OsiriX, visor DICOM útil para procesar imágenes tomográficas de fracturas faciales". *Cirugía y cirujanos* 77, nº 2 (marzo-abril 2009), p. 96.

Técnicas de reconstrucción tridimensionales (3D)

A través de las técnicas tridimensionales (3D) obtenemos reconstrucciones, tanto de la superficie externa, como del interior del objeto a estudio.

Esta técnica de reconstrucción 3D se genera a partir de los cortes axiales originales, ofreciendo un mapa volumétrico perfectamente comprensible del objeto. La reconstrucción 3D no crea una nueva información sobre las imágenes axiales originales, pero sí permite obtener una forma distinta y complementaria para la valoración de los mismos datos. Pero no debemos olvidar que, aunque la reconstrucción 3D sea una herramienta de análisis muy determinante, las imágenes axiales originales siempre deben revisarse y analizarse en cualquier estudio. Es por ello por lo que el análisis de estas imágenes debe permanecer como punto de referencia, y a su vez complementarse con la reconstrucción 3D para así poder realizar una correcta interpretación⁵³.

Esta posibilidad representa un gran avance en el estudio de objetos escultóricos, ya que nos permite tener una visión real y precisa de la obra sin tener que utilizar ningún método de análisis invasivo.

Existen distintas técnicas de reconstrucción 3D, pero nosotros solo vamos a definir aquellas que aportan mayores posibilidades a la hora de realizar el estudio de las diferentes esculturas objeto de esta investigación.

- *Reconstrucción multiplanar (MPR) 3D*

Mediante la reconstrucción multiplanar 3D se puede crear una imagen bidimensional con un punto de vista tridimensional, a través de múltiples imágenes de cortes transversales. Apilando visualmente dichos cortes transversales, se pueden reconstruir imágenes en plano, en vista sagital y coronal, en dirección perpendicular (Fig. 68) u oblicua con respecto al eje del objeto de análisis⁵⁴ (Fig. 69).

Al igual que en la reconstrucción multiplanar 2D, se puede seleccionar una posición en uno de los planos, tanto en el axial o coronal como en el sagital, y a su vez ver su correspondencia en los otros planos, pero en este caso obtenemos una visualización tridimensional de la estructura analizada.

53 Gordillo, I.; Matute, J. A. "TC helicoidal-3D y endoscopia virtual en la patología de la vía aérea pediátrica". *Anales de la pediatría continuada* 3, nº 4 (julio 2005), p. 263. Consultado 5 de mayo 2014.

http://apps.elsevier.es/watermark/ctl_servlet?_f=10&pident_articulo=80000140&pident_usuario=0&pcontactid=&pident_revista=51&ty=13&accion=L&origen=apcontinuada&web=www.apcontinuada.com&lan=es&fichero=v3n4a140pdf001.pdf

54 Ledo, A.; González, Y. "Módulo de reconstrucción multiplanar para estudios de tomografía axial computerizada". En *actas, IX Congreso Internacional de Informática en Salud 2013*. Consultado 5 de mayo 2014.

<http://www.informatica2013.sld.cu/index.php/informaticasalud/2013/paper/viewFile/242/128>
<http://www.informatica2013.sld.cu/index.php/informaticasalud/2013/paper/view/242/128>

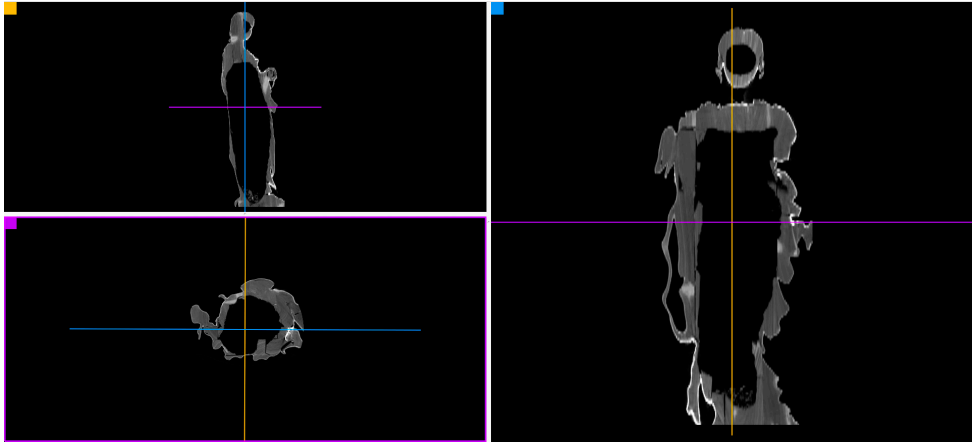


Figura 68.
Reconstrucción multiplanar 3D en dirección perpendicular al eje de la pieza escultórica *Inmaculada Concepción de Granada*.

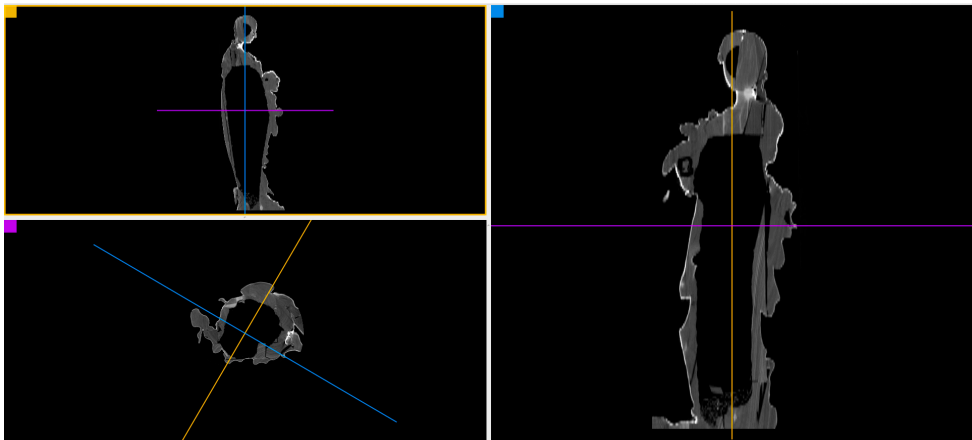


Figura 69.
Reconstrucción multiplanar 3D en dirección oblicua al eje de la pieza escultórica *Inmaculada Concepción de Granada*.

- *Reconstrucción de superficie (SR) 3D*

Esta técnica de reconstrucción se define mediante la fijación de un umbral de unidades Hounsfield (HU), como resultado de la transformación de la escala de coeficientes de atenuación lineal de rayos X, eliminándose de esta manera cualquier elemento que se encuentre por debajo de dicho umbral. Así se definen superficies basadas en curvas de intensidad que podemos manipular y determinar en función de los resultados que se quieran obtener, consiguiendo definir dos

tipos de superficies. A dicho umbral se le asigna un color, para visualizar de este modo diferentes componentes del objeto a estudio (Fig. 70).

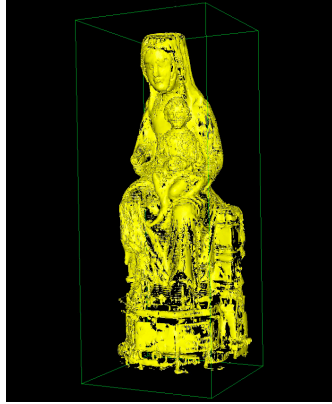


Figura 70.

Reconstrucción de superficie 3D de la pieza escultórica *Santa María de Carlet*.

- *Reconstrucción volumétrica 3D*

La reconstrucción volumétrica 3D proporciona una visualización fácil y rápida del volumen de estructuras tridimensionales. Se pueden reconstruir de este modo volúmenes translúcidos proporcionando una visualización tridimensional del volumen con cierta transparencia (Fig. 72), así como volúmenes totalmente opacos (Fig. 71). Esta transparencia u opacidad del volumen viene definida por el factor que se le aplique a cada pixel dependiendo de su posición y su intensidad.

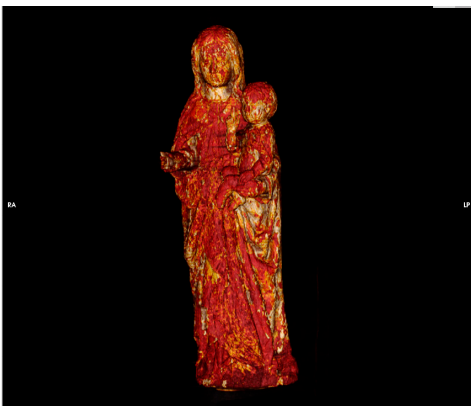


Figura 71.

Reconstrucción volumétrica 3D *clut-VR* *Muscles-Bones* con opacidad de la pieza escultórica *Virgen con Niño de Oliva*.

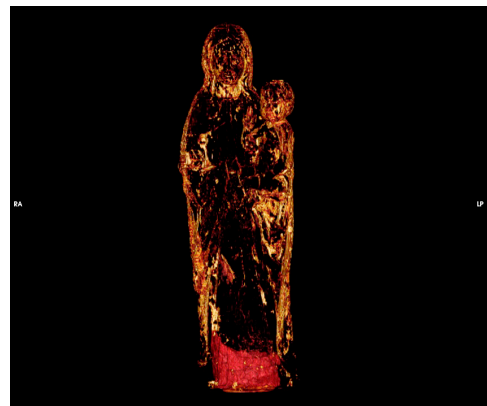


Figura 72.

Reconstrucción volumétrica 3D *clut-VR* *Muscles-Bones* con transparencia de la pieza escultórica *Virgen con Niño de Oliva*.

- *Reconstrucción endoscópica 3D*

Mediante esta reconstrucción obtenemos resultados muy interesantes sobre todo para el visionado de objetos que presenten huecos en su interior. Aparentemente dicha reconstrucción podría simular una endoscopia virtual.

A través de la reconstrucción 3D endoscópica podemos visualizar simultáneamente cuatro visores de imágenes (Fig. 73). En tres de estos visores se muestra el objeto a estudio desde los diferentes planos de corte (axial, sagital y coronal) en los que se sitúa un eje central a través del cual se mueve o proyecta una pequeña cámara, la cual podemos mover en función de las necesidades de estudio. En el cuarto visor es donde visualizamos la endoscopia virtual de aquellas zonas por donde se va moviendo la cámara, proyectando una visión del interior del objeto.

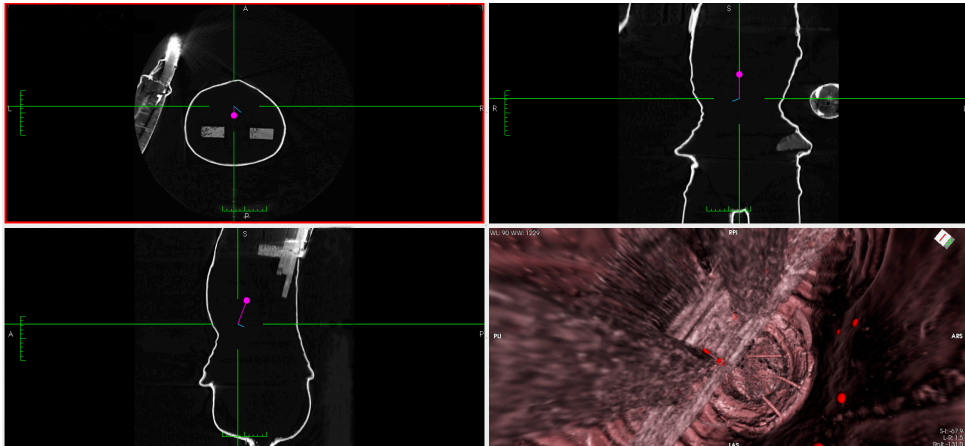


Figura 73.

Reconstrucción endoscópica 3D de la pieza escultórica *San Miguel Arcángel*.

Para la visualización y el procesado de las imágenes tomográficas en sección transversal, así como en las diferentes reconstrucciones, el programa OsiriX nos da la posibilidad de poder trabajar con una serie de herramientas de procesado de imágenes que nos permiten sacar el mayor partido a todas aquellas necesidades que el estudio del objeto plantea.

Estas herramientas serán revisadas a través de la metodología de trabajo que se ha llevado a cabo, y que definiremos a continuación, en el estudio realizado a las esculturas objeto de esta investigación.

■ 4.8.I. Metodología de trabajo

A continuación definiremos los pasos seguidos en nuestra investigación a la hora de determinar la metodología de trabajo llevada a cabo en la visualización y el procesado de las imágenes tomográficas generadas del estudio de las diferentes esculturas.

Todos los estudios tomográficos de las diferentes piezas escultóricas analizadas en esta investigación, como ya hemos reseñado anteriormente, se han realizado en el Servicio de Radiodiagnóstico del Consorcio Hospitalario Provincial de Castellón. Cada uno de estos estudios ha dado lugar a un número determinado de imágenes tomográficas, las cuales han generado un archivo de datos.

El primer pos-procesado de estos archivos se ha llevado a cabo en dicho servicio según las necesidades que el técnico restaurador ha considerado que debían ser destacadas en el análisis de las esculturas. Así se han generado varios archivos de imágenes tomográficas en formato DICOM determinados por dichas necesidades. Este pos-procesado inicial nos ofrece una primera aproximación de la estructura y del estado de conservación de la escultura. Pero estos datos pueden resultar insuficientes para el análisis de las esculturas y vamos a poder ser nosotros, mediante el procesado de las imágenes tomográficas, los que ampliemos el estudio a través de nuestro propio trabajo.

Para empezar a estudiar las imágenes tomográficas de cada escultura utilizamos como estación de trabajo un ordenador MAC OS X®, en el cual previamente hemos instalado el programa de visualización y procesado de imágenes OsiriX en la versión 5.7.1.32-bit.

Analizar las imágenes tomográficas desde nuestro propio ordenador y con un programa de fácil manejo, cuestión impensable en el pasado ya que la manipulación de las imágenes solo podía realizarse en la estación de trabajo del tomógrafo con un equipo y programas muy complejos, ha facilitado el estudio de las esculturas objeto de esta investigación, ya que nos ha permitido trabajar desde la perspectiva del propio técnico restaurador. Razón básica y fundamental esta, ya que dicho estudio será realizado desde el punto de vista de la conservación y la restauración.

Previo al análisis de las imágenes tomográficas que nos van a aportar datos sobre todo de lo que no podemos visualizar del interior de un objeto escultórico, debemos realizar un examen visual y determinar, en el exterior de la escultura, qué puede tener relación con lo que vamos a analizar en el estudio tomográfico. En escultura, normalmente, las alteraciones que se reflejan en superficie, tienen su patología en el interior de esta.

Otra cuestión importante, y que nos ha facilitado el trabajo, es la opción de archivo que permite el programa, es decir, una base de datos donde almacenar todos los archivos del procesado de imágenes de las esculturas que vamos a estudiar sin tener que ir a bases de almacenamiento externas. Una vez importados todos los archivos de las imágenes tomográficas de las diferentes esculturas a la base de datos del programa OsiriX, comienza nuestro trabajo de análisis y manipulación de las imágenes tomográficas que definirá el estudio.

A continuación exponemos un guión de los pasos llevados a cabo en el procesado de las imágenes tomográficas:

1. Una primera visualización de todas las imágenes, sin entrar en detalle, para así tener una idea inicial del estado de la cuestión.
2. Una vez visualizadas la totalidad de imágenes que ha generado el estudio de una escultura mediante TC, empezamos a trabajar en el análisis de todas las imágenes tomográficas. El primer análisis es de las imágenes en su corte axial, completándose con el de las imágenes sagitales y coronales. En este punto es cuando realmente empezamos a desarrollar nuestro estudio, trabajando con las diferentes herramientas de procesado que nos proporciona el programa de visualización de imágenes OsiriX en función de aquellas cuestiones que queremos referenciar o destacar en el estudio.
3. Una vez analizadas todas las imágenes tomográficas bidimensionales en corte axial, sagital y coronal, trabajamos con la reconstrucción 3D. A través de esta nos apoyamos para ratificar y ampliar todo lo referenciado en las imágenes tomográficas 2D.
4. Finalmente, exportamos todos los archivos de imágenes generados en el estudio a una base de almacenamiento, ya sea la del propio programa o a una externa.

El primer análisis de las imágenes tomográficas generadas del estudio de un objeto se realiza siempre desde las imágenes axiales y se complementa con las imágenes sagitales y coronales. En el caso que nos ocupa, el análisis se ha llevado a cabo desde tres puntos de vista:

1. El sistema constructivo con el que está realizada la escultura.
2. El estado de conservación que presenta la misma.
3. Las diferentes intervenciones que haya podido tener a lo largo de su historia.

Pero, aunque existen puntos de análisis diferentes, hay cuestiones por determinar en las imágenes tomográficas que se definen por igual para los tres puntos de vista. Para poder determinar tales cuestiones, el programa nos facilita una serie de herramientas que se han podido utilizar por igual en el procesado de las imágenes tomográficas de los diferentes estudios de las esculturas objeto

de esta investigación. Entre estas cabe destacar, por habernos ayudado a definir cuestiones básicas a la hora de analizar la estructura interna de una escultura, la herramienta ROI⁵⁵ (*Region of Interest*).

Esta herramienta nos permite posicionar una zona de interés en la imagen tomográfica, a la vez que nos determina una valoración en términos cuantitativos de dicha zona. El poder determinar datos cuantitativos de diferentes zonas del interior de un objeto, sin tener que realizar ningún análisis invasivo, proporciona a esta técnica una gran importancia en el estudio de bienes culturales. De esta manera hemos podido:

- Determinar medidas de longitud en alto, ancho y largo (Fig. 74-75).
- Situar puntos en los que se define su posición bidimensional y tridimensional (Fig. 76).
- Definir áreas (Fig. 77).
- Fijar ángulos (Fig. 78).

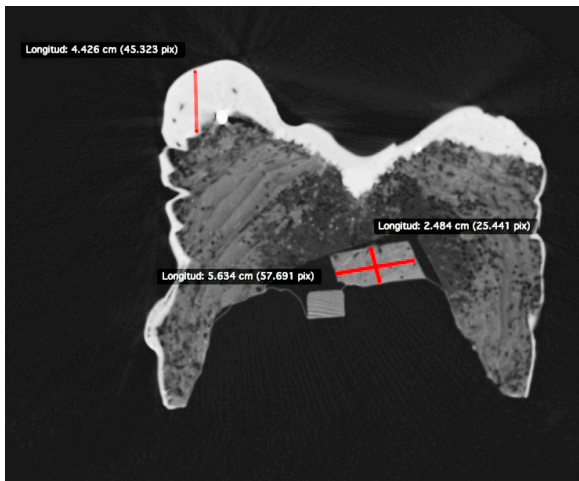


Figura 74.

A 276/435. Diferentes zonas de interés de la pieza escultórica *Virgen de las Victorias o Batallas* en las que se han determinado medidas de ancho y largo.

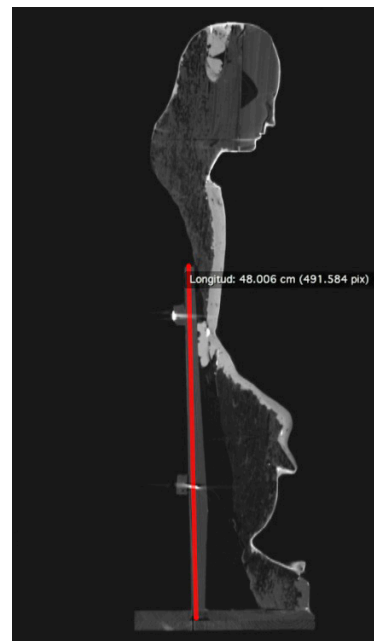


Figura 75.

S 256/512. Medida en altura de la estructura de sujeción interna de la imagen *Virgen de las Victorias o Batallas*.

⁵⁵ Región de la imagen tomográfica que puede seleccionarse por su posición, tamaño y forma, y en la que se llevan a cabo evaluaciones cuantitativas. García, P. *Principios técnicos de la tomografía axial computarizada*, p. 26.



Figura 76.

A 218/831. Situación de un punto en el inicio de uno de los clavos internos de la imagen de *San Luis de Sellent*.

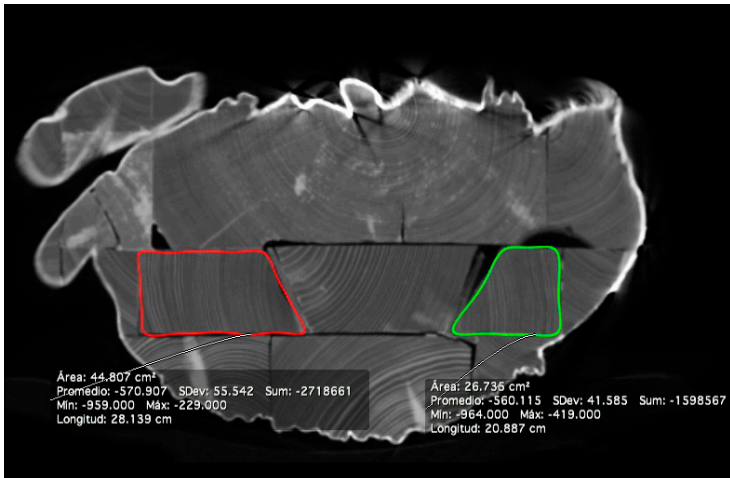


Figura 77.

A 49/183. Delimitación del área de dos de los tablones con los que está construida la imagen de la *Inmaculada Concepción de Granada*.

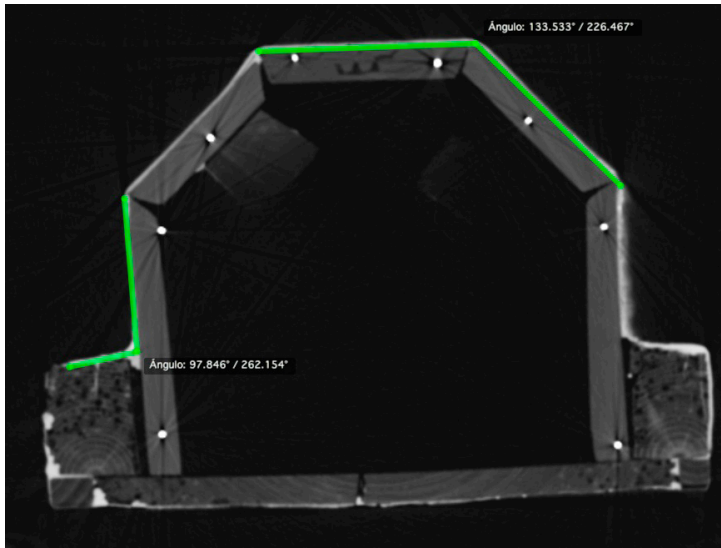


Figura 78.

A 295/731. Ángulo con el que se han situado las diferentes piezas de madera que conforman la peana de la imagen de *Santa María de Carlet*.

Todas las regiones de interés, o ROIs, que hemos ido posicionando en cada una de las imágenes tomográficas y que son las que nos definen el estudio llevado a cabo en cada una de las esculturas objeto de esta investigación, han sido exportadas a un archivo de datos.

De esta manera, cada vez que queramos volver a analizar las imágenes tomográficas generadas en dicho estudio, podremos volver a importar todos esos ROIs, obteniendo otra vez el análisis completo del objeto estudiado; incluso pueden añadirse nuevos ROIs y ser exportados nuevamente al archivo de datos.

La parte principal del estudio de un objeto se define desde las imágenes axiales, sagitales y coronales, pero este puede ser complementado a través de la reconstrucción 3D. De ahí la importancia que tiene poder trabajar en nuestro estudio con reconstrucciones 3D, a través de las cuales el programa nos permite realizar una serie de acciones que resultan primordiales a la hora de analizar el objeto de estudio. Estas acciones han podido llevarse a cabo mediante una serie de herramientas de procesado que nos ofrece el programa en la reconstrucción 3D.

Así, hemos podido:

- Realizar recortes en cualquiera de los planos de corte de la reconstrucción 3D, obteniéndose de esta manera una sección de la superficie definida con todo detalle (Fig. 79).

- Aislar elementos del interior del objeto escultórico (Fig. 80).
- Girar la reconstrucción alrededor de un punto focal, lo que nos permite obtener diferentes vistas (Fig. 81).



Figura 79.

Reconstrucción volumétrica 3D de la cabeza del *San Miguel Arcángel*, en la que se ha practicado un recorte del lateral izquierdo, pudiéndose visualizar la estructura interna de la imagen.



Figura 80.

Reconstrucción volumétrica 3D de la cabeza de la *Virgen con Niño de escuela castellana*, en la que se han aislado los clavos que se sitúan en la corona de la imagen.

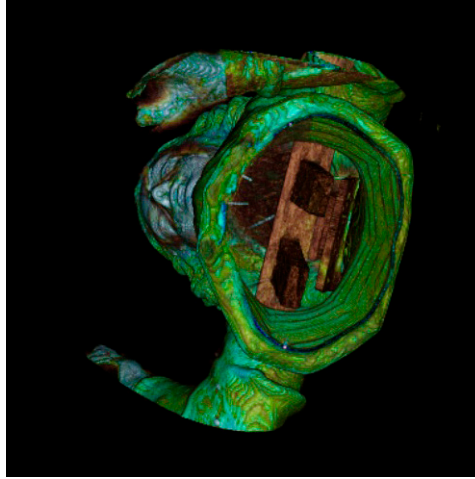


Figura 81.

Reconstrucción volumétrica 3D del torso del *San Miguel Arcángel* en la que se ha girado la imagen permitiéndonos tener una visión de la estructura interior desde su parte inferior.

Como se observa en las imágenes anteriores, según las necesidades del estudio, se pueden seleccionar zonas determinadas del objeto; para ello, solo se procesarán las imágenes tomográficas correspondientes a dicha zona, definiéndose así el volumen de la misma.

Otra de las posibilidades que ofrece el programa, que resulta de gran interés en el estudio de objetos escultóricos, es la de asignación de color a las imágenes tomográficas. Pero se trata de una asignación arbitraria, ya que nada tiene que ver con los colores reales del objeto analizado. Es lo que podría definirse como una técnica de 'pseudo-color'. Aun así resulta muy interesante, ya que es más sencillo definir ciertas zonas que albergan información importante para nuestro estudio si existe un cambio brusco de color que si simplemente hay un cambio de intensidad. Esta acción se realiza a través del control CLUT (*Colour look-up table*). El programa atribuye arbitrariamente un color fijo a cada valor de intensidad mediante una paleta de colores determinada.

Según la práctica llevada a cabo en el análisis de las esculturas con los diferentes CLUTs que nos proporciona ya definidos el programa, hemos podido determinar que existen varios tipos que nos resultan de mayor utilidad a la hora de obtener los resultados deseados en nuestra investigación. A continuación enumeramos los más utilizados:

- CLUT FRENCH: La gama de color con la que se define nos proporciona unas imágenes tomográficas con una definición prácticamente semejante a la

visión real de las esculturas cuya estructura está realizada en madera. Aporta un contraste muy diferenciado por colores de los elementos que configuran la estructura del objeto escultórico: el estrato de policromía, el soporte de madera, los objetos metálicos y los rellenos con otros materiales. Se aprecia perfectamente la diferencia de densidades de las distintas maderas que se hayan utilizado en la construcción del soporte, o en la reconstrucción de volúmenes y faltantes. Las alteraciones de la madera: nudos, grietas, fendas o ataque de insecto xilófago entre otros, se contrastan con mayor definición que en otros CLUTs. Es por todo esto por lo que podemos concluir que este resulta totalmente definitorio a la hora de analizar estructuras realizadas en madera.

- CLUT ENDOSCOPY: Resulta muy interesante ya que, modificando el contraste, obtenemos una imagen con cierta transparencia en la que se visualizan elementos del interior.
- CLUT FLOW, BONES Y HOTMETAL: Nos permite, variando la intensidad del contraste, definir en nuestro caso la policromía en cuya composición existan pigmentos de alta densidad y todos aquellos objetos metálicos.

Después del estudio de todas las imágenes tomográficas generadas en el análisis de un pieza escultórica, desde el punto de vista de la conservación y restauración, y siempre desde la perspectiva del técnico restaurador, las imágenes que hemos analizado y procesado con el programa OsiriX han sido exportadas según las necesidades en diferentes formatos de archivo. Los más utilizados han sido los estándares de JPEG y TIFF, además de los archivos nativos tipo DICOM.

Debemos decir además que, aunque la metodología de trabajo para analizar las diferentes esculturas objeto de esta tesis ha sido la misma para cada una de ellas, el resultado de los estudios es distinto para cada caso por presentar cada escultura unas características constructivas y patologías de deterioro y alteración particulares.

■ 4.8.2. Protocolos de estudio

En este apartado definiremos aquellos protocolos que hasta ahora no estaban establecidos en el estudio de escultura policromada de madera mediante TC médica, y que han resultado de gran utilidad a la hora de realizar el análisis de las diferentes esculturas.








■ 4.8.2.1. Protocolo de estudio para la definición de elementos a analizar

El objetivo de este protocolo es introducir un método de análisis que, a través de las imágenes tomográficas en las que se referencie el posicionamiento de un punto asociado a un elemento, nos permita, mediante la observación visual, interaccionar con todos aquellos elementos de iguales características.

Para poder hacer un análisis sistemático en todas las esculturas a la hora de analizar los diferentes elementos constructivos, alteraciones e intervenciones de restauración que se localizan en el interior de una pieza escultórica, hemos definido un protocolo de estudio utilizando como base la herramienta ROI en formato de punto. Este protocolo se basa en la asignación de un color para cada 'punto', el cual determinará siempre el mismo elemento a analizar o definir, permitiéndonos de esta manera diferenciar unos elementos de otros.

En la tabla que observamos a continuación quedan representados los diferentes puntos por colores y su relación con el elemento a estudio.

Tabla. 11.
Definición de los elementos a analizar por colores.

Color	Elemento
	Grietas
	Elemento metálico
	Mechones o espigas de madera
	Añadidos o reconstrucciones
	Ataque de insecto xilófago
	Zonas a tener en cuenta en conservación preventiva
	Alteraciones de la madera

Este protocolo de estudio no queda acotado solo a los elementos que en la tabla se referencian. Existe la posibilidad de ampliar con otros colores dicho protocolo, en función de aquellos elementos que aquí no se han definido y que pueden encontrarse en el análisis de una pieza escultórica. Dicho protocolo puede utilizarse con dos finalidades diferentes:

- Determinar la posición real del elemento que queremos analizar del interior de una escultura.

- Situar, a nivel de superficie de una escultura, la posición del elemento interno que queremos analizar.

En definitiva, mediante este protocolo de estudio podremos tener una visión real en la reconstrucción 3D, tanto a nivel interno como en superficie, de diferentes puntos de colores de todos aquellos elementos con iguales características que hemos querido destacar en el análisis del interior de una escultura.

El posicionamiento a nivel de superficie en la reconstrucción 3D de todos estos puntos de referencia de los elementos internos facilitará el trabajo al técnico restaurador a la hora de localizar dichos elementos en la escultura.

Un claro ejemplo de todo lo anteriormente expuesto lo tenemos en la definición de uno de los clavos internos, enumerado como clavo nº 5, que presenta la imagen de *Santa María de Carlet* en su brazo derecho, y que ha sido analizado en el estudio llevado a cabo mediante TC de dicha imagen.

Para ubicar la posición de dicho elemento, empezamos situando diferentes ROIs de puntos de color rojo (así es como protocolariamente identificamos a los elementos metálicos) en las secciones axiales de las imágenes tomográficas generadas del estudio de esta escultura. Estos se sitúan en el punto de inicio y final de dicho clavo, definiéndose en cada uno de ellos sus coordenadas espaciales (Fig. 82-83).

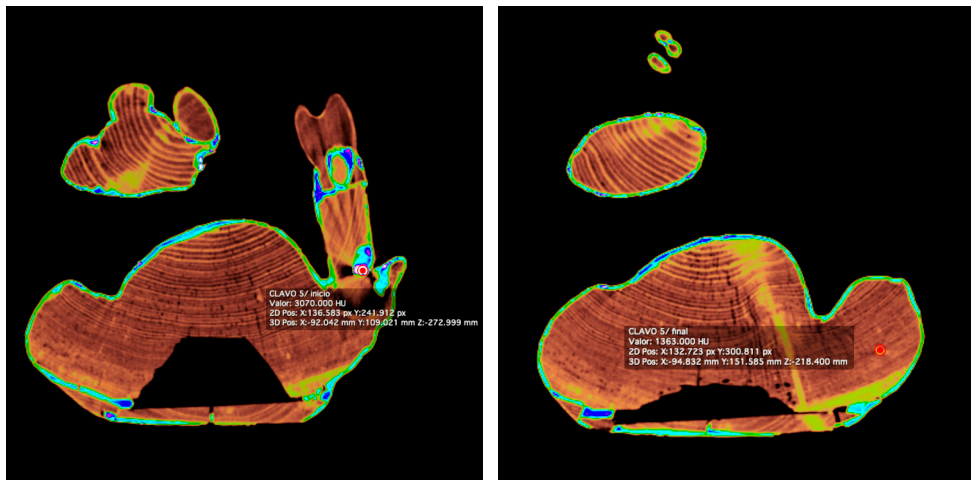


Figura 82-83.

A 282/731- A 240/731. Cortes axiales en los que se sitúa el punto de inicio y final del clavo nº 5 de la imagen de *Santa María de Carlet*.

Una vez establecidos los puntos de inicio y final, situamos otros puntos, que definimos como de `posición externa`, con el mismo protocolo de estudio en la superficie de la escultura. Estos puntos se sitúan a nivel de superficie en la misma posición lineal que el punto interno con el que se corresponden (Fig. 84-85).

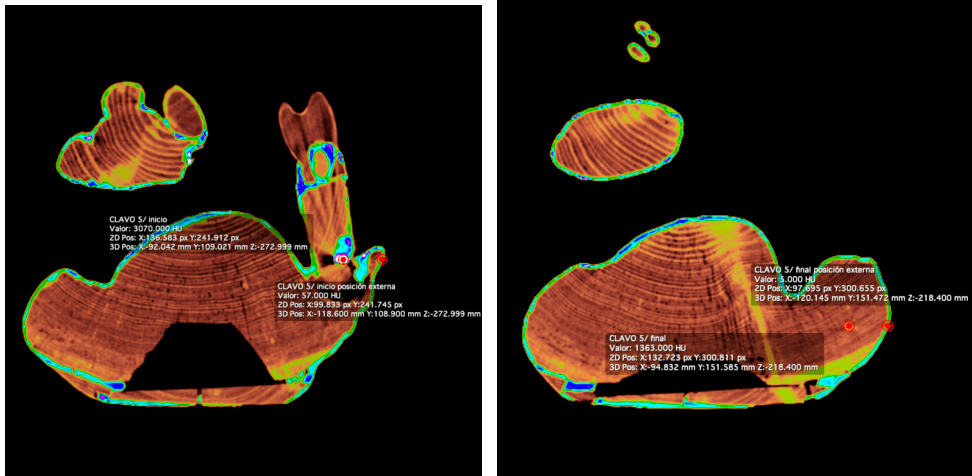


Figura 84-85.

A 282/731-A 240/731. Imágenes axiales en las que se observa la localización del punto interno y el punto externo del clavo nº 5 de la imagen de *Santa María de Carlet*.

Debido a la precisión con la que trabaja la tomografía computarizada, podemos situar con exactitud, teniendo en cuenta los datos de las coordenadas espaciales de cada uno de estos puntos, un punto respecto del otro.

Tabla. 12.

Coordenadas espaciales del punto de inicio y final del clavo nº 5.

	COORDENADAS ESPACIALES INICIO (mm)	COORDENADAS ESPACIALES INICIO EXTERNO (mm)	COORDENADAS ESPACIALES FINAL (mm)	COORDENADAS ESPACIALES FINAL EXTERNO (mm)
CLAVO nº 5 ANTEBRAZO DERECHO	X: -92,042	X: -118,600	X:-94,832	X:-120,145
	Y: 109,021	Y: 108,900	Y:151,585	Y:151,472
	Z: -272,999	Z: -272,999	Z: -218,400	Z:-218,400

Tal y como se aprecia en la tabla 12, las coordenadas Y y Z se sitúan en la misma posición, por lo que su posición en el interior de la escultura es la misma que la que situamos a nivel superficial.

En la reconstrucción volumétrica 3D se pueden visualizar espacialmente, por un lado, los puntos que definen la posición real del elemento que estamos analizando, en este caso un clavo metálico (Fig. 86), y por otro, aquellos puntos que hemos situado en la superficie de la escultura y que definen la posición interior de ese elemento (Fig. 87).

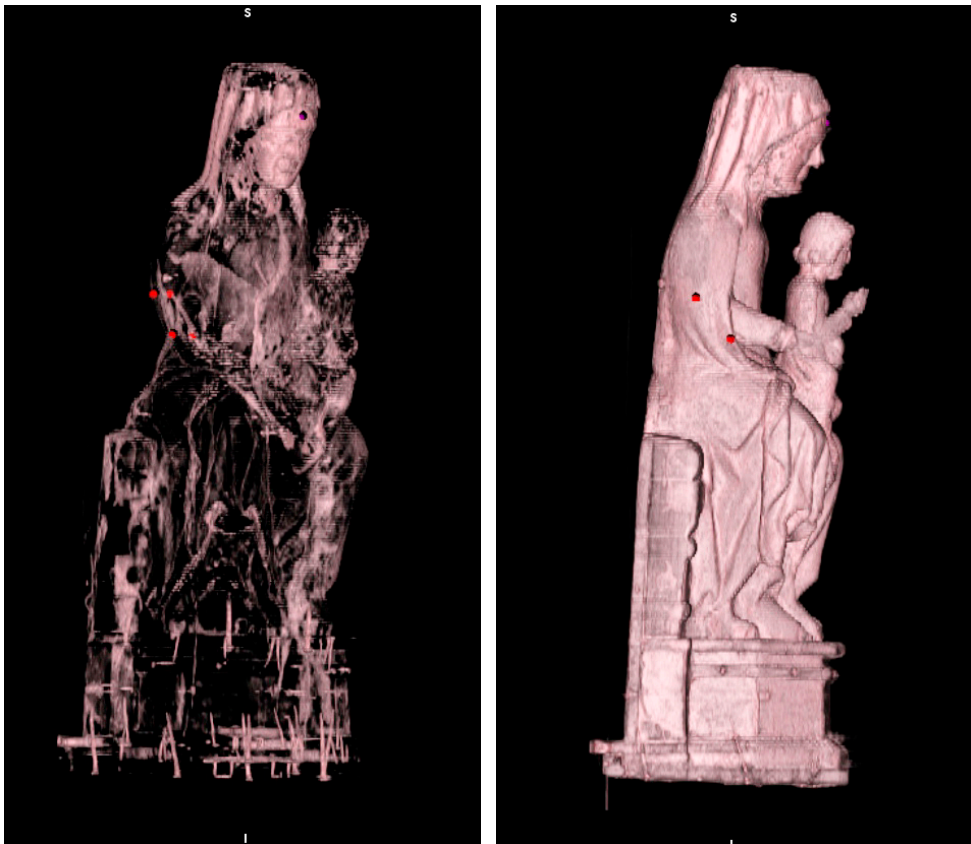


Figura 86-87.

Reconstrucción volumétrica 3D *Clut-endoscopy* en la que se visualizan los puntos internos y externos que nos posicionan el clavo nº 5 del antebrazo de la imagen de *Santa María de Carlet*.

■ 4.8.2.2. Protocolo de estudio para la definición de un punto de origen

Mediante este protocolo de estudio se pretende situar, en una zona significativa de la escultura y que emplazamos aleatoriamente, un punto que denominamos de ORIGEN, un punto con coordenadas espaciales 'cero' y desde el cual se referenciarán el resto de puntos que hallamos situado en el estudio del objeto escultórico.

Al igual que en el protocolo de definición de elementos internos, y para que este pueda ser diferenciado del resto de puntos que se sitúan a nivel de superficie de la reconstrucción 3D, a dicho punto también se le asigna un color.

Color	Elemento
●	Punto de origen

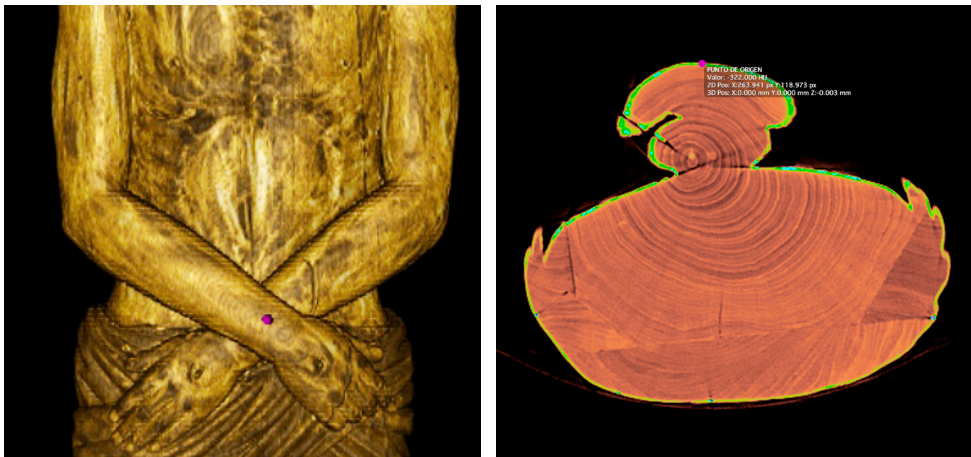


Figura 88-89.

Reconstrucción volumétrica 3D *Clut-bones* y corte axial en los que se sitúa el punto de origen en la imagen del *Cristo de la Santísima Sangre de Denia*.

Para poder definir ese punto de origen con medidas espaciales 'cero', se debe realizar una calibración de los datos, ya que todas las medidas espaciales que se definen en cualquier punto que situemos de una imagen tomográfica vienen determinadas por un punto X desde el que empieza a medir el tomógrafo.

La definición de este punto de origen no necesariamente tiene que realizarse al inicio del estudio, ya que, una vez calibrados los datos, todos los puntos que hayamos referenciado en nuestro análisis se modificarán respecto a dicho punto de origen.

■ 4.8.2.3. Protocolo de estudio para determinar la orientación y dimensión de elementos

Tomando como base el protocolo de estudio para la definición de elementos a analizar, en el que situábamos la posición de un elemento interno, el objetivo de este nuevo protocolo será determinar la orientación y dimensión de dichos elementos.

Cualquier elemento interno, ya sea un clavo, una espiga de madera, una grieta..., se visualiza claramente en las imágenes tomográficas, localizándose con mayor precisión todo su recorrido y envergadura en las imágenes de sección axial, concretamente, en aquella imagen en la que se localiza la inserción de dicho elemento, en aquellas por donde trascurre su recorrido y finalmente en aquella donde se sitúa el final de este.

Para poder determinar el tamaño y la localización de un elemento en la estructura interna de una escultura, debemos conocer su situación espacial. La precisión de esta técnica de análisis nos permite determinar con exactitud las coordenadas espaciales de cualquier elemento que se situó en el interior de la estructura del objeto de estudio. Esta localización espacial viene determinada por el punto de inicio y el punto final del elemento. Así, situamos en las imágenes axiales un punto donde empieza a localizarse dicho elemento, es decir su punto de inicio o inserción, y el punto donde finaliza la localización de este, determinándose, en cada uno de estos puntos, sus coordenadas espaciales.

Mediante la definición de las coordenadas espaciales del punto de inicio y del punto final del elemento a estudio, podemos situar espacialmente dicho elemento en la estructura interna de la escultura. Para ello se utiliza el "sistema de coordenadas esféricas", el cual nos determina la posición espacial de un punto mediante una distancia y dos ángulos; dicho punto queda representado por tres magnitudes: la longitud r , el ángulo polar o colatitud φ y el ángulo azimutal θ ⁵⁶. De esta forma se obtiene la longitud del elemento y su orientación en el espacio, en nuestro caso, en el interior de la escultura.

⁵⁶ Coordenadas polares en el plano. Coordenadas cilíndricas y esféricas en el espacio. Consultado 3 de septiembre de 2015.
<http://ocw.unican.es/ciencias-experimentales/analisis-de-varias-variables-reales/material-de-clase-2/coordenadas-w.pdf>.

Tomamos como ejemplo el clavo nº 5 situado en el antebrazo derecho de la imagen de *Santa María de Carlet*.

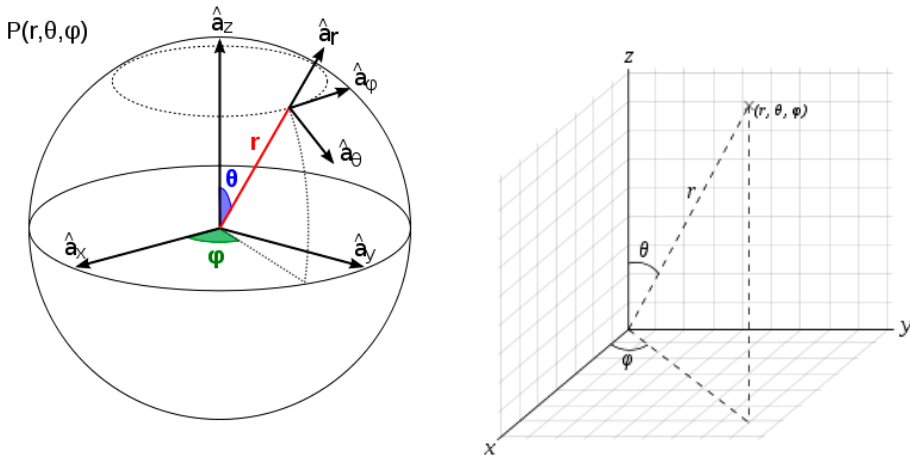


Figura 90.
Coordenadas esféricas y ejes cartesianos.

Tabla. 13.
Coordenadas espaciales y esféricas del clavo nº 5.

	COORDENADAS ESPACIALES INICIO (mm)	COORDENADAS ESPACIALES FINAL (mm)	LONGITUD (mm)	ANGULO φ	ANGULO θ
CLAVO nº 5 ANTEBRAZO DERECHO	X:-92,042	X:-94,832	70,47	140,79°	96,59°
	Y:109,021	Y:151,585			
	Z:-272,999	Z:-218,400			

Mediante este sistema obtenemos de forma sencilla la orientación de un elemento en el interior del objeto escultórico, pero con respecto a la longitud del mismo no resulta definitorio, ya que la medición de la longitud se realiza linealmente. Si dicho elemento presenta alguna deformidad o irregularidad, la medida que se obtiene no es real; por lo tanto, hablaremos de medidas de longitud aproximadas u orientativas de dicho elemento.

En el pos-proceso de las imágenes tomográficas también se pueden aislar elementos del interior de la estructura de una escultura y realizar una renderización de dichos elementos. Como ejemplo de dicha reconstrucción 3D se ha aislada

uno de los clavos (nº 4) situado en la cabeza de *Santa María de Carlet* (Fig. 91). En dicha reconstrucción se visualiza perfectamente la deformidad del clavo (Fig. 92).

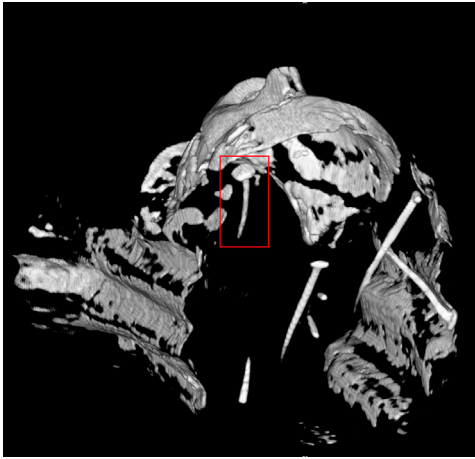


Figura 91.
Reconstrucción de superficie 3D
de la cabeza de la Virgen en la
que se localiza el clavo nº 4.

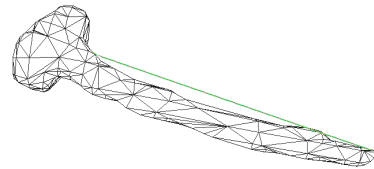


Figura 92.
Reconstrucción 3D del clavo nº 4.

4.9. PRESENTACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO EN ESCULTURA POLICROMADA EN MADERA

De entre todas las esculturas policromadas realizadas con soporte de madera analizadas mediante TC médica se han seleccionado un total de dieciséis casos diferentes, que han servido como base de investigación de esta tesis. La selección ha venido determinada por:

- Las diferentes cronologías de las esculturas, que abarcan desde el siglo XIII hasta el siglo XX.
- Las dimensiones y volúmenes de las mismas. La diversidad de dimensiones y volúmenes nos determinarán las capacidades y limitaciones del tomógrafo.
- El soporte con el que están construidas estas esculturas. Aunque el soporte principal a estudio en esta investigación ha sido la madera fundamentalmente, se han seleccionado entre los distintos estudios dos casos especiales en

los que se ha utilizado como soporte principal el textil y el cartón pero con una estructura interna, a modo de armazón, realizada en madera.

- Las alteraciones diferentes que presentan cada una de las esculturas.
- Las intervenciones de restauración a las que han estado sometidas.

En definitiva, dieciséis casos totalmente representativos de la escultura policromada en madera que van a definir el objeto de esta investigación, que no es otro que demostrar la utilidad de la TC médica en el estudio de piezas escultóricas.

Tabla 14.
Esculturas seleccionadas como base de investigación de esta tesis.

Nº	Escultura	Autor	Época	Técnica y materiales	Dimensiones (cm)	Localización
1	<i>Virgen de las Victorias o Batallas</i>	Anónimo	s. XIII	Madera dorada y policromada	83×37,5×25	Iglesia Parroquial de San Andrés. Valencia
2	<i>Cristo de Sant Bult</i>	Anónimo	s. XIII	Madera policromada	82×60,5×15	Hogar Escuela de Sant Bult de Valencia
3	<i>Nuestra Señora de la Naranja</i>	Anónimo	Primer tercio s. XIV	Madera policromada	87×36,5×32	Iglesia Parroquial de Nuestra Señora del Pópulo de Olocau del Rey. Castellón
4	<i>Virgen con Niño de escuela castellana</i>	Anónimo	s. XIV	Madera dorada y policromada	130×60×41	Colección particular Valenciana
5	<i>Santa María de Carlet</i>	Anónimo	s. XV	Madera dorada y policromada	88×34×29,5	Iglesia Parroquial de Nuestra Sra de la Asunción de Carlet. Valencia
6	<i>San Miguel Arcángel</i>	Anónimo	s. XV	Cartón piedra modelado, dorado, corlado y policromado	147×90×50	Museo Histórico del Ayuntamiento de Valencia
7	<i>Nuestra Señora de la Leche</i>	Anónimo	s. XV	Madera policromada	80×30×20	Iglesia Parroquial de Nuestra Señora de los Ángeles de Torres-Torres. Castellón
8	<i>Virgen con Niño de Oliva</i>	Anónimo	s. XV-XVI	Madera policromada	100×36×34	Iglesia Parroquial de Santa María la Mayor de Oliva. Valencia

Nº	Escultura	Autor	Época	Técnica y materiales	Dimensiones (cm)	Localización
9	<i>Ecce Homo de L'Olleria</i>	Anónimo	s. XVI	Madera policromada	153×58×40	Iglesia parroquial de Santa María Magdalena de L'Olleria. Valencia
10	<i>San Luis de Sellent</i>	Anónimo	s. XVII	Madera policromada	120×60×79	Ayuntamiento de Sellent. Valencia
11	<i>Inmaculada Concepción de Granada</i>	Escuela de Alonso Cano	s. XVII	Madera policromada y dorada	157×54×60	Monasterio de San Jerónimo. Granada
12	<i>Cristo de la Santísima Sangre de Denia</i>	Anónimo	Finales XVII, principios del XVIII	Madera policromada	163×43×31	Monasterio de Nuestra Señora de Loreto de Denia. Alicante
13	<i>Virgen con Niño de escuela andaluza</i>	Anónimo	Finales XVII, principios del XVIII	Madera dorada y policromada	88×80×40	Colección particular valenciana
14	<i>Santo Tomás</i>	Escuela de Ignacio Vergara	s. XVIII	Madera policromada y dorada	81×31×26	Iglesia Parroquial de San Josemaría Escrivá de Balaguer. Valencia
15	<i>Santa Clara</i>	José Sánchez Lozano	s. XIX	Madera y tela policromada	140×75×45	Monasterio de Santa Ana y Santa María Magdalena de Lorca. Murcia
16	<i>Nuestra Señora de las Nieves</i>	Romero de Tena	1940	Madera policromada	149×60×44	Iglesia parroquial de Nuestra Señora de las Nieves de Hondón de las Nieves. Alicante

Tabla 15.
Equipos tomográficos y protocolos médicos aplicados al análisis de las esculturas.

Nº	Escultura	Equipo	Serie	Voltaje (kV)	Imágenes
1	<i>San Luis de Sellent</i>	SIEMENS SOMATOM SENSATION 16®	Tórax-Abdomen 2.0 B70f	120	831
2	<i>Nuestra Señora de la Leche</i>	SIEMENS SOMATOM SENSATION 16®	Tórax-Abdomen 2.0 B30f	120	180
3	<i>Nuestra Señora de las Nieves</i>	SIEMENS SOMATOM SENSATION 16®	Tórax-Abdomen 2.0 B30f	120	302
4	<i>Virgen de las Victorias o Batallas</i>	SIEMENS SOMATOM SENSATION 16®	Torax-Abdomen2.0 B30f	120	435
5	<i>Nuestra Señora de la Naranja</i>	SIEMENS SOMATOM SENSATION 16®	Tórax-Abdomen 2.0 B30f	120	974
6	<i>Ecce Homo de L'Olleria</i>	SIEMENS SOMATOM SENSATION 16®	Tórax-Abdomen 2.0 B30f	120	915
7	<i>Inmaculada Concepción de Granada</i>	SIEMENS SOMATOM SENSATION 16®	Tórax-Abdomen 2.0 B30f	120	366
8	<i>Santa Clara</i>	SIEMENS SOMATOM SENSATION 16®	Tórax-Abdomen 2.0 B50f	120	213
9	<i>Cristo de Sant Bult</i>	SIEMENS SOMATOM SENSATION 16®	Tórax-Abdomen 2.0 B50f	120	416
10	<i>Santo Tomás</i>	SIEMENS SOMATOM SENSATION 16®	Tórax-Abdomen 2.0 B50f	120	426
11	<i>Virgen con Niño de Oliva</i>	SIEMENS SOMATOM DEFINITION FLASH®	Abdomen-pelvis 2.0 B50f	100	859
12	<i>Santa María de Carlet</i>	SIEMENS SOMATOM DEFINITION FLASH®	Abdomen-pelvis 2.0 B50f	80	731
13	<i>Virgen con Niño de escuela andaluza</i>	SIEMENS SOMATOM DEFINITION FLASH®	Abdomen-pelvis 2.0 B50f	120	455
14	<i>Virgen con Niño de escuela castellana</i>	SIEMENS SOMATOM DEFINITION FLASH®	Abdomen-pelvis 2.0 B50f	120	1031
15	<i>Cristo de la Santísima Sangre</i>	SIEMENS SOMATOM DEFINITION FLASH®	Abdomen-pelvis 2.0 B50f	80	1312
16	<i>San Miguel Arcángel</i>	SIEMENS SOMATOM DEFINITION FLASH®	Abdomen-pelvis 2.0 B50f	80	951

■ 4.10. ESTUDIOS PRINCIPALES

Dentro de los dieciséis ejemplos de esculturas elegidos como base de esta investigación, se han seleccionado cuatro que resultan representativos de todo el conjunto.

El criterio, en cada uno de los casos, que ha fundamentado dicha selección ha sido el siguiente:

1. *Virgen con Niño de escuela castellana*. Obra de grandes dimensiones realizada en el siglo XIV.
2. *Cristo de la Santísima Sangre de Denia*. También de grandes dimensiones pero datada a finales del siglo XVII – principios del XVIII.
Dos esculturas realizadas en periodos de la historia diferentes y con un sistema constructivo distinto.
3. *Santa María de Carlet*. Obra escultórica de finales del siglo XIV con múltiples intervenciones a lo largo de su historia. Dicha obra ya ha sido restaurada. Sirva su ejemplo para determinar cómo el análisis mediante TC resulta de suma importancia a la hora de acometer una correcta restauración.
4. *San Miguel Arcángel*. Obra escultórica realizada con un soporte diferente, en este caso un material ligero como es el cartón, aunque su estructura interna es de madera.

Las características de cada obra, junto con su estado de conservación, han determinado finalmente la selección de estas como casos principales de estudio en esta investigación.

■ 4.10.1. *Virgen con Niño de escuela castellana*

Ficha técnica

- **Autor:** Anónimo.
- **Época:** Siglo XIV.
- **Técnica y materiales:** Talla en madera policromada.
- **Dimensiones:** 130 × 60 × 41 cm.
- **Procedencia:** Se desconoce su procedencia original. Actualmente pertenece a una colección particular valenciana.

Estudio tomográfico

- **Tomógrafo:** Equipo de tomografía computarizada Siemens Somatom Definition Flash®.

- **Protocolo de estudio:** Abdomen-Pelvis 2.0 50f.
- **Imágenes tomográficas:** 1031 cortes trasversales o axiales de 2 mm de espesor.
- **Voltaje del tubo de RX:** 120 kV.

Debemos anotar que en este caso no se ha podido realizar una valoración total de la talla, ya que las medidas de anchura y profundidad de la imagen exceden la región máxima de exploración del tomógrafo.



Figura 93.
Imagen visible anverso de *Virgen con Niño de escuela castellana*.



Figura 94.
Imagen visible reverso de *Virgen con Niño de escuela castellana*.

■ 4.10.1.1. Protocolos de estudio en el análisis de la escultura

Para poder referenciar espacialmente los diferentes elementos a estudiar en la imagen de la *Virgen con Niño de escuela castellana*, hemos definido un 'punto de origen' que situamos en la superficie de la pieza escultórica (Fig. 95-96-97-98); concretamente un punto medio del frontal de la peana que nos sirve como referencia, visual y espacial, para situar los elementos que queremos analizar del interior de la imagen. El punto de origen se localiza en la imagen tomográfica A 968/1031.

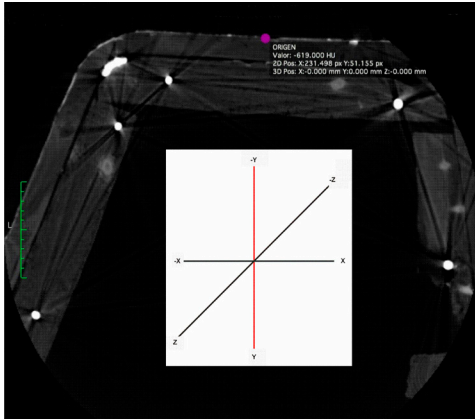


Figura 95.

A 968/1031. Corte axial en el que se observa la situación del punto de origen y el sistema de ejes cartesianos tal y como se define en TC y que va a determinar la coordenadas espaciales de los distintos ROIs de punto situados en la imagen de la *Virgen con Niño de escuela castellana*.

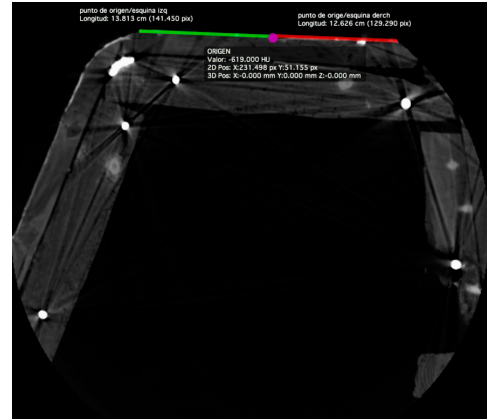


Figura 96.

A 968/1031. Corte axial en el que se sitúa el punto de origen y su posición con respecto a las esquinas de la pieza frontal de la peana.

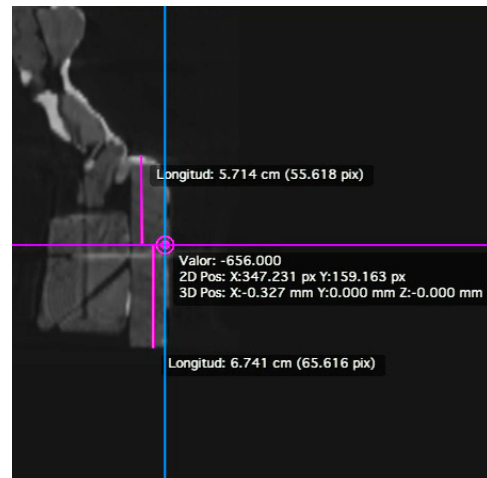
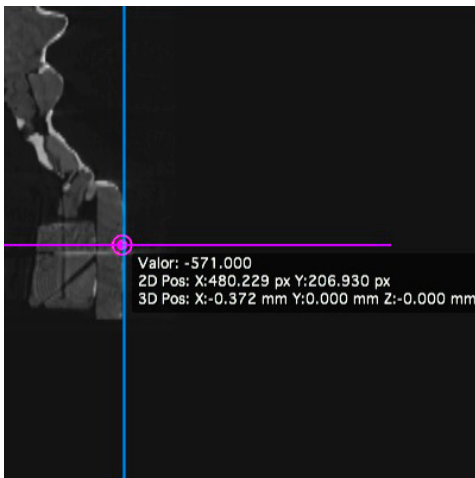


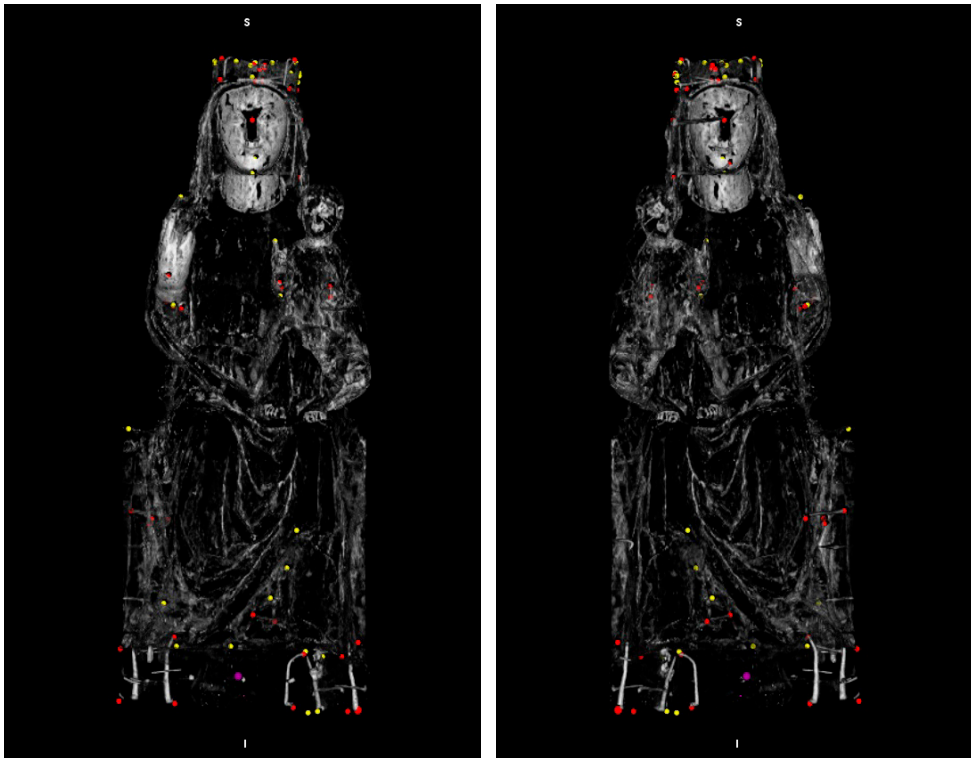
Figura 97-98.

S 198/512. Corte sagital en el que se observa la situación del punto de origen y su posición con respecto a la altura de la pieza frontal de la peana.

Para situar todos los elementos y alteraciones analizados en las imágenes tomográficas, se han ido posicionando distintos ROIs de punto en las imágenes axiales según el protocolo de estudio para la definición de elementos a analizar.

Estos puntos se sitúan a nivel de superficie de la pieza escultórica para así establecer la posición de los elementos que queremos referenciar del interior. Así, en la reconstrucción 3D podemos visualizar la totalidad de los diferentes ROIs de punto que se han determinado en el análisis de la imagen *Virgen con Niño de escuela castellana* (Fig. 99-100-101-102).

En la discusión del caso se irán localizando espacialmente los diferentes ROIs que referencian los elementos del interior de la imagen.



Anverso

Reverso

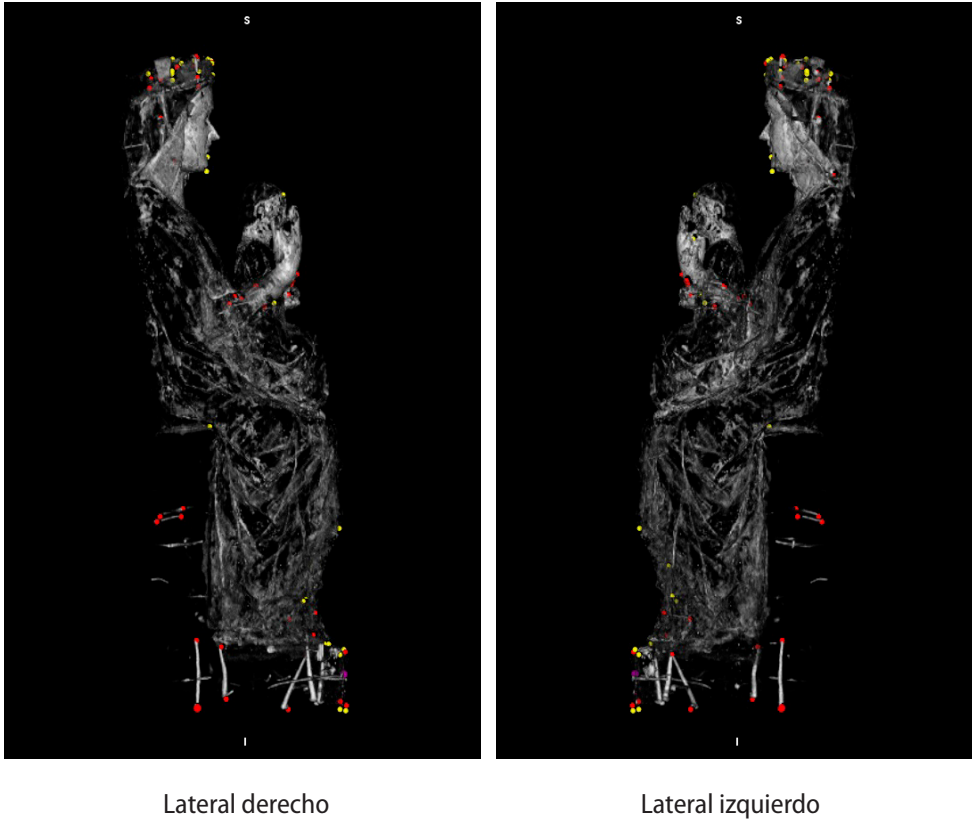


Figura 99-100-101-102.

3D *no-clut*. Reconstrucción volumétrica (3D) en la que observamos la posición de los diferentes ROIs de punto utilizados en el análisis de los elementos internos de la pieza escultórica.

■ 4.10.1.2. Estudio de la técnica de ejecución y estado de conservación

A. Soporte

Sistema constructivo

La imagen de la *Virgen y el Niño de escuela castellana* está realizada en un solo bloque de madera a partir del tronco de un árbol, de ahí que hablemos de una talla principal realizada como un solo volumen (Fig. 103-104).

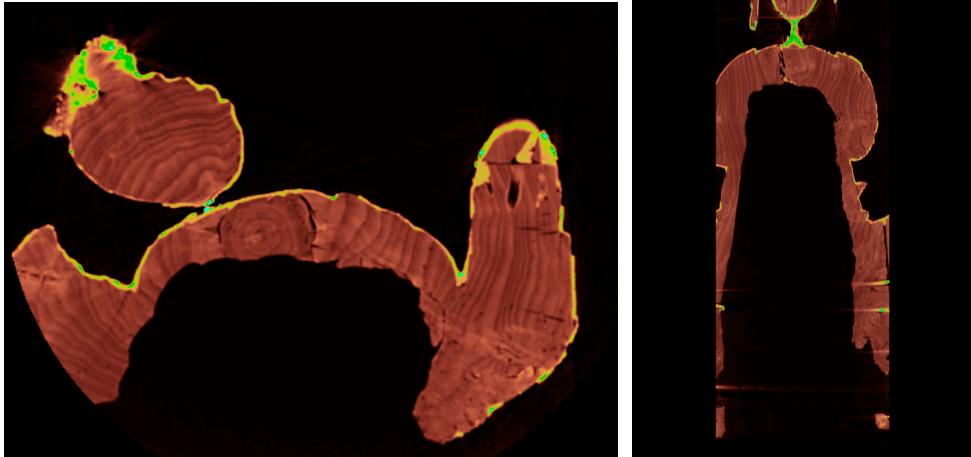


Figura 103-104.

A 406/1031 - C 387/512. Corte axial y coronal en los que se observa un único volumen de talla principal y la envergadura del vaciado de la escultura.

Esta talla ha sido ahuecada en su reverso abarcando casi la totalidad de su volumen. Las únicas partes que no han sido vaciadas son la figura del Niño y la cabeza de la Virgen. En toda la superficie de madera del propio vaciado se aprecian las incisiones cóncavas provocadas por las herramientas de tallado de la madera (Fig. 103-104).

La mano derecha de la Virgen y de la figura del Niño están ambas construidas con una madera de diferente densidad tal y como queda evidenciado en las imágenes tomográficas. Aunque no se tiene la certeza de que originariamente estos elementos pudieran haber sido construidos independientemente de la talla principal, la diferencia de densidad que presenta la madera con la que han sido realizados determina que dichas piezas no son originales.

Realizada de manera independiente a la talla principal se observa la peana, y es sobre esta donde descansa todo el volumen de la talla. Se visualiza en las imágenes tomográficas que en la construcción de esta se han realizado dos estructuras de madera diferentes:

- a) *Una interior*, en la que se han utilizado tres listones de madera, de diferente densidad a la de la talla principal, sobre los que se apoya la imagen en su parte frontal, lateral izquierdo y derecho (Fig. 105-106-107).

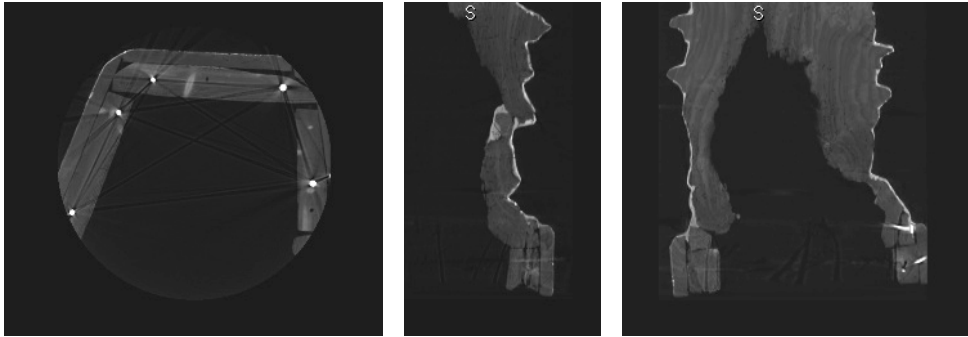


Figura 105-106-107.

A 974/1031- S 256/512- C 109/512. Corte axial, sagital y coronal de la peana en los que se visualiza el sistema constructivo.

b) *Y otra exterior*, ocultando la estructura interior de listones de madera y parte de la base de la talla de la imagen (Fig. 105-106-107). Se trata de una estructura de tres listones de madera de menor grosor que los internos y de diferente densidad que la talla principal.

En los cortes axiales, coroneles y sagitales, se han podido medir los listones de madera de las dos estructuras de la peana (Fig. 108-109-110-111 y Tabla 16 y 17). Aquellas medidas que no quedan reflejadas en las imágenes tomográficas no han podido determinarse, ya que estas sobrepasan la región máxima de exploración del tomógrafo.

Tabla 16.
Estructura interior de la peana.

	Alto (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)
Listón izquierdo	6,900	5,275	-----
Listón frontal	7,522	5,207	36,947
Listón derecho	5,142	4,930	22,363

Tabla 17.
Estructura exterior de la peana.

	Alto (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)
Listón izquierdo	9,814	2,333	-----
Listón frontal	10,966	2,345	-----
Listón derecho	9,840	-----	-----

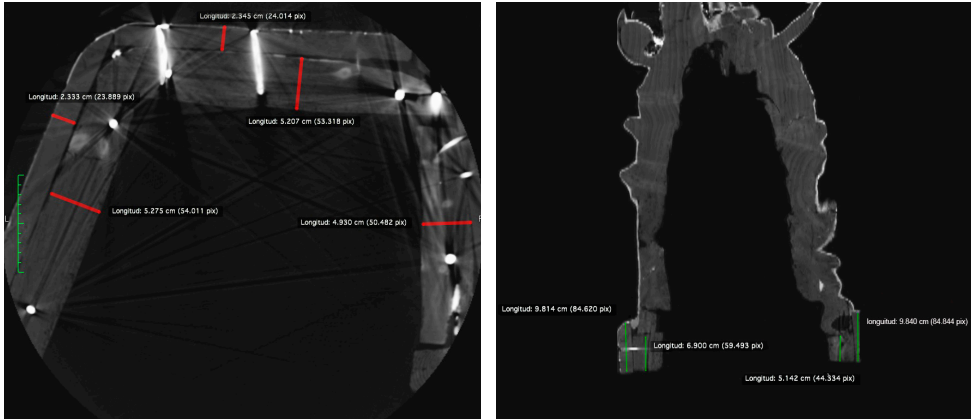


Figura 108-109.

A 975/1031- C 166 /512. Corte axial y coronal de la peana o base. Medidas.

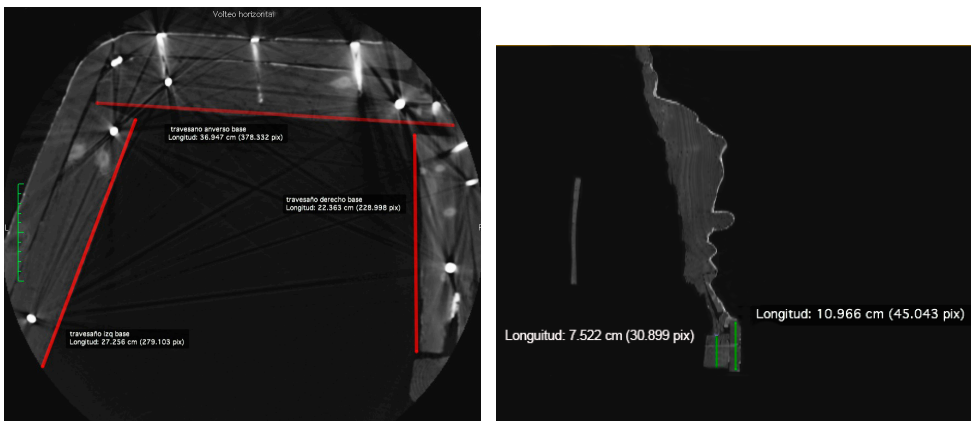


Figura 110.

A 974/1031. Corte axial. Largo de los listones de madera internos.

Figura 111.

S 109/512. Corte sagital. Altura de los listones frontales de la estructura interna y externa.

En la reconstrucción volumétrica (3D) se observan multitud de clavos de hierro forjado insertos, en horizontal y vertical, para sujetar la talla principal a la base (Fig. 112-113-114-115).

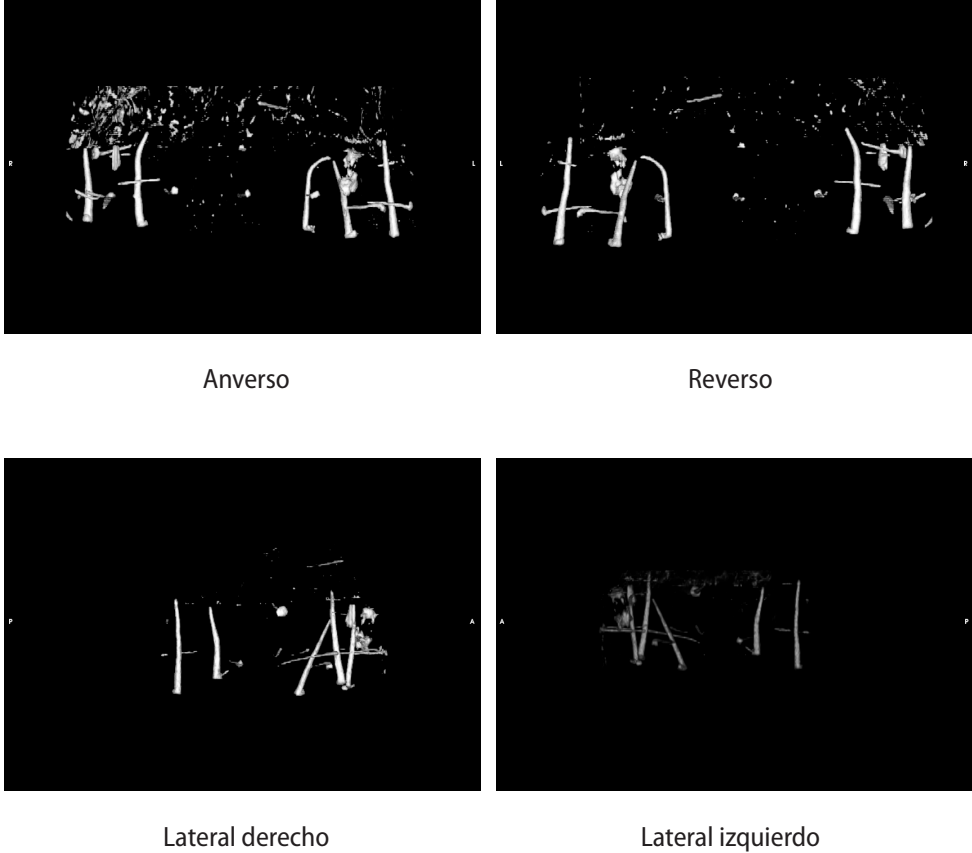


Figura 112-113-114-115.
3D *no-clut*. Reconstrucción volumétrica (3D) de los clavos de forja que se localizan en la peana.

B. Estado de conservación e intervenciones del soporte

1. Alteraciones

Grietas

Las grietas o fendas son una de las alteraciones de la madera que ocasiona importantes problemas en las esculturas realizadas con dicho soporte. A través del análisis de las imágenes tomográficas de la pieza escultórica, se han determinado grandes grietas que llegan incluso a abarcar una extensión importante en la talla: la totalidad de la cabeza de la Virgen y parte del torso (Fig. 116-117-118).

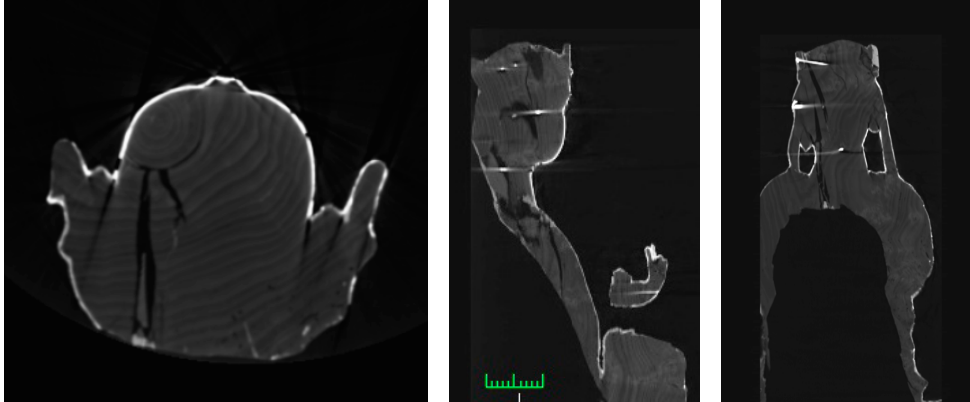


Figura 116-117-118.

A 152/1031- S 318/512 - C 424/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se observa la extensión y magnitud de las grietas de la cabeza y cuello de la Virgen.

Concretamente en la cabeza, se sitúan dos importantes grietas que hemos podido medir en su punto más amplio. La primera de estas (Fig. 119), con dos puntos de medida: 1,135 cm y 2,027 cm, y en la segunda (Fig. 120) un punto de 9,170 mm, lo que confirman el grave deterioro que sufren la cabeza y el cuello. La grieta 1 se localiza en la Fig. 122 con un punto de inicio situado en las coordenadas espaciales (113,934 mm, 399,704 mm, 1202,085 mm) y un punto final en (86,589 mm, 399,704 mm, 1120,217 mm) con una longitud de 86,03 mm. La grieta 2 se localiza también en la Fig. 122 con un punto de inicio en (112,456 mm, 399,704 mm, 1141,607 mm) y un punto final en (71,548 mm, 399,704 mm, 936,966 mm) con una longitud de 208,62 mm.

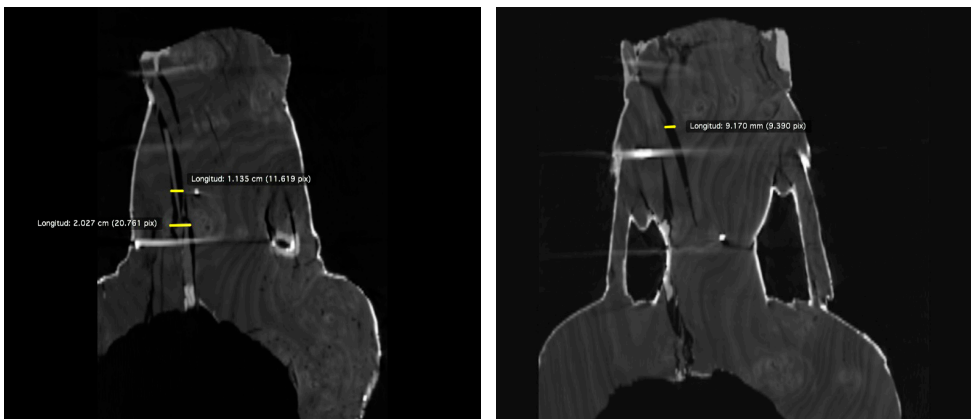


Figura 119-120.

C 460/512-C 405/512. Cortes coronales de la cabeza y cuello de la Virgen. Medidas de las diferentes grietas que se localizan en estas zonas.

Para atenuar este deterioro se embuten en las grietas pequeñas cuñas de madera de diferente densidad (Fig. 121), que se sujetan, en unos puntos localizados, a la propia talla mediante diferentes clavos metálicos (Fig. 122).

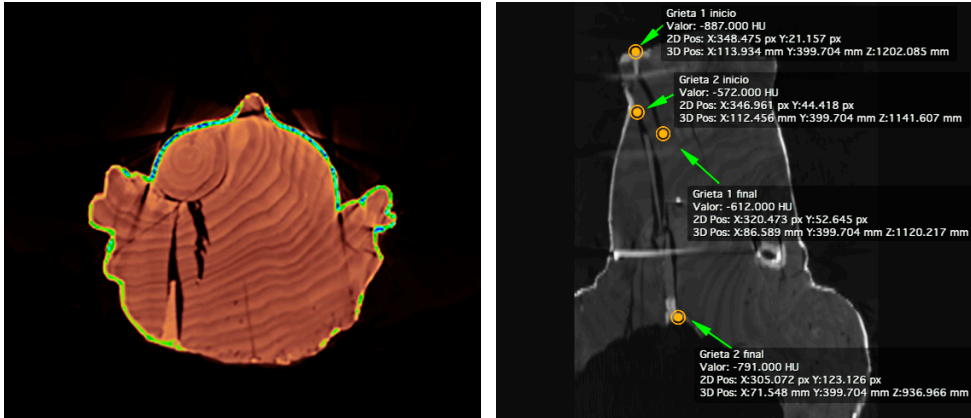
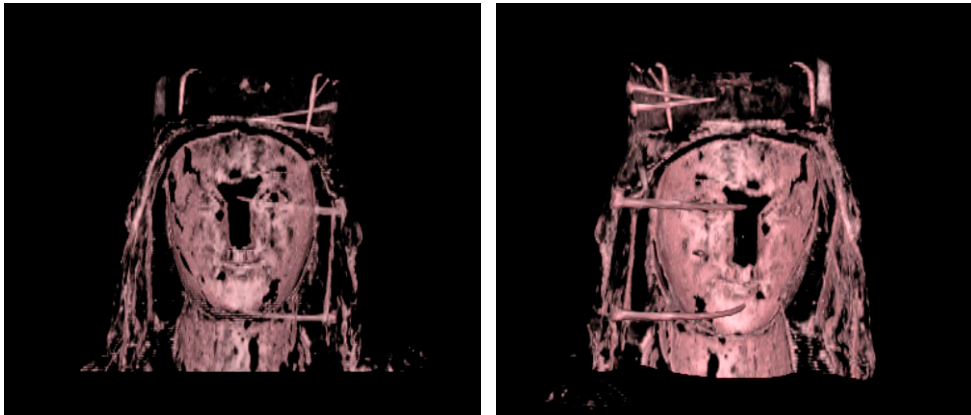


Figura 121-122.

A 130/1031- C 460/512. Corte axial y coronal en los que se observan las cuñas de madera y su sujeción mediante clavos metálicos. Y la situación espacial de las grietas.

En la reconstrucción volumétrica (3D) de la cara de la Virgen (Fig. 123-124), observamos dos importantes clavos embutidos desde el lateral izquierdo del rostro como medida de sujeción de las cuña y que a su vez refuerzan las grietas situadas en esa zona.



Anverso

Reverso

Figura 123-124.

3D *clut-endoscopy*. Reconstrucción volumétrica (3D) de la cabeza de la Virgen en la que se aprecian los clavos que se localizan en dicha zona.

Mediante la TC hemos podido estudiar con mayor profundidad estos dos clavos de gran envergadura. A través de las medidas espaciales del punto de inicio y el punto final de cada uno de ellos, se ha podido determinar su longitud y sus ángulos de inclinación (Tabla 18), que dan una idea de su orientación dentro de la escultura.

Tabla. 18.
Coordenadas espaciales y esféricas del clavo nº 1 y clavo nº 2.

	COORDENADAS ESPACIALES INICIO (mm)	COORDENADAS ESPACIALES FINAL (mm)	LONGITUD (mm)	ANGULO θ	ANGULO φ
Clavo nº 1	X: 34,848	X: 32,727	119,19	28,34°	103,24°
	Y: 393,909	Y: 338,835			
	Z: 994,5	Z: 1021,8			
Clavo nº 2	X: 142,37	X: 40,235	134,80	40,03°	98,32°
	Y: 367,464	Y: 281,682			
	Z: 1094,6	Z: 1114,1			

En la nariz de la Virgen también se aprecia una grieta (Fig. 125).

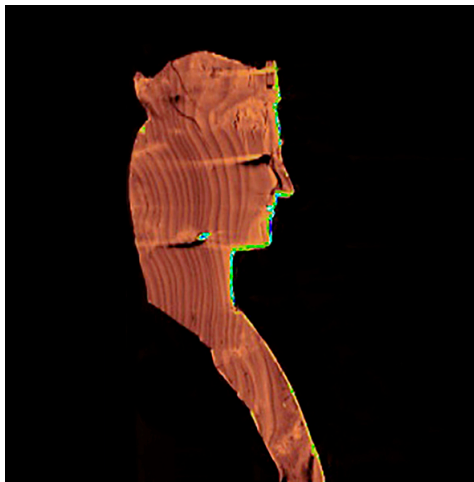


Figura 125.
S 270/512. Corte sagital de la cabeza de la Virgen en el que se observa la grieta de la nariz.

Por último, localizamos otra grieta de gran importa en el torso de la talla de la Virgen (Fig. 126-127). Esta se sitúa en la Fig. 126 con un punto de inicio (103,672 mm, 281,54 mm, 886,792 mm) y un punto final en (81,514 mm, 281,54 mm, 772,162 mm) con una longitud de 116,75 mm.

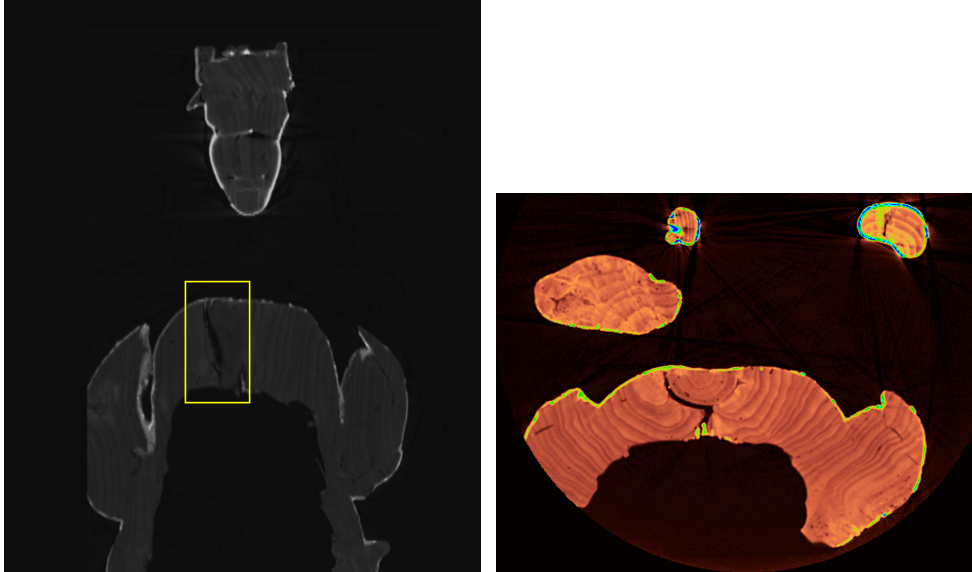


Figura 126-127.

C 339/512- A 328/1031. Corte coronal y axial del tórax de la Virgen. Localización de la grieta.

2. Ataque de insecto xilófago

En cuanto al estado de conservación del soporte nos encontramos con un importante ataque de insecto xilófago generalizado por toda la pieza escultórica. Las imágenes tomográficas revelan las zonas afectadas desde el rostro de la Virgen, haciéndose más virulento el ataque a medida que vamos avanzando hacia la peana (Fig. 128-129-130-131).

Los listones de madera de la peana también se encuentran afectados, no así la mano derecha del Niño, ni la de la Virgen.

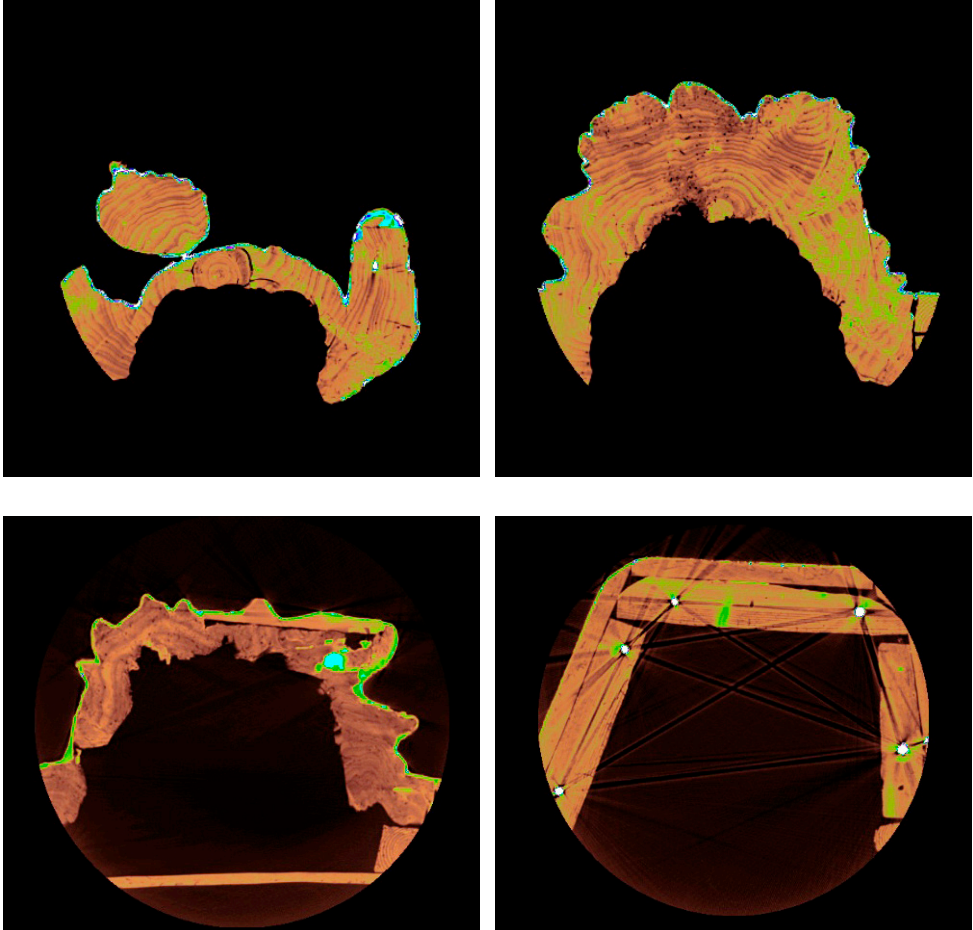


Figura 128-129-130-131.

A 410/1031- A 646/1031- A 878/1031- A 998/1031. Diferentes cortes axiales en los que se aprecia el ataque de insecto xilófago.

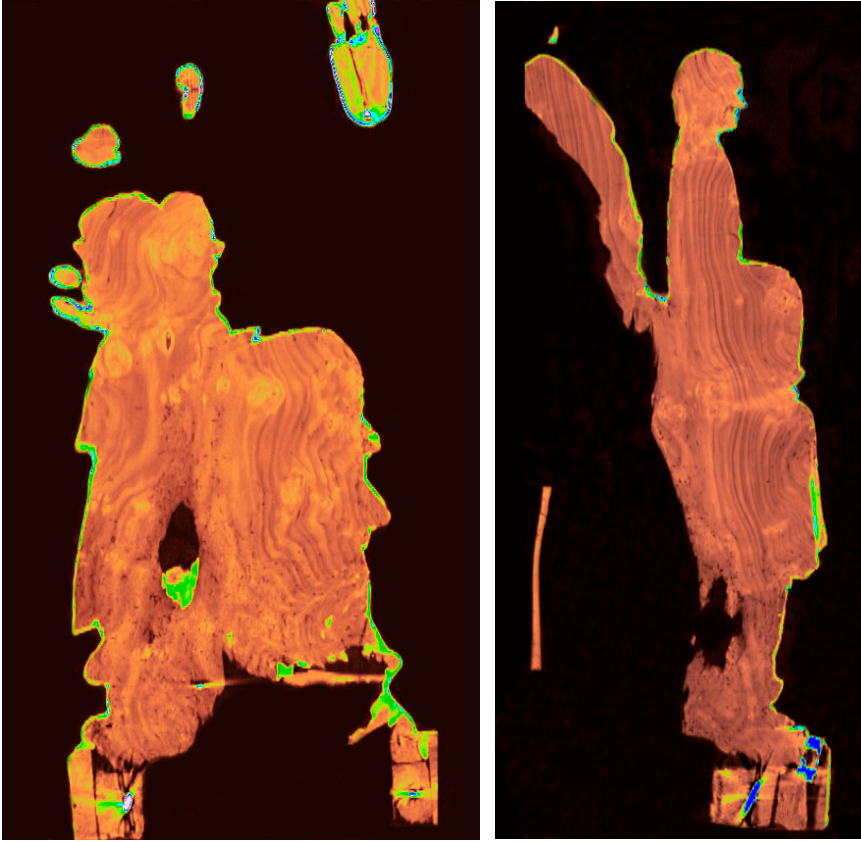


Figura 132-133.

C 155/512- S 396/512. Corte coronal y sagital en los que se observa el ataque de insecto xilófago, siendo este más virulento en la base.

3. Piezas añadidas

Existen una serie de elementos en la pieza escultórica que han sido añadidos a modo de reconstrucción de piezas originales. Entre estos elementos tenemos la mano derecha de la Virgen y del Niño. El análisis tomográfico ha determinado que ambas manos están realizadas con una madera de diferente densidad y con una disposición de los anillos de crecimiento en distinta dirección que la de la talla principal.

Como medida de sujeción de la mano del Niño a la talla principal, se visualiza un clavo inserto desde la parte frontal de esta hacia el interior del antebrazo (Fig. 134-135).

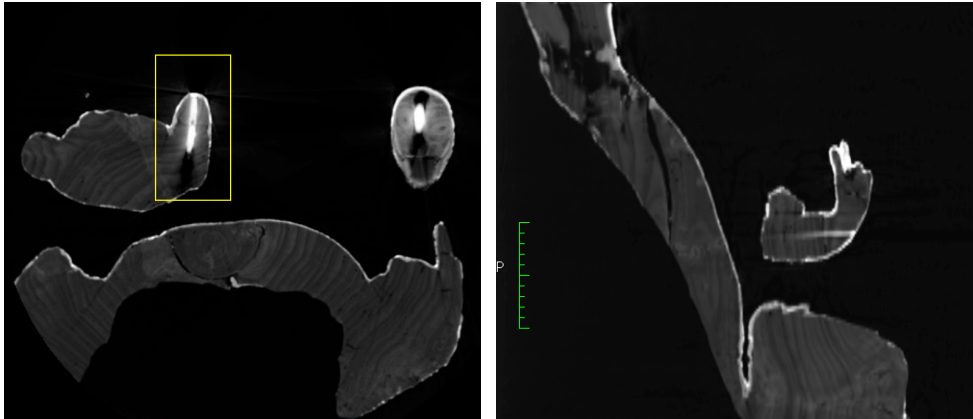


Figura 134-135.

A 368/1031- S 318/512. Corte axial y sagital en los que se observan la talla de la mano derecha del Niño con diferente densidad de madera y su sujeción mediante un clavo metálico.

Así, se observa que la mano derecha de la Virgen ha sido reconstruida a partir de la muñeca (Fig. 136-137). En la zona del antebrazo donde apoya dicha reconstrucción, se aprecia un resquebrajamiento, el cual ha sido reforzado mediante la inserción de dos clavos (Fig. 137).

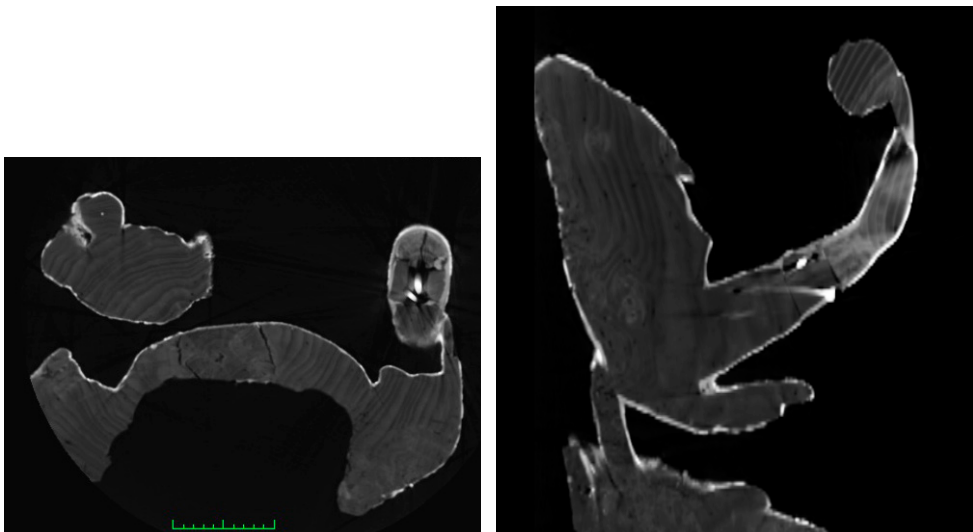


Figura 136-137.

A 386/1031 – S 124/512. Corte axial y sagital en los que se observan la talla de la mano derecha con una madera de densidad diferente a la talla de la Virgen.

Como medida de sujeción de la nueva reconstrucción de la mano a la talla principal se utiliza un clavo de hierro forjado (clavo nº 3) que se embute desde la vista frontal de la mano hacia el interior del antebrazo (Fig. 138-139).

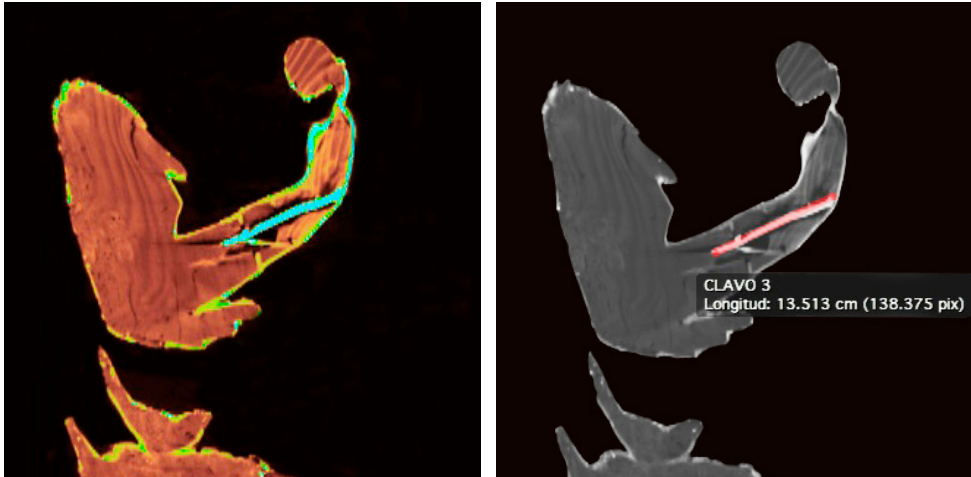


Figura 138-139.

S 105/512. Corte sagital en el que se observa la inserción del clavo nº 3.

En la medida directa de la longitud del clavo en las imágenes TC, no se tiene en cuenta la posible deformidad y orientación del clavo. Esto se subsana de cierto modo a partir de la situación espacial de dicho clavo, con lo que se puede obtener una longitud más aproximada y los ángulos de inclinación de este, determinándose así su orientación en el interior de la talla (Tabla 19).

Tabla. 19.

Coordenadas espaciales y esféricas del clavo nº 3.

	COORDENADAS ESPACIALES INICIO (mm)	COORDENADAS ESPACIALES FINAL (mm)	LONGITUD (mm)	ANGULO θ	ANGULO φ
CLAVO nº 3 MANO DERECHA	X: -135,217	X: -118,447	138,03	262,83°	66°
	Y: 95,647	Y: 228,914			
	Z: 798,2	Z: 738,4			

Las maderas con las que están realizadas la mano derecha de la Virgen y del Niño presentan características similares de densidad, por lo que podríamos decir que estas se realizaron al mismo tiempo.

Otra de los elementos que ha sido añadido es el trono o escabel sobre el que se representa la imagen sedente de la Virgen y el Niño. No se ha podido completar su análisis a través de las imágenes tomográficas, ya que las medidas de anchura de la talla exceden la región máxima de exploración del tomógrafo. Por ello, solo hemos podido visualizar en el lateral derecho parte del trono, concretamente dos piezas de madera incompletas (Fig. 140) de diferente densidad y que se sujetan a la talla principal mediante la inserción de un clavo (Fig. 141). El lateral izquierdo no se ha podido determinar.

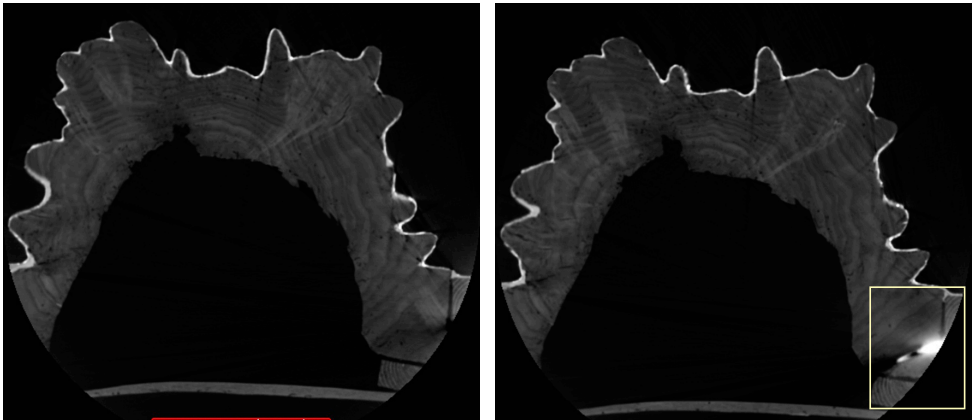


Figura 140-141.

A 710/1031- A 770/1031. Cortes axiales en los que se observan en el lateral derecho incompletas las dos piezas empleadas en la construcción del trono y uno de los clavos de sujeción de estas piezas.

En la construcción de la corona de la Virgen se observan varias piezas añadidas, concretamente tres pequeñas piezas de madera de diferente densidad a la de la talla principal (Fig. 142). Estas se sitúan dando forma al volumen de la corona, y se sujetan a la talla principal mediante clavos en disposición vertical y horizontal (Fig. 143).

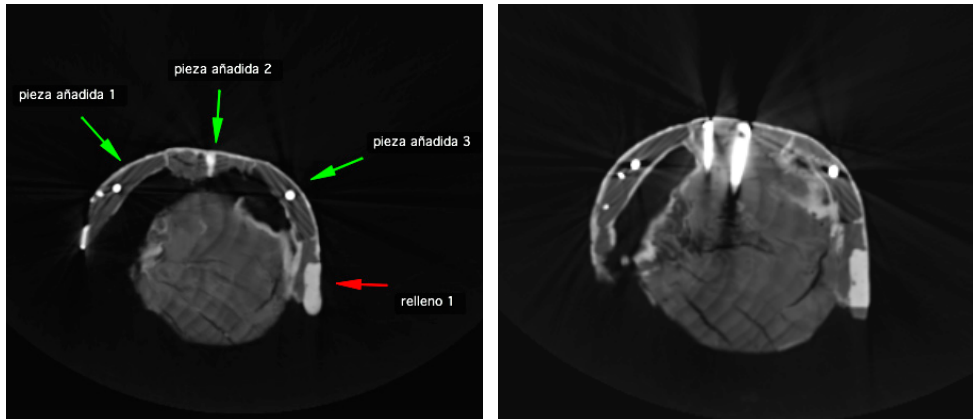


Figura 142-143.

A 28/1031- A 34/1031. Cortes axiales en los que se observan la piezas de madera añadida y la disposición de los clavos.

La TC ha permitido visualizar y situar diversas piezas añadidas a modo de injertos de madera en la construcción de la talla o de reparación de posibles deterioros.

Estas piezas se sitúan en diferentes zonas:

a) Barbilla:

A la altura de la barbilla se observa una pequeña pieza de madera (pieza nº 4) de diferente densidad y con una disposición de los anillos de crecimiento con distinta orientación a los de la talla principal (Fig. 144-145-146). La pieza tiene unas dimensiones de $3,1 \times 2,5 \times 0,9$ cm (Fig. 147-148) y se localiza en la Fig. 144 en las coordenadas espaciales (46,218 mm, 271,586 mm, 1011,4 mm).

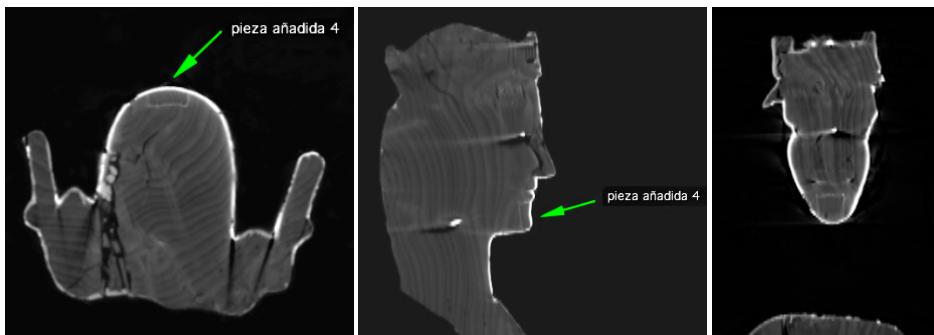


Figura 144-145-146.

A 180/1031- S 276/512- C 339/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se observa la situación de la pieza de madera añadida en la barbilla (pieza nº 4).

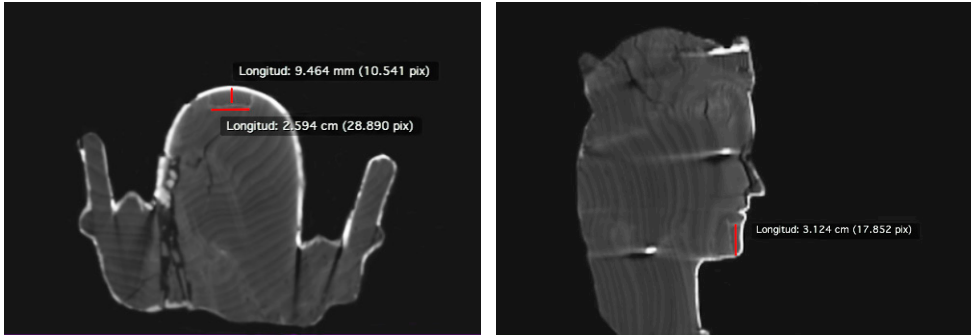


Figura 147-148.

A 180/1031- S 276/512. Corte axial y sagital en los que se sitúan las medidas de la pieza nº 4.

Alrededor de la pieza se visualiza una línea blanquecina que posiblemente corresponda a la aplicación de un adhesivo en la unión de esta a la talla principal.

Siguiendo con el análisis de la talla, hacia su parte inferior se aprecian otras piezas de madera añadidas.

b) Pliegues del manto de la Virgen:

Las imágenes de los cortes sagital y coronal (Fig.149-150) revelan, a una altura media de los pliegues del manto, dos piezas de madera (pieza nº 5 y 6) de diferente densidad que la madera de la talla principal y con los anillos de crecimiento en distinta orientación. La pieza nº 5 se localiza en las coordenadas espaciales (113,959 mm, 70,794 mm, 275,153 mm) y la nº 6 en (113,959 mm, 87,33 mm, 238,946 mm) (Fig.149).

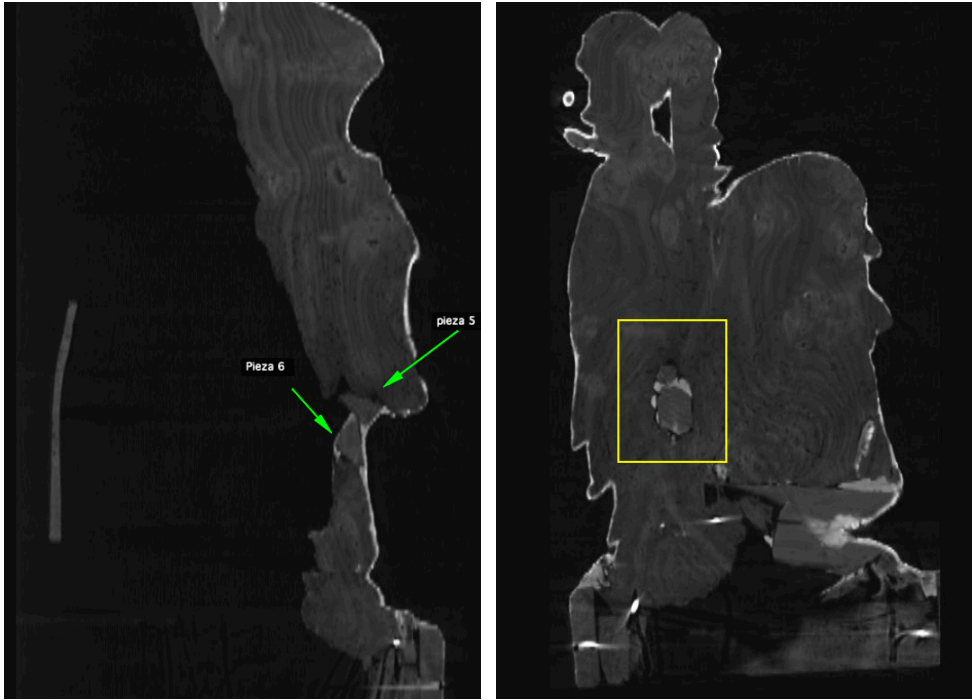


Figura 149-150.

S 347/ 512- C 137/512. Corte sagital y coronal en los que se observan las dos piezas de madera añadidas.

En las imágenes tomográficas (Fig. 151-152), se ha podido determinar la medida de dichas piezas. Estas quedan especificadas en la tabla 20.

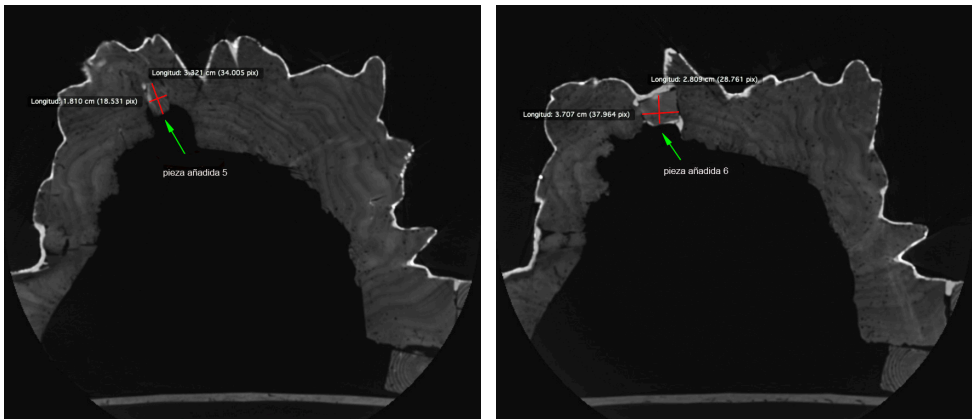


Figura 151-152.

A 376/1031- A 391/ 512. Cortes axiales en los que se observa la situación y medidas de las piezas nº 5 y 6 en los pliegues del manto de la Virgen.

Tabla. 20.
Medidas piezas nº 5 y 6.

	Ancho (cm)	Largo (cm)
Pieza nº 5	3,321	1,810
Pieza nº 6	3,707	2,809

Casi a la altura de los pies de la Virgen, concretamente en la talla de los pliegues derechos del manto, se sitúa otra pieza (pieza nº 7), también con diferente densidad a la madera de la talla principal y con una disposición de los anillos de crecimiento con distinta orientación a los de la talla principal. Dicha pieza se localiza en la Fig. 153 en las coordenadas espaciales (-71,769 mm, 73,603 mm, 145,600 mm). Se observa que dicha pieza ha sido adaptada, con un corte muy definido, a la talla principal para subsanar un posible deterioro de dicha zona (Fig. 153). Una de las posibles causas de este deterioro puede haber sido el importante ataque de insecto xilófago que presenta la imagen en esa zona. Esta nueva pieza de madera se sujeta mediante diferentes clavos (Fig. 154).

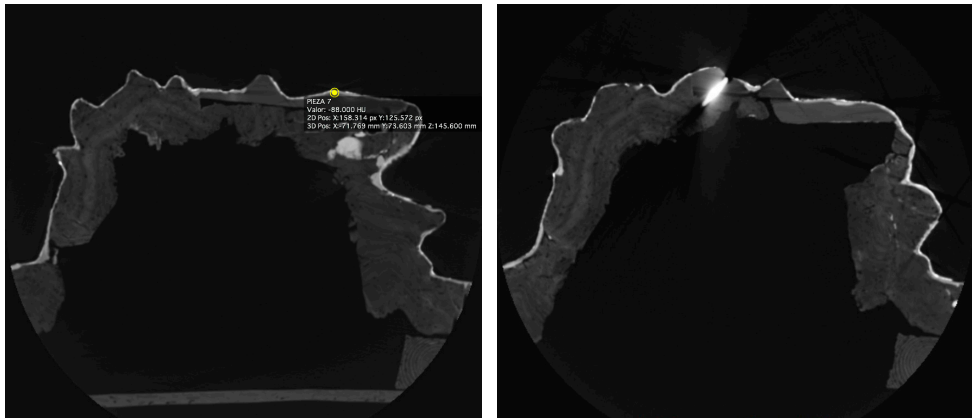


Figura 153-154.

A 856/1031- A 878/1031. Cortes axiales en los que se observa la situación de la pieza nº 7 de madera añadida en los pliegues del manto y la sujeción de esta mediante clavos.

c) Base o peana:

En los laterales de la peana hemos podido observar otras dos piezas de madera (piezas nº 8 y 9), añadidas posiblemente para adecuar la base de la talla a los dos vástagos de madera laterales sobre los que descansa la talla principal (Fig. 155-156-157). La pieza nº 8 se localiza en las coordenadas espaciales (197,566 mm, 169,129 mm, 28,6 mm) y la nº 9 en (-176,831 mm, 130,358 mm, 28,6 mm) (Fig. 155).

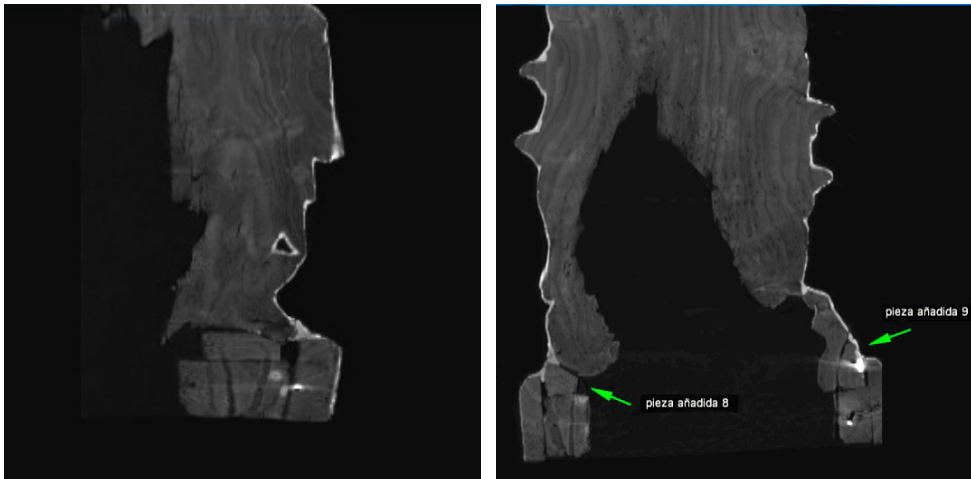
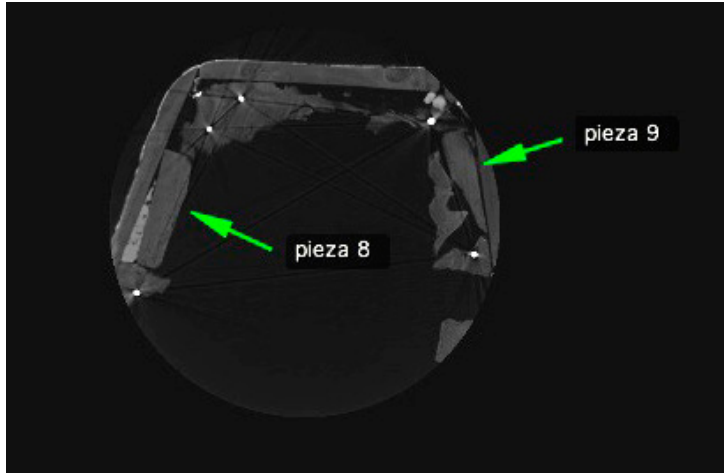


Figura 155-156-157.

A 946/1031-S 430/512-C 195/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se visualizan las piezas n^o 8 y 9.

4. Elementos metálicos

Las imágenes tomográficas en sus diferentes cortes y mediante la reconstrucción volumétrica (3D) desvelan la existencia de multitud de clavos, alguno de ellos utilizados en la construcción del soporte y otros como refuerzo de intervenciones posteriores a la ejecución de la talla (Fig. 158-159-160-161).

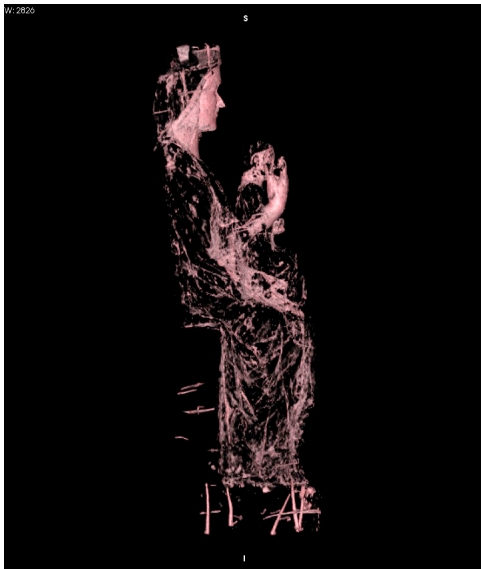
La definición y análisis de estos elementos a través de la TC ha determinado que se tratan de clavos, de diferentes dimensiones y con cierta deformidad. Aparentemente evidencian buen estado de conservación, ya que no se observa ninguno con rotura, pero no podemos asegurar si presentan oxidación.



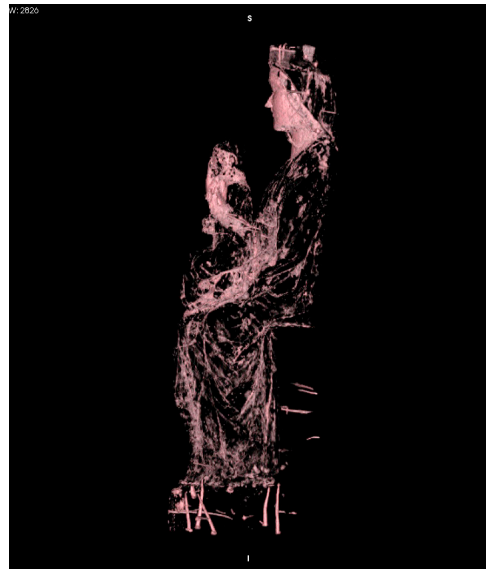
Anverso



Reverso



Lateral derecho



Lateral izquierdo

Figura 158-159-160-161.
3D *clut-endoscopy*. Reconstrucción volumétrica (3D)
en la que se visualizan todos los clavos.

5. Rellenos de faltantes

A través del estudio tomográfico se ha podido determinar que, en la reparación de grietas, pequeñas pérdidas de soporte o como refuerzo de una oquedad, se han utilizado diferentes tipos de rellenos.

Las imágenes tomográficas de distintas zonas de la pieza escultórica nos han situado y definido dichos materiales de relleno.

a) Rellenos con algún tipo de estuco:

En la zona del cuello y pecho se visualizan grietas y oquedades que han sido reparadas con algún tipo de estuco. En algunas ocasiones, debido al tamaño de estas, el relleno se ha realizado a nivel de superficie sin llegar a la totalidad de la envergadura de la grieta u oquedad (Fig. 162-163).

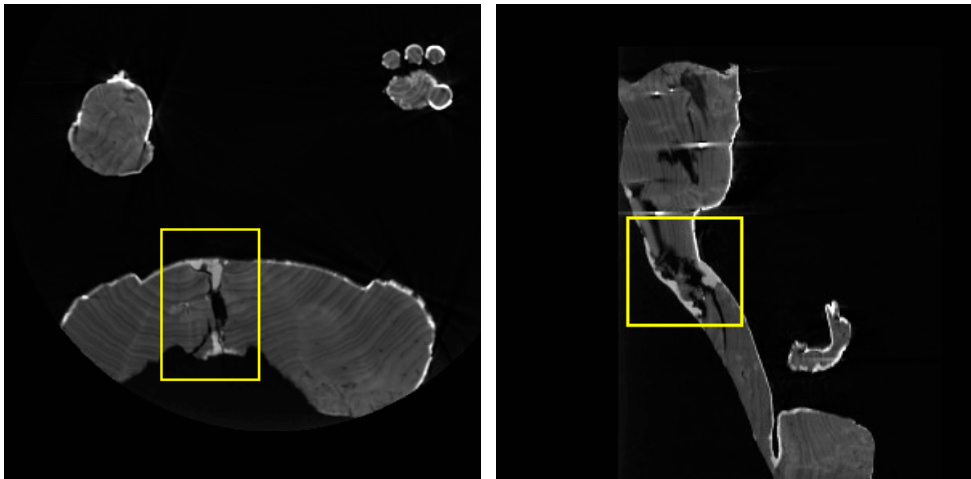


Figura 162-163.

A 276/1031- S 311/512. Corte axial y sagital en los que se observa el material de relleno utilizado en la gran fisura que recorre la talla de la Virgen desde la base de la cabeza hasta el pecho.

En la cabeza, concretamente en lateral derecho de la talla que da forma a la corona de la Virgen, se aprecia un pequeño faltante de soporte perfectamente definido que ha sido reparado con algún tipo de estuco (Fig. 164-165).

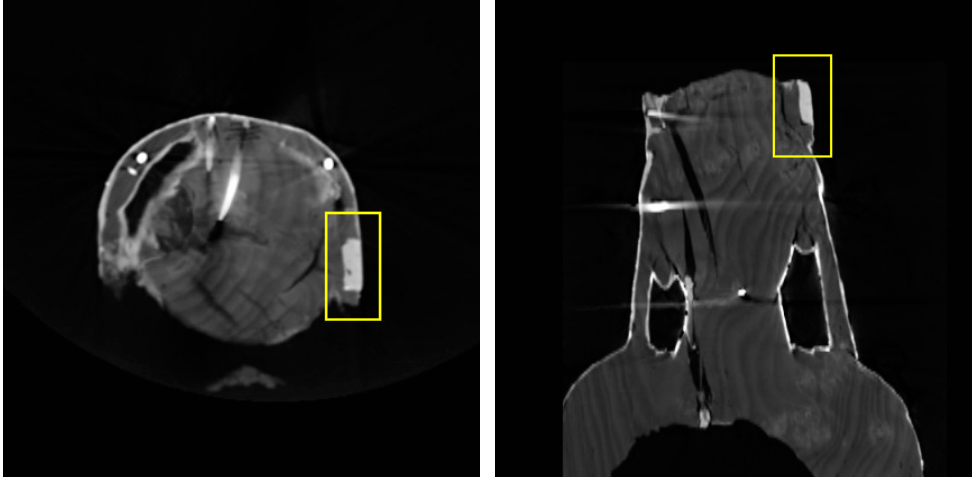


Figura 164-165.

A 48/1031- C 408/512. Corte axial y coronal en los que se observa la situación y espesor del material de relleno.

Siguiendo con el resto de la pieza escultórica, se observan otros rellenos para corregir volúmenes (Fig. 166-167).

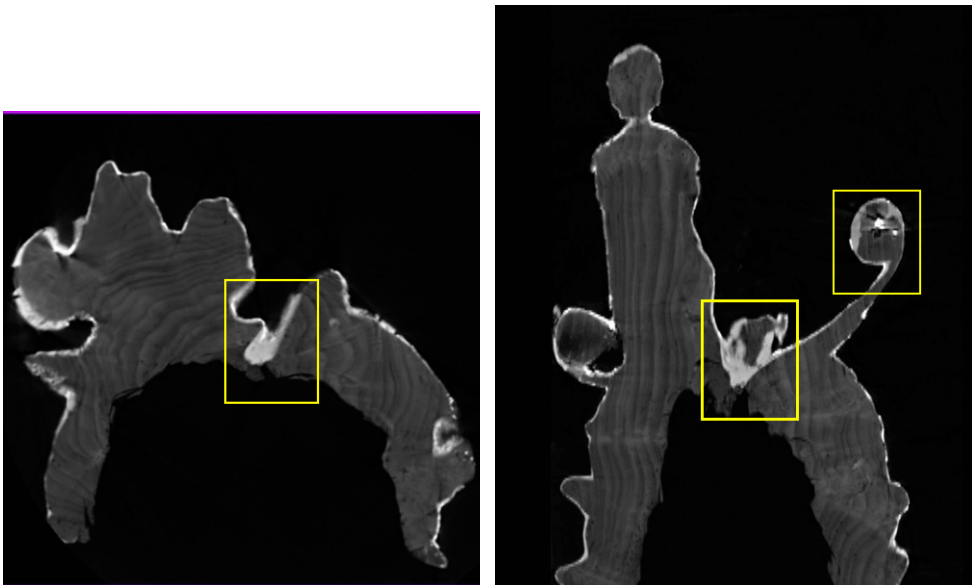


Figura 166-167.

A 534/1031- C 255/512. Corte axial y coronal en los que se observa el espesor del material de relleno de quequedades o fisuras.

Algunos se aplican a modo de nivelado y sustento de alguna de las piezas de madera añadidas a la talla para rellenar un faltante u oquedad (Fig. 168-169).

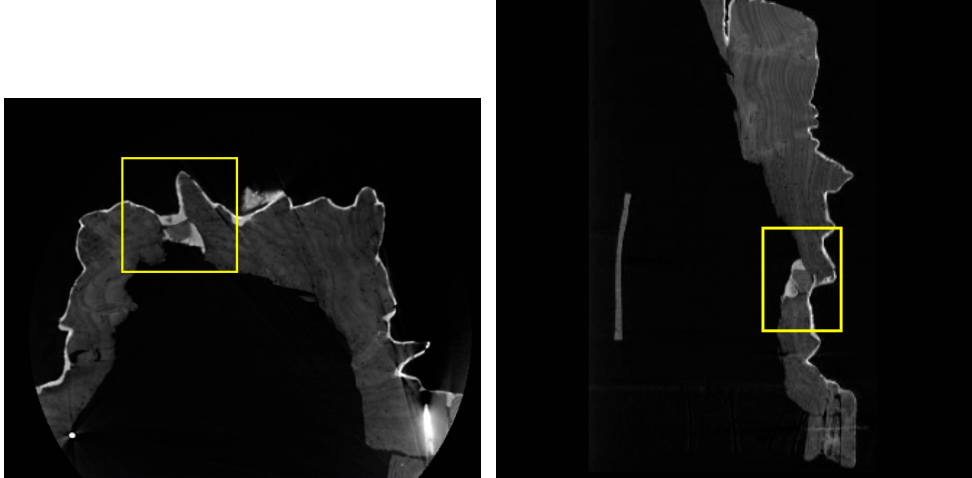


Figura 168-169.

A 696/1031- S 321/512. Corte axial y sagital en los que se observa la situación de la pieza de madera añadida y el material de relleno.

b) Rellenos con resina epoxídica:

En la zona de intersección de la base de la pieza escultórica con la peana, se observa una zona de relleno de diferente densidad a las realizadas con estuco; el material empleado se ha identificado como una resina epoxídica. Tal y como se observa en las imágenes tomográficas, esta recubre en gran medida dicha zona (Fig. 170).

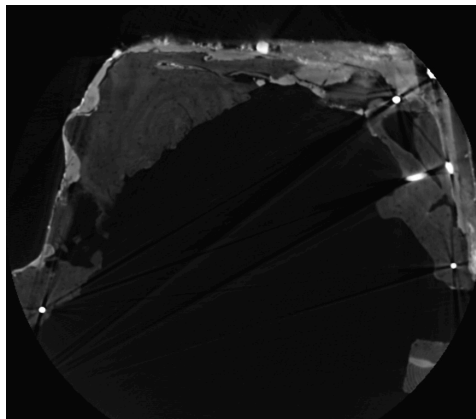


Figura 170.

A 936/1031. Corte axial en el que se observan los rellenos en la zona de la base de la imagen realizados con resina epoxídica.

C. Policromía

Aunque no es posible mediante TC diferenciar los distintos estratos que presenta una policromía, debido a la poca resolución de las imágenes tomográficas, existen ocasiones, aunque de forma muy limitada, en las que estas sí nos aportan cierta información. Este es el caso cuando se han utilizado pigmentos como el albayalde o el bermellón, en cuya composición se dan elementos pesados como el plomo y el mercurio⁵⁷. Debido a la alta densidad y peso molecular de estos pigmentos, resultan fácilmente detectables en las imágenes tomográficas, dando como resultado una gran diferencia entre la policromía, el soporte y la preparación.

En el caso de estudio que nos ocupa, las imágenes tomográficas evidencian una diferencia de densidad en las zonas de carnaciones. El análisis de materiales de varias micromuestras tomadas de las carnaciones del rostro de la Virgen (Fig. 172) y la mano izquierda del Niño (Fig. 171) confirman que en su estructura existe albayalde y bermellón.

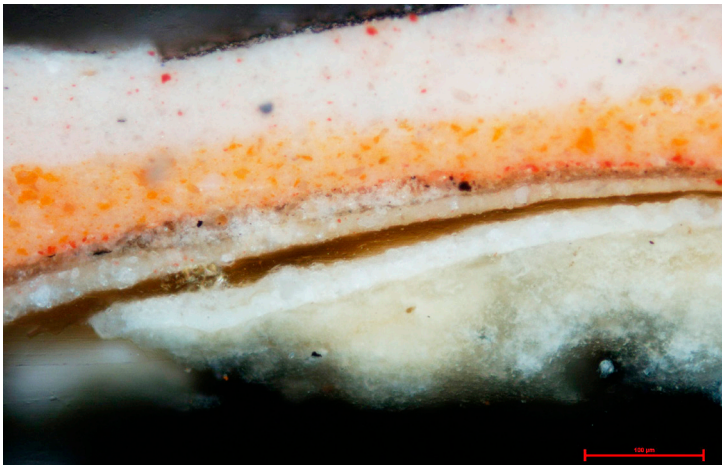


Figura 171.

Sección estratigráfica de micromuestra de la mano izquierda del Niño analizada mediante microscopía óptica con luz visible, 20x. Enumeración de los diferentes estratos: 1. Preparación a base de yeso y cola animal. 2. Policromía blanca de albayalde. 3. Barniz. 4. Policromía de tonalidad rosada a base de albayalde y un poco de bermellón. 5. Barniz que se entremezcla con yeso y un poco de negro vegetal. 6. Fino estrato de policromía de tonalidad rojiza a base de bermellón y un poco de albayalde. 7. Policromía de tonalidad rosada-anaranjado a base de albayalde y minio. 8. Policromía de tonalidad rosada a base de albayalde y un poco de pigmento ocre.

⁵⁷ Juanes, D.; Juárez, P. "Aplicaciones de los estudios TC a la recuperación de la talla original y la antigua policromía de la Virgen de las Batallas". En, *La Ciencia y el arte III. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio*, (Madrid: Ministerio de Cultura. Secretaría General Técnica. Subdirección General de Publicaciones, Información y Documentación, 2011), p. 244.

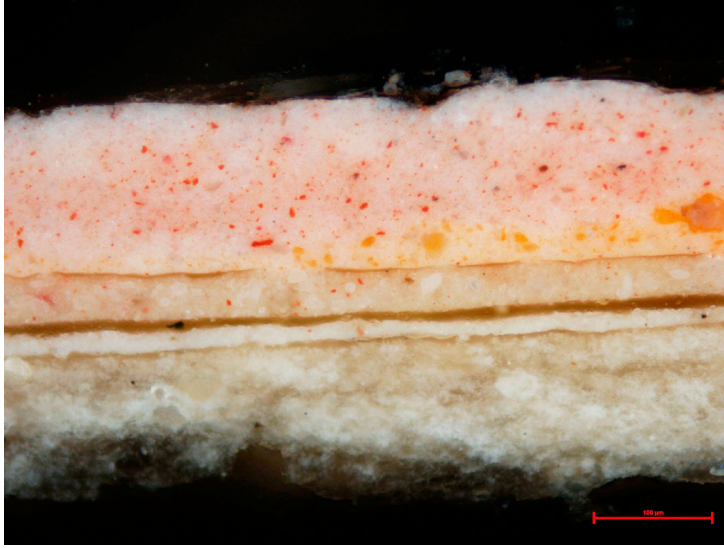


Figura 172.

Sección estratigráfica de micromuestra de la mejilla izquierda de la Virgen analizada mediante microscopía óptica con luz visible, 20x. Enumeración de los diferentes estratos: 1. Preparación a base de yeso y cola animal. 2. Capa aislante de cola animal. 3. Policromía blanca de albayalde. 4. Barniz. 5. Policromía de tonalidad rosada a base de albayalde y un poco de bermellón. 6. Barniz. 7. Policromía de tonalidad rosada-anaranjada a base de albayalde y minio. 8. Policromía de tonalidad rosada a base de albayalde y un poco de pigmento ocre.

Esto nos ratifica la diferencia de densidades que quedan reflejadas en las imágenes tomográficas de aquellas zonas de la pieza escultórica donde se ha utilizado el blanco de plomo (Fig. 173-174).

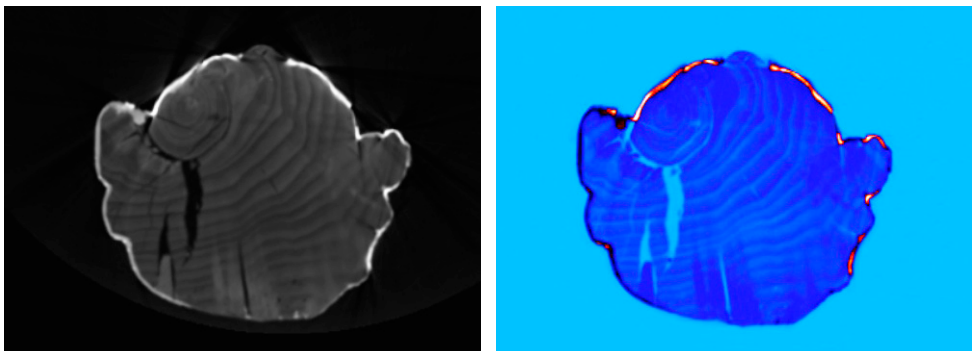


Figura 173-174.

A 108/1031 *no-clut* y A 108/1031 *Clut-flow*. Corte axial con diferentes *cluts* en los que se observa la diferencia de densidad.



Figura 175.

3D *Clut-hotmetal*. Reconstrucción volumétrica (3D) en las que observamos una mayor densidad en las carnaciones.

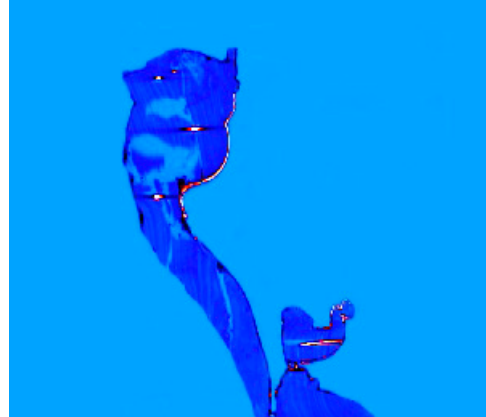


Figura 176.

S 329/512 *Clut-flow*. Corte sagital en el que observamos la diferencia de densidades y la similitud de la policromía con blanco de plomo y los elementos metálicos.

En la reconstrucción volumétrica (3D) se visualiza con mayor densidad la policromía de las carnaciones en cuya composición hay blanco de plomo (Fig.175).

Se observa en la superficie de la estructura interior de la peana, concretamente en el listón frontal, una pequeña línea de estrato que podría definirse como restos de una policromía o de un de estrato de preparación (Fig. 177-178). No se observa nada en los listones laterales.

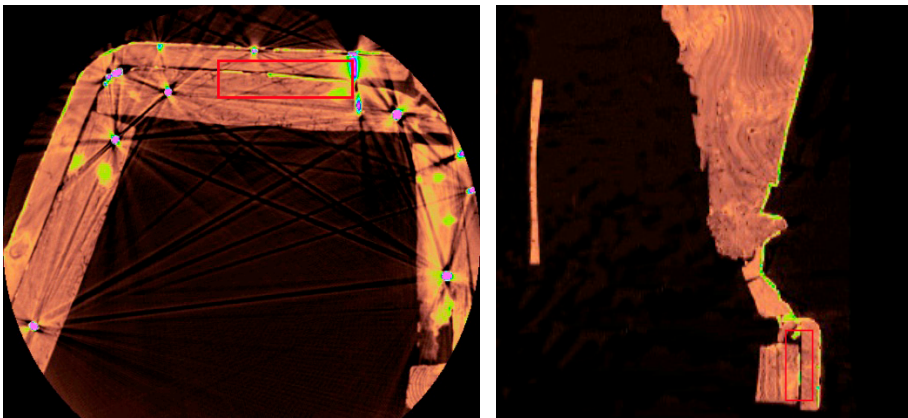


Figura 177-178.

A 972/1031- S 193/512. Corte axial y sagital en los que se observa un estrato de policromía o de preparación en la superficie de la estructura interior de la peana.

■ 4.10.2. *Cristo de la Santísima Sangre de Denia*

Ficha técnica

- **Autor:** Anónimo.
- **Época:** Finales del siglo XVII principios del XVIII.
- **Técnica y materiales:** Talla en madera policromada.
- **Dimensiones:** 163 x 43 x 31 cm.
- **Procedencia:** Monasterio de Nuestra Señora de Loreto y Santísima Sangre. Denia (Alicante).

Protocolos de estudio

- **Tomógrafo:** Equipo de tomografía computarizada Siemens Somatom Definition Flash[®].
- **Protocolo de estudio:** Abdomen-Pelvis 2.0 50f.
- **Imágenes tomográficas:** Un total de 1312 cortes transversales o axiales de 2 mm de espesor.
- **Voltaje del tubo de RX:** 80 kV.



Figura 179-180.
Imagen visible, anverso y reverso, del *Cristo de la Santísima Sangre de Denia*.

4.10.2.1. Protocolos de estudio en el análisis de la escultura

Para poder referenciar espacialmente los diferentes elementos que queremos estudiar en la imagen del *Cristo de la Santísima Sangre de Denia*, hemos calculado un 'punto de origen' que situamos en la superficie de la escultura, concretamente en un punto medio de la muñeca del brazo derecho, que nos sirve como referencia, visual y espacial, para situar los elementos que queremos analizar del interior de la pieza escultórica. El 'punto de origen' se localiza en la imagen tomográfica A 573/1312 (Fig. 181).

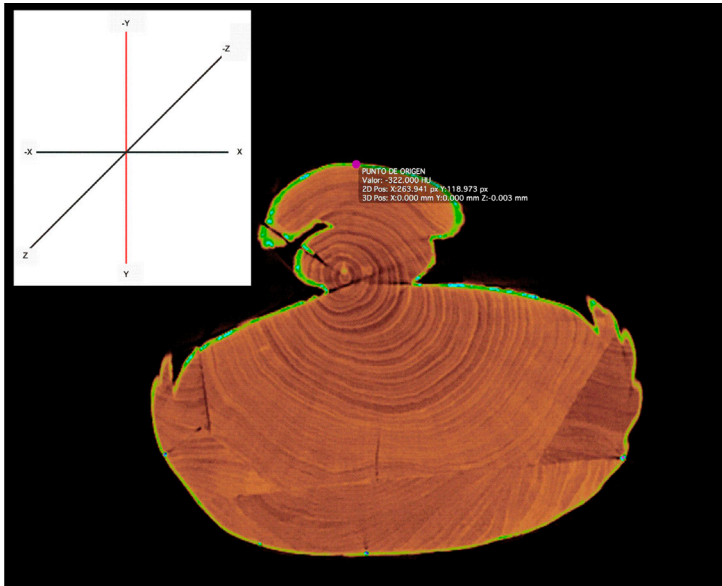


Figura 181.

A 573/1312. Corte axial en el que se localiza el punto de origen y el sistema de ejes cartesianos tal y como se define en TC y que va a determinar la coordenadas espaciales de los distintos ROIs de punto situados en la imagen del *Cristo de la Santísima Sangre de Denia*.

Para situar todos los elementos y alteraciones analizados en las imágenes tomográficas, se han ido posicionando distintos ROIs de punto en las imágenes axiales según el protocolo de estudio para la definición de elementos a analizar.

Estos puntos se han situado a nivel de superficie de la escultura para así establecer la posición de los elementos que queremos referenciar del interior de la imagen. Mediante la reconstrucción volumétrica (3D), podemos visualizar la totalidad de los diferentes ROIs de punto que se han determinado en el análisis de la imagen del *Cristo de la Santísima Sangre de Denia* (Fig.182-183-184-185).

En la discusión del caso se irán localizando espacialmente los diferentes ROIs que referencian los elementos del interior de la imagen.



Figura 182-183.

3D *clut-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D), anverso y lateral derecho, en las que observamos la posición de los diferentes ROIs de punto utilizados en el análisis de los elementos internos de la pieza escultórica.



Figura 184-185.

3D *clut-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D), reverso y lateral izquierdo, en las que observamos la posición de los diferentes ROIs de punto utilizados en el análisis de los elementos internos de la pieza escultórica.

■ 4.10.2.2. Estudio de la técnica de ejecución y estado de conservación

A. Soporte

Sistema constructivo

La imagen del *Cristo de la Santísima Sangre de Denia* está realizada mediante la unión de varias piezas de madera. Como pieza principal tenemos un bloque de madera central realizado a partir del tronco de un árbol, al que se le van uniendo una serie de piezas de madera para configurar así el volumen donde finalmente se tallará la imagen.

Analizadas las imágenes tomográficas, podemos definir un bloque principal (pieza nº 1) al que se le añaden cuatro piezas de madera (piezas nº 2, 3, 4 y 5) según la necesidad de dar mayor o menor volumen a la talla, y dos piezas para la construcción de parte de los pies (pieza nº 6 y 7).

A través del estudio tomográfico, hemos analizado diferentes puntos de la talla en los que visualizamos la situación y morfología de las diferentes piezas de madera.

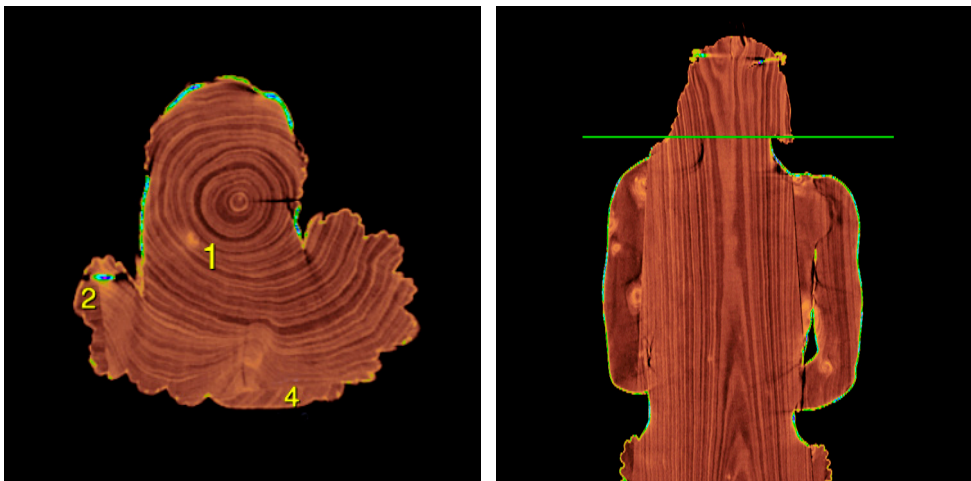


Figura 186-187.

A 194/1312 – C 255/512

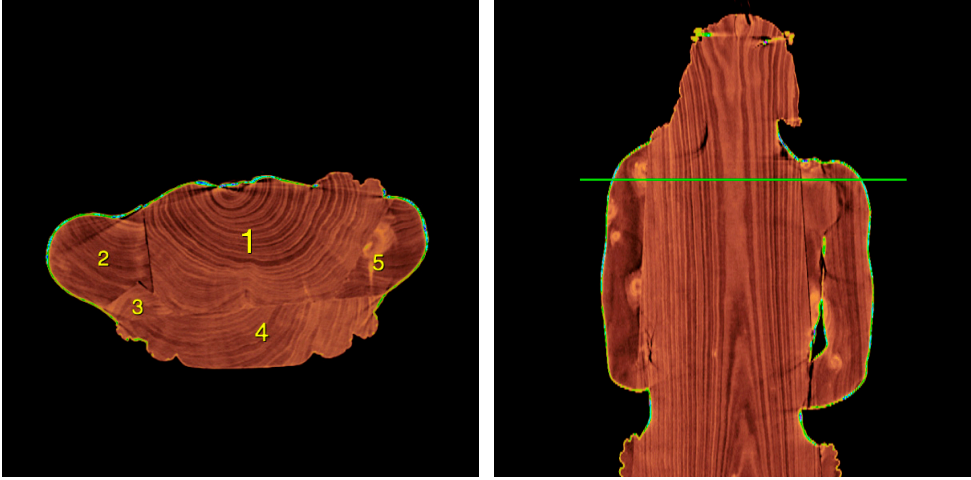


Figura 188-189.
A 264/1312- C 255/512.

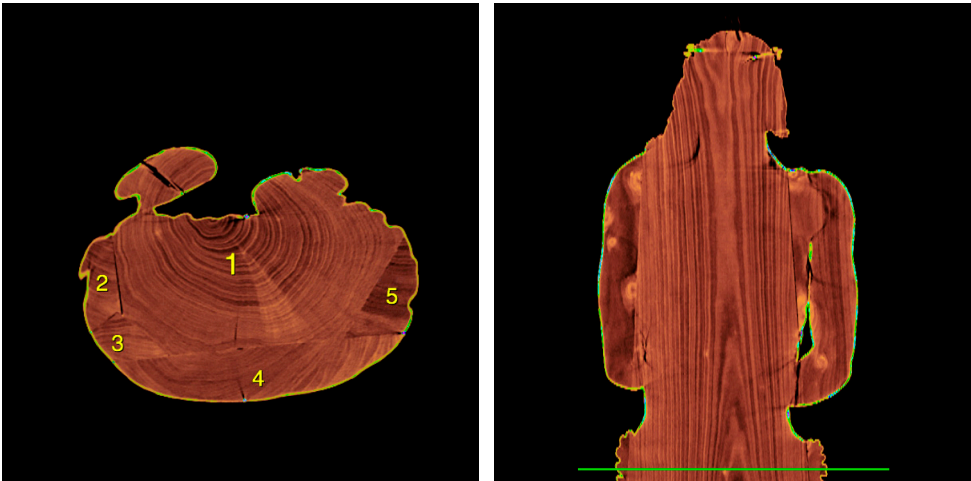


Figura 190-191.
A 612/1312- C 255/512.

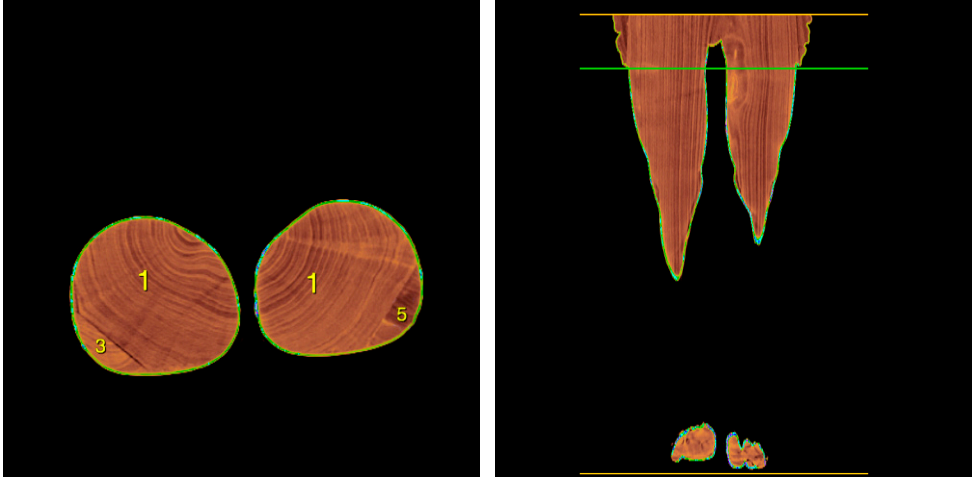


Figura 192-193.
A 720/1312- C 255/512.

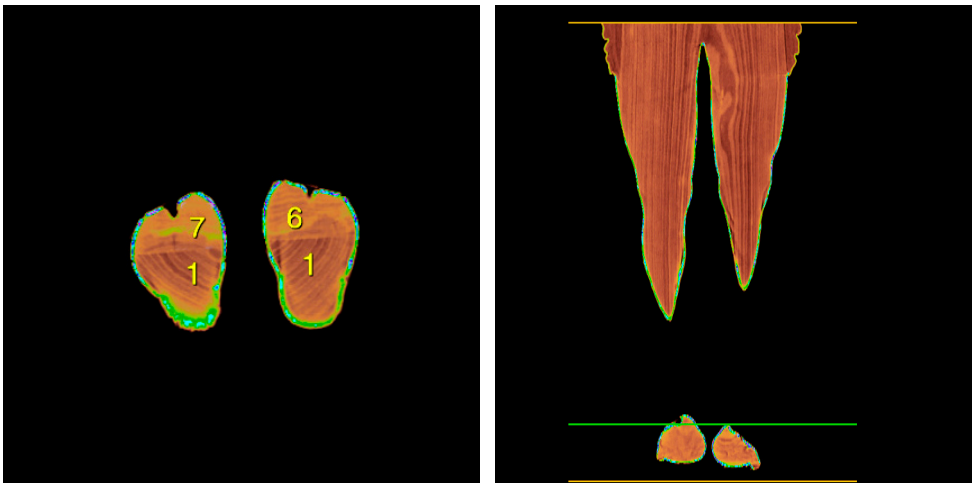


Figura 194-195.
A 1290/1312-C 255/512.

Se ha determinado un punto medio en la imagen del Cristo (A 306/1312 y A 1290/1312) en el que se han medido las áreas de las diferentes piezas. De esta manera obtenemos un promedio del volumen de las piezas utilizadas en la construcción del volumen de la talla (Fig. 196-197 y Tabla 21).

Tabla. 21.
Áreas de las piezas utilizadas en la construcción de la talla.

	Pieza nº 1 (cm ²)	Pieza nº 2 (cm ²)	Pieza nº 3 (cm ²)	Pieza nº 4 (cm ²)	Pieza nº 5 (cm ²)	Pieza nº 6 (cm ²)	Pieza nº 7 (cm ²)
A 306/1312	298,645	88,870	16,846	126,169	57,907	-----	-----
A 1290/1312	26,875 30,082	-----	-----	-----	-----	17,508	16,610

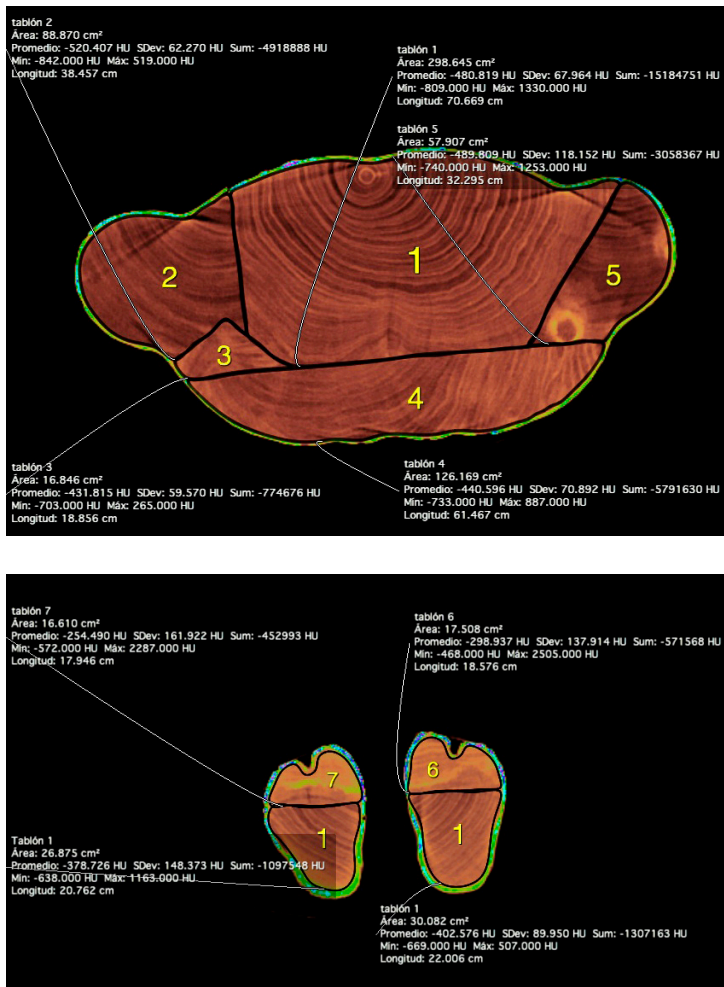


Figura 196-197.

A 306/1312- A 1232/1312. Cortes axiales en los que se ha medido el área de las diferentes piezas de madera utilizadas en la construcción de la imagen.

Todas las piezas que se han utilizado en la construcción del soporte presentan una misma tipología, por lo que se demuestra que las maderas utilizadas tienen la misma densidad, sin haberse podido definir la especie, ya que la TC solo permite una primera aproximación, en cuanto que puede distinguir características que sean muy visibles, pero su escasa resolución impide leer las características anatómicas marcadas por su estructura celular, como son la presencia de vasos y canales, la porosidad y su tipo de agrupación o difusión, la presencia y forma de parénquima, y muchos otros elementos que nos ayudan a identificar la especie de forma macroscópica.

El sistema constructivo de la talla, como ya hemos señalado anteriormente, se realiza mediante la unión de varios tablones de madera. Según el análisis tomográfico, se ha podido determinar que, para la unión de los tablones entre sí, debe haberse utilizado algún tipo de adhesivo, ya que no se observan ni clavos ni espigas en la sujeción de los mismos. Solo encontramos tres clavos en puntos concretos de la talla, uno en la cabeza y dos en las piernas.

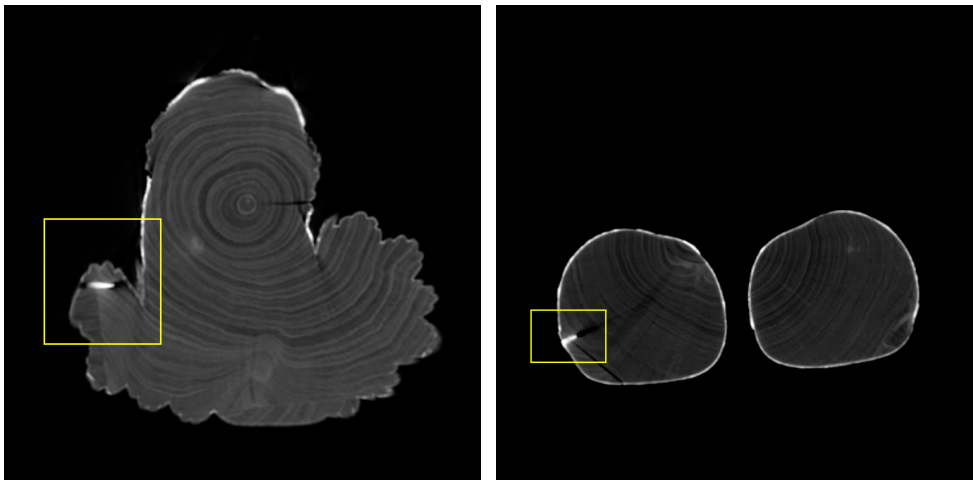


Figura 198-199.

A 194/1312- A 813/1312. Cortes axiales en los que se sitúan los clavos utilizados como sistema de sujeción de piezas.

B. Estado de conservación e intervenciones del soporte

1. Alteraciones

Grietas

Encontramos importantes alteraciones del soporte con grandes fendas o grietas localizadas en diferentes zonas de la talla del Cristo.

En la cabeza del Cristo ya empiezan a visualizarse fendas, situadas desde la superficie hacia el interior de la madera, de diferentes tipos: de heladura o de secado.

Pequeñas fendas de secado se localizan en toda la talla de la cabeza. Una importante grieta se sitúa en el lateral derecho de la talla de la cabeza del Cristo. Esta presenta una gran envergadura en su corte transversal, llegando incluso a profundizar hasta la zona del duramen (Fig. 201). Dicha fenda discurre longitudinalmente, atravesando, en este caso, casi la totalidad de la cabeza del Cristo. Se localiza con un punto de inicio situado en las coordenadas espaciales (-72,267 mm, 73,262 mm, 648,685 mm) y un punto final en (-48,767 mm, 77,621 mm, 479,686 mm), con una longitud de 170,68 mm, lo que supone el 18% de la totalidad de la talla (Fig. 200-202), llegando incluso a visualizarse en el exterior de la imagen con un abertura considerable, tal y como se observa en la reconstrucción volumétrica (3D) (Fig. 203).

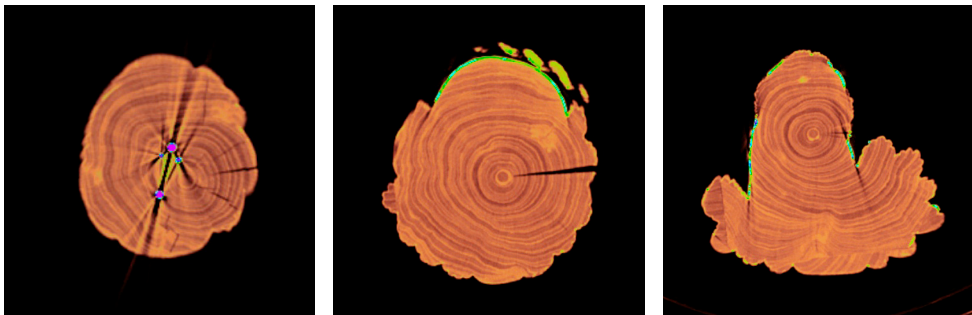


Figura 200-201-202.

A 74/1312- A 130/1312- A 204/1312. Diferentes cortes axiales en los que se observan la envergadura de la grieta que se localiza en el lateral derecho de la cabeza del Cristo.



Figura 203.
3D *clut-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) de la cabeza del Cristo en la que se observa la proyección longitudinal de la grieta.

En la Fig.204 se localiza el punto más amplio de la grieta, con una abertura en su punto máximo de 5,614 cm y una extensión transversal de 7,326 cm.

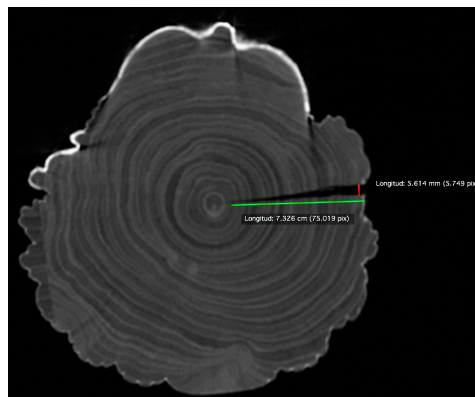


Figura 204.
A 156/1312. Extensión transversal, abertura de la grieta del lateral derecho de la cabeza del Cristo.

Mediante la TC hemos podido estudiar con mayor precisión esta grieta de gran envergadura. A través de las coordenadas espaciales del punto de inicio y el punto final, situados estos en la imagen tomográfica A 156/1312, de dicha grieta en su disposición transversal (Fig. 204), se ha podido determinar su longitud y sus ángulos de inclinación (Tabla 22).

Tabla. 22.

Coordenadas espaciales y esféricas de la grieta del lateral derecho de la cabeza del Cristo.

	COORDENADAS ESPACIALES INICIO (mm)	COORDENADAS ESPACIALES FINAL (mm)	LONGITUD (mm)	ANGULO θ	ANGULO φ
Grieta	X: -103,167	X: -28,852	72,97	90°	183,02°
	Y: 70,991	Y: 78,799			
	Z: 542,086	Z: 542,086			

Algunas de las grietas que se observan en la cabeza están provocadas por la inserción de los clavos de sujeción de la aureola y de la corona de espinas a la talla.

También se localiza una importante grieta en la mano derecha del Cristo trazada en sentido longitudinal abarcando la totalidad de esta. En la imagen tomográfica A 588/1312, hemos medido la abertura de dicha grieta: 4,640 mm de ancho y una extensión transversal (profundidad) de 5,120 cm (Fig. 205-206). Esta se localiza en Fig. 205 en las coordenadas espaciales (82,115 mm, 31,103 mm, -19,509 mm).

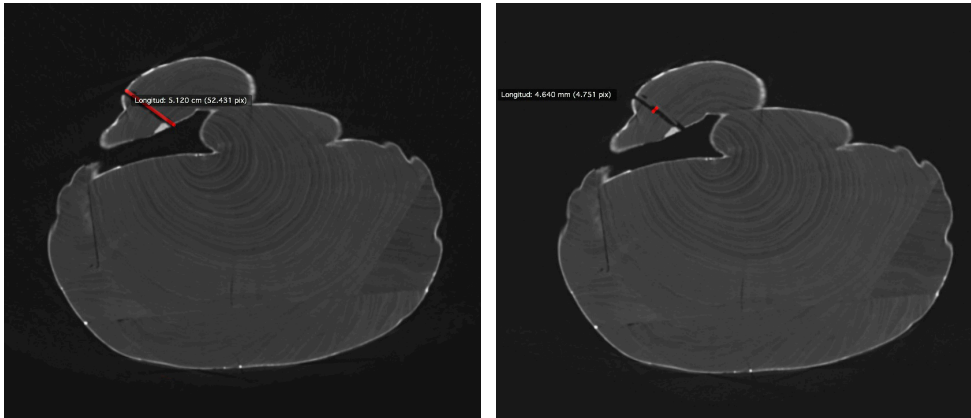


Figura 205-206.

A 588/1312. Corte axial en el que se ha medido el ancho y el largo de la grieta que se sitúa en la mano derecha del Cristo.

Dicha grieta continua su trayectoria en el antebrazo izquierdo del Cristo, presentando un resquebrajamiento mayor en el interior que en el exterior de la grieta. En la imagen tomográfica A 555/1312, hemos medido la abertura de

dicha grieta: 3,631 mm de ancho y una extensión transversal de 4,105 cm (Fig. 207-208). Esta se localiza en la Fig. 207 en las coordenadas espaciales (48,316 mm, 48,872 mm, 23,391 mm).

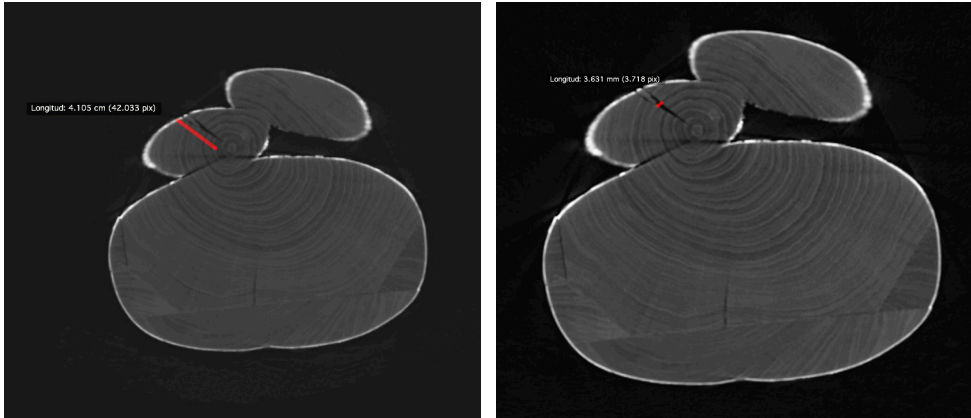


Figura 207-208.

A 555/1312. Corte axial en el que se ha medido el ancho y el largo de la grieta que se sitúa en el antebrazo izquierdo del Cristo.

En el reverso del paño de pureza del Cristo se localizan pequeñas grietas.

Tabla. 23.

Medidas y coordenadas espaciales de las distintas grietas analizadas en la estructura de la talla del Cristo.

	Imagen tomográfica	Coordenadas espaciales (mm)	Ancho (mm)	Largo (cm)
Grieta mano derecha	A 588/1312	X: 82,115	4,640	5,120
		Y: 31,103		
		Z: -19,509		
Grieta antebrazo izquierdo	A 555/1312	X: 48,316	3,631	4,105
		Y: 48,872		
		Z: 23,391		

Uniones o ensambles

Encontramos a su vez alteraciones que se reflejan en la talla del Cristo provocadas por las uniones o ensambles de las piezas de madera que configuran su

volumen. Mediante el análisis de las imágenes tomográficas, se ha podido determinar una gran grieta longitudinal que se sitúa en el anverso del exterior de la talla coincidiendo con la unión de las piezas de madera nº 1-2. La grieta, producida por la desunión de estas piezas, se localiza en la Fig. 209 con un punto de inicio situado en las coordenadas espaciales (77,996 mm, 129,735 mm, 444,587 mm) y en la Fig. 210 con un punto final situado en (123,862 mm, 156,153 mm, -263,907 mm).

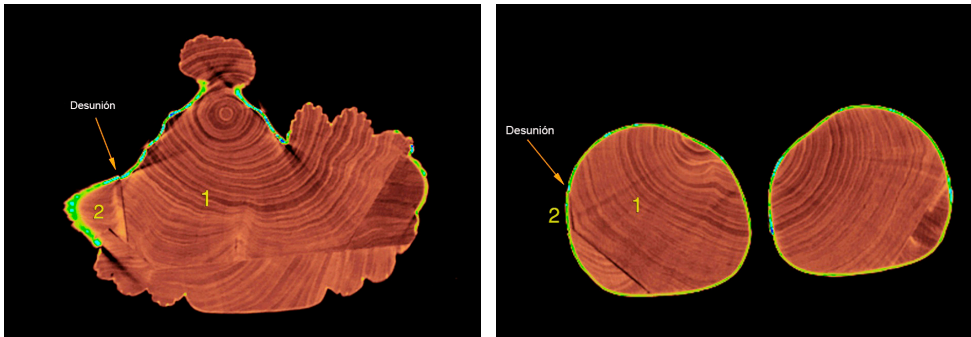


Figura 209-210.

A 231/1312- A 780/1312. Cortes axiales desde donde se observa el inicio y final de la desunión de las piezas nº 1-2.

No es tan importante en envergadura, pero también existe una desunión longitudinal en el lateral izquierdo de la imagen, entre las piezas nº 2-3, localizándose en la Fig. 211 con un punto de inicio situado en las coordenadas espaciales (118,215 mm, 192,450 mm, 115,690mm) y en la Fig. 212 con un punto final situado en (124,513 mm, 155,982 mm, -257,407 mm).

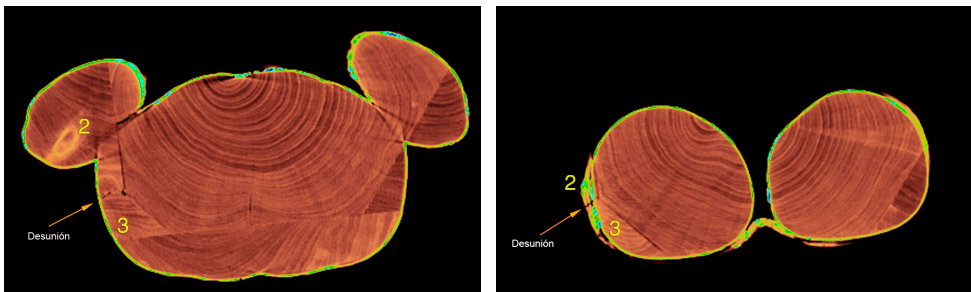


Figura 211-212.

A 486/1312- A 771/1312. Cortes axiales desde donde se observa el inicio y final de la desunión de las piezas nº 2-3.

Otra desunión de menor envergadura se sitúa entre la pieza nº 3-4 y nº 4-5, en el lateral izquierdo y derecho de la talla, en sentido longitudinal. Dichas desuniones se localizan en la Fig. 213 con un punto de inicio situado en las coordenadas espaciales (111,467 mm, 112,581 mm, -7,809 mm) y un punto final situado en (124,079 mm, 127,471 mm, -247,007 mm).



Figura 213-214.

A 585/1312 y 3D *clut-bones*. Corte axial en el que se observa la desunión de las piezas nº 3-4 y nº 4-5. Reconstrucción volumétrica (3D) en vista posterior en la que se observan los estucos aplicados en las desuniones.

La mayoría de estas desuniones y grietas han sido reparadas con algún tipo de estuco, tal y como se define en la imagen tomográfica A 669/1312 (Fig. 215) y en la reconstrucción volumétrica (3D) (Fig. 214).

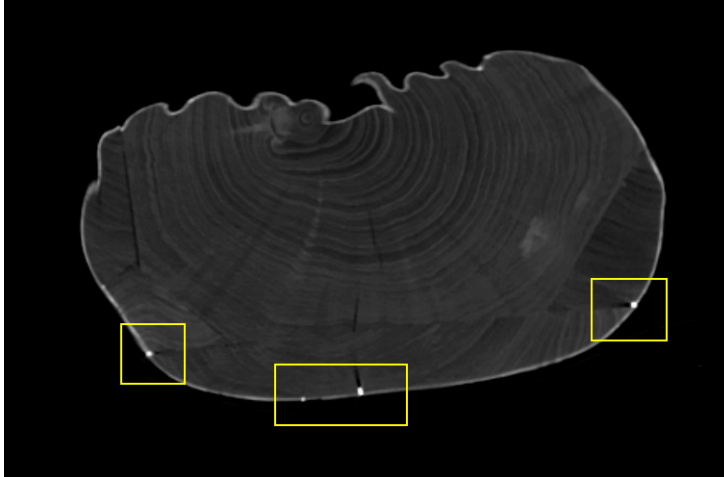


Figura 215.

A 669/1312. Corte axial en el que se localizan los estucos de relleno de las desuniones y fendas.

Nudos

Descubrimos una importante alteración en la unión de las piezas nº 2-3 ocasionada por un defecto de la madera que ha provocado un nudo localizado en la pieza nº 2. Este se sitúa en la Fig. 217 en las coordenadas espaciales (113,532 mm, 191,844 mm, 92,290 mm). Dicha alteración se proyecta hacia el exterior de la talla y se refleja en una grieta que ha sido reparada mediante un estucado de la zona.

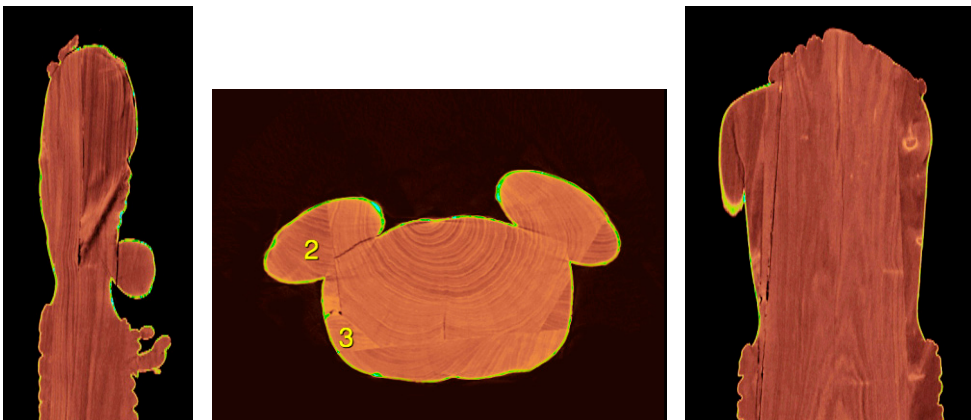


Figura 216-217-218.

S 361/512- A 502/1312- C 307/512. Corte sagital, axial y coronal en los que se observa un nudo de importancia.

En un análisis general de la estructura interna de las piezas de madera que configuran la talla del Cristo, hemos podido observar la diversidad de nudos que presenta el tipo de madera con el que está construida la imagen (Fig. 219).

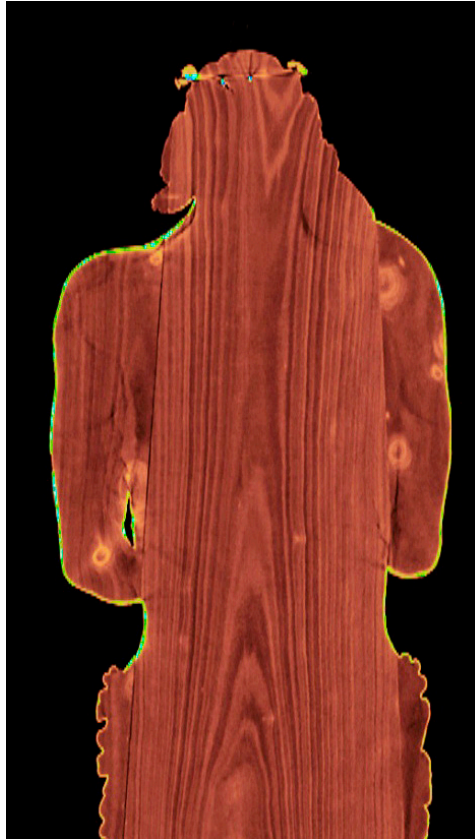


Figura 219.

C 256/512. Corte coronal en los que se observa la diversidad de nudos.

Núcleos de resina

Existe un núcleo de resina en la pieza nº 3. Dicha alteración se localiza en la Fig. 220 en las coordenadas espaciales (132,548 mm, 200,966 mm, -218,407 mm), observándose en dicha imagen que este abarca casi la totalidad de la pieza.

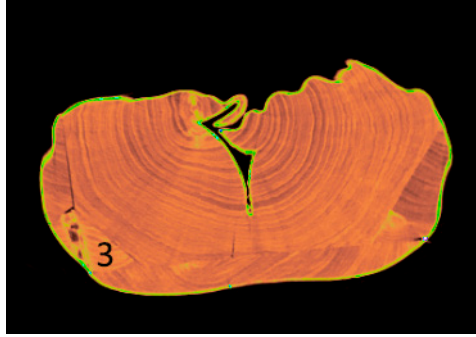


Figura 220.

A 741/1312. Corte axial en el que se observa la envergadura del núcleo de resina que se localiza en la pieza nº 3.

C. Policromía

Ya hemos explicado que existe una similitud de densidades en los diferentes estratos que configuran la policromía de una pieza escultórica, lo que imposibilita la diferenciación de estos mediante la TC.

Apoyándonos en el análisis de materiales que se ha llevado a cabo de una micromuestra tomada de la carnación del brazo izquierdo del Cristo, se ha confirmado la presencia de blanco de plomo (Fig. 221-222).

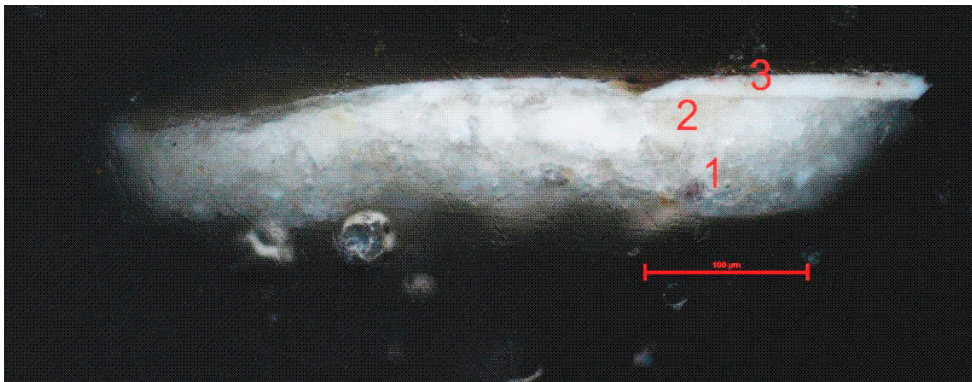


Figura 221.

Sección estratigráfica de micromuestra del brazo izquierdo del Cristo analizada mediante microscopía óptica con luz visible, 10×. Enumeración de los diferentes estratos: 1. Preparación a base de yeso y cola animal. 2. Segunda capa de preparación a base de yeso y cola animal. 3. Policromía blanca a base de blanco de plomo y con presencia de bermellón y esmalte.

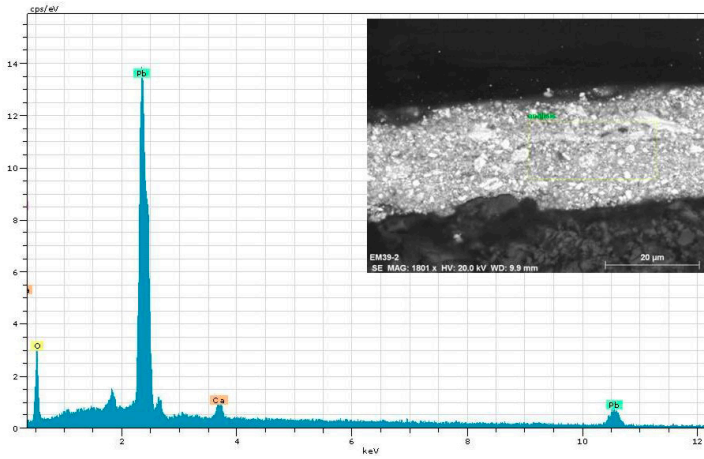


Figura 222.

Espectro EDX del estrato nº 3 en el que se detectan los elementos químicos del blanco de plomo.

En las imágenes tomográficas del Cristo, se aprecia un estrato de mayor densidad para las zonas de carnaciones, y un estrato apenas imperceptible para las zonas del cabello (A 168/1312 *clut-flow* – S 275/512 *clut-flow*) (Fig. 223-224).

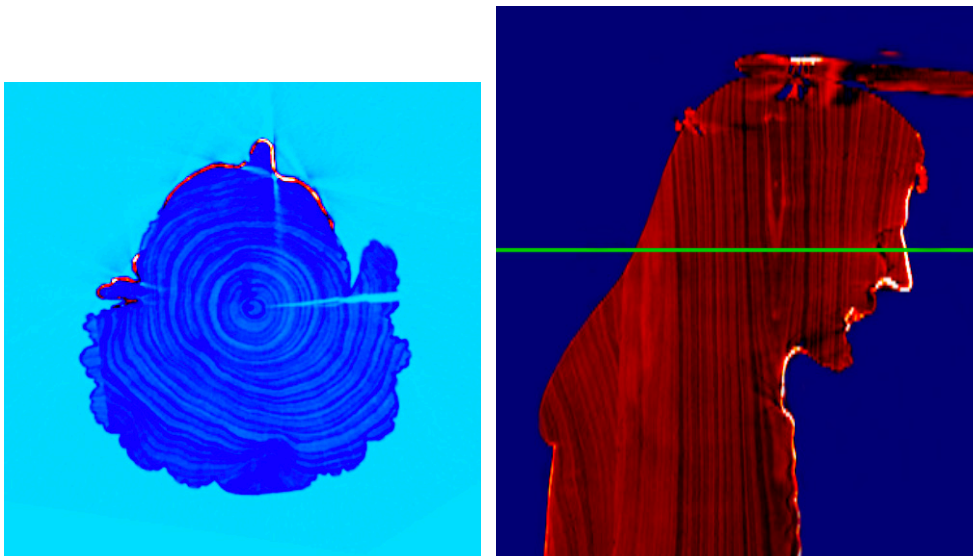


Figura 223-224.

A 168/1312 – S 275/512 *clut-flow*. Corte axial y sagital en los que se observa la diferencia de densidad entre las distintas tonalidades de policromías.

4.10.3. *Santa María de Carlet*

Ficha técnica

- **Autor:** Anónimo.
- **Época:** Finales del siglo XIV principios del XV.
- **Técnica y materiales:** Talla en madera, dorada y policromada.
- **Dimensiones:** 88 × 34 × 29,5 cm.
- **Procedencia:** Iglesia Parroquial de Nuestra Señora de la Asunción de Carlet (Valencia).

Protocolos de estudio

- **Tomógrafo:** Equipo de tomografía computarizada Siemens Somatom Definition Flash[®].
- **Protocolo de estudio:** Abdomen-Pelvis 2.0 50f.
- **Imágenes tomográficas:** 731 cortes trasversales o axiales de 2 mm de espesor.
- **Voltaje del tubo de RX:** 80 kV.



Figura 225-226.
Imagen visible, anverso y reverso, de *Santa María de Carlet*.

4.10.3.1. Protocolos de estudio en el análisis de la escultura

Para poder referenciar espacialmente los diferentes elementos que queremos estudiar en la imagen de *Santa María de Carlet*, hemos calculado un 'punto de origen' que situamos en la superficie de la escultura (Fig. 227), concretamente en un punto medio de la frente de la Virgen, que nos sirve como referencia, visual y espacial, para situar los elementos que queremos analizar del interior de la pieza escultórica. El 'punto de origen' se localiza en la imagen tomográfica A 72/731.

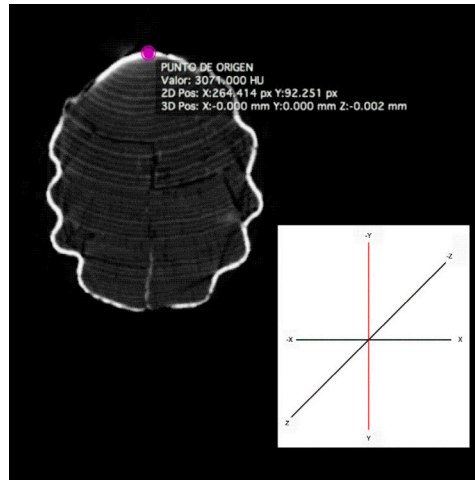


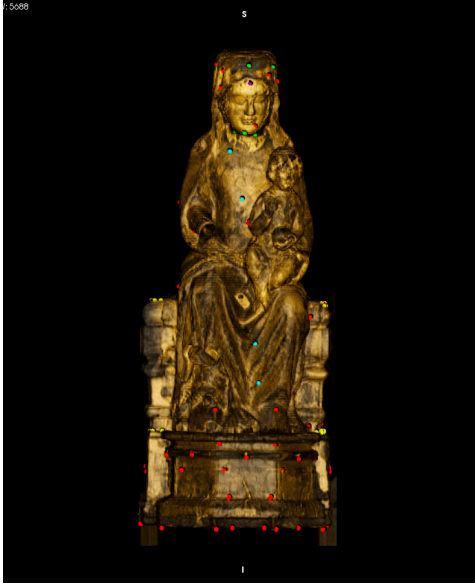
Figura 227.

A 72/731. Corte axial en el que se localiza el punto de origen y el sistema de ejes cartesianos tal y como se define en TC y que va a determinar las coordenadas espaciales de los distintos ROIs de punto situados en la imagen de *Santa María de Carlet*.

Para situar todos los elementos y alteraciones analizados en las imágenes tomográficas, se han ido posicionando distintos ROIs de punto en las imágenes axiales según el protocolo de estudio para la definición de elementos a analizar.

Estos puntos se han situado a nivel de superficie de la pieza escultórica para poder establecer la posición de los elementos que queremos referencia del interior de la imagen. Así, en la reconstrucción volumétrica (3D) podemos visualizar la totalidad de los diferentes ROIs de punto que se han determinado en el análisis de la imagen de *Santa María de Carlet* (Fig. 228-229-230-231).

En la discusión del caso se irán localizando espacialmente los diferentes ROIs que referencian los elementos del interior de la imagen.



Anverso



Reverso



Lateral derecho



Lateral izquierdo

Figura 228-229-230-231.

3D *clut-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) en la que observamos la posición de los diferentes ROIs de punto utilizados en el análisis de los elementos internos de la pieza escultórica.

■ 4.10.3.2. Estudio de la técnica de ejecución y estado de conservación

A. Soporte

Sistema constructivo

La imagen de *Santa María de Carlet* está realizada en un único bloque de madera a partir del tronco de un árbol. Podemos hablar, pues, de una talla principal realizada como un solo volumen.

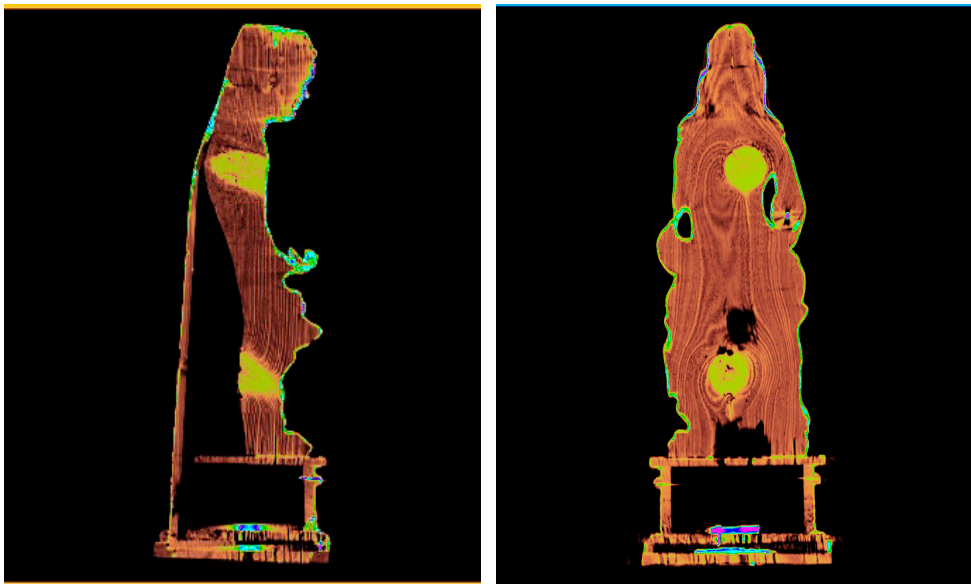


Figura 232-233.

S 258/512 - C 241/512. Corte sagital y coronal en los que se observa un único volumen de talla principal y la envergadura del vaciado de la pieza escultórica.

Dicha talla principal ha sido ahuecada en su reverso abarcando casi la totalidad de su volumen (Fig. 232-233). Las únicas partes que no han sido vaciadas son la figura del Niño y la cabeza de la Virgen.

La mano y el antebrazo derecho de la Virgen y del Niño están contruidos con una madera de diferente densidad, tal y como queda evidenciado en las imágenes tomográficas. Aunque originariamente estos elementos pudieran haber sido contruidos independientemente de la talla principal, la diferencia de densidad que presenta la madera con la que han sido realizados determina que dichas piezas no son originales. La peana que presenta la imagen tampoco es original.

B. Estado de conservación e intervenciones del soporte

1. Alteraciones

Grietas

Con el análisis tomográfico de la imagen localizamos importantes grietas estructurales. Una de ellas se localiza en la zona de la cabeza de la Virgen, presentando una disposición en zig-zag y desplazándose hacia los dos laterales del rostro (Fig. 234), además de atravesar toda la estructura de la cabeza en sentido longitudinal, observándose tres grietas de gran importancia, una central y dos en los laterales (Fig. 235).

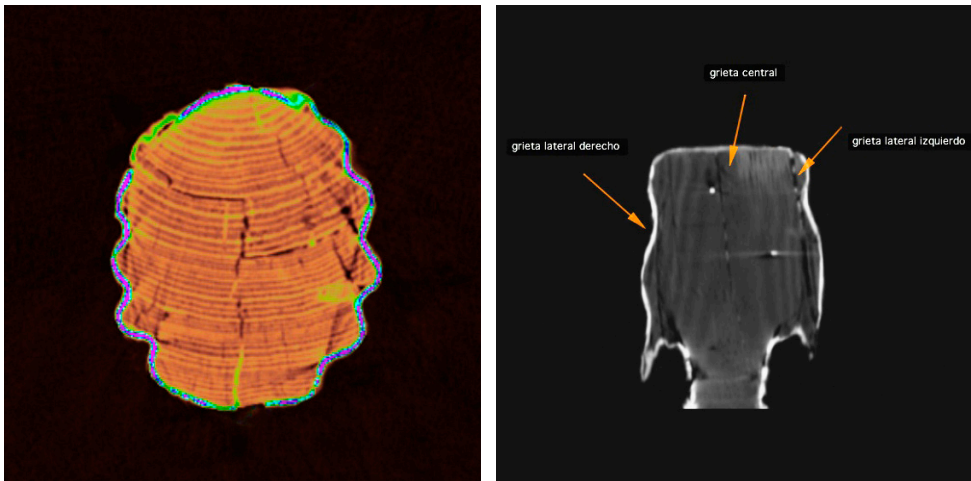


Figura 234-235.

A 142/731- C 260/512. Corte axial y coronal en los que se observa la disposición en zig-zag de la grieta en sentido transversal y las tres grietas que proyecta en sentido longitudinal.

En la estructura de la cabeza se localizan cuatro clavos, por lo que estaría por determinar si la causa de la grieta está provocada por la inserción de dichos clavos o estos fueron aplicados como medida de refuerzo de la misma.

Mediante la TC hemos podido estudiar con profundidad estos cuatro clavos. A través de las medidas espaciales del punto de inicio y el punto final de cada uno de ellos, se ha podido determinar su longitud y sus ángulos de inclinación (Tabla 24).

Tabla 24.
Coordenadas espaciales y esféricas de los clavos situados en la cabeza de la Virgen.

	COORDENADAS ESPACIALES INICIO (mm)	COORDENADAS ESPACIALES FINAL (mm)	LONGITUD (mm)	ANGULO θ	ANGULO φ
Clavo nº 1	X: -57,035	X: -19,298	50,24	81,07°	139,49°
	Y: 70,987	Y: 38,744			
	Z: 31,2	Z: 23,4			
Clavo nº 2	X: 35,47	X: 28,822	35,99	79,59°	100,13°
	Y: 17,789	Y: 52,556			
	Z: 11,7	Z: 5,2			
Clavo nº 3	X: -48,729	X: -31,566	55,49	99,44°	251,73°
	Y: 40,645	Y: 92,702			
	Z: -18,2	Z: -9,1			
Clavo nº 4	X: -58,466	X: -21,524	51,45	75,36°	137,91°
	Y: 402,005	Y: 368,642			
	Z: -826,208	Z: -839,208			

El clavo nº 4 ha podido ser aislado de la estructura interna de la cabeza de la Virgen, y mediante las coordenadas que se establecen en las imágenes tomográficas se ha podido reproducir el tamaño y forma real de este. En dicha reconstrucción 3D se observa la deformidad que presenta dicho clavo (Fig. 237).

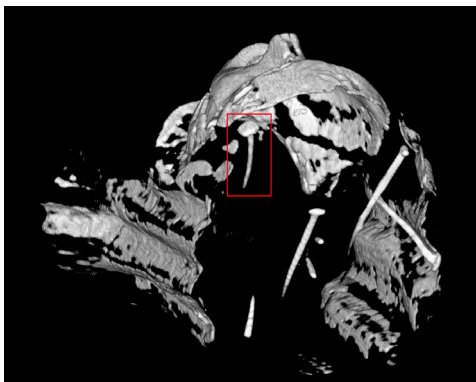


Figura 236.
Reconstrucción de superficie 3D de la cabeza de la Virgen en la que se localiza el clavo nº 4.

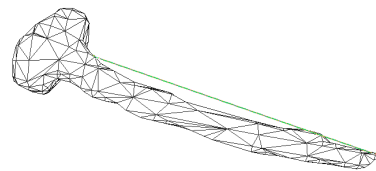


Figura 237.
Reconstrucción 3D del clavo nº 4.

Nudos

Localizamos dos nudos importantes en la estructura de la talla principal (Fig. 239).



Figura 238-239.

C 259/512- S 260/512. Corte coronal y sagital en los que se localizan los nudos.

El primero se localiza en la Fig. 238 en las coordenadas espaciales (-24,343 mm, 121,009 mm, -177,101 mm). Se ha determinado su punto medio (A 200/731) en el que se ha medido su diámetro (7,516 cm) (Fig. 240).

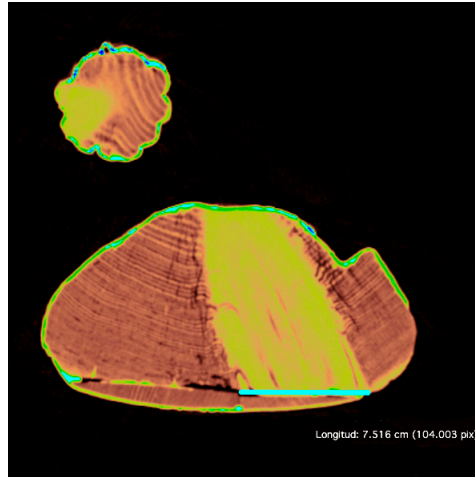


Figura 240.

A 200/731. Corte axial en el que se ha medido el diámetro del nudo n° 1.

El segundo de ellos se localiza en la Fig. 238 en las coordenadas espaciales (5,090 mm, 121,009 mm, -512,991 mm). Se ha determinado su punto medio (A 474/731) en el que se ha medido la longitud del diámetro de este (5,786 cm) (Fig. 241).

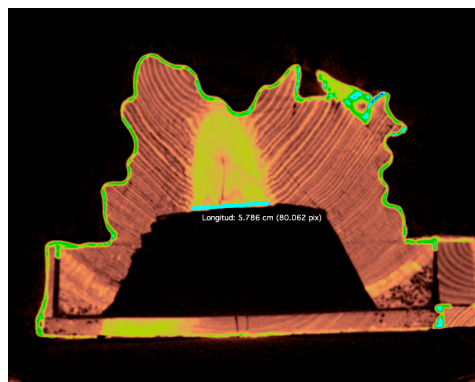


Figura 241.

A 474/731. Corte axial en el que se ha medido el diámetro del nudo n° 2.

Mediante la TC hemos estudiado con mayor profundidad estos nudos. A través de las medidas espaciales del punto de inicio y el punto final de cada uno de ellos, se ha podido determinar su longitud y sus ángulos de inclinación (Tabla 25).

Tabla 25.
Coordenadas espaciales y esféricas, y diámetro de los nudos.

	COORDENADAS ESPACIALES INICIO (mm)	COORDENADAS ESPACIALES FINAL (mm)	LONGITUD (mm)	ANGULO θ	ANGULO φ	DIAMETRO (cm)
Nudo nº 1	X: 2,846	X: 15,06	102,35	101,16°	38,05°	7,516
	Y: 119,586	Y: 57,698				
	Z: -481	Z: -561,6				
Nudo nº 2	X: -47,003	X: -10,911	96,84	11,88°	89,65°	5,786
	Y: 171,564	Y: 81,695				
	Z: -72,2	Z: -218,4				

2. Ataque de insecto xilófago

En cuanto al estado de conservación del soporte, se visualiza un importante ataque biológico de insecto xilófago, localizado en la base y laterales de la talla principal, que afecta al panel trasero en dicha zona y a la base de la peana. Posiblemente, debido a dicho deterioro, se decidiera sustituir la peana original por la que ahora presenta la imagen, en una de las intervenciones de restauración a las que ha sido sometida la obra (Fig. 242-243-244).

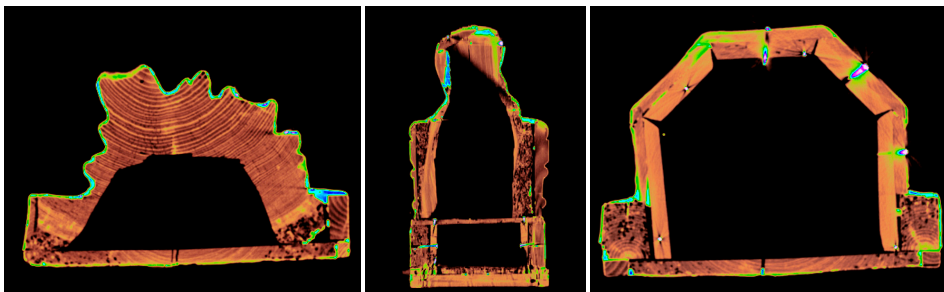


Figura 242-243-244.

A 522/731- C 420/512- A 598/731. Cortes axiales y coronal en los que se observa el nivel de ataque de insecto xilófago que presenta la imagen.

3. Piezas no originales y reconstrucciones

Tras un primer examen visual de la imagen, se ha podido determinar que la obra ha sufrido multitud de intervenciones a lo largo de su historia. La TC ha supuesto una importante herramienta a la hora de determinar y analizar el nivel de intervención al que había sido sometida la obra, pues demuestra que en dichas intervenciones se añadieron a la talla principal de la Virgen una serie de elementos no originales. Entre estos elementos no originales hemos diferenciado aquellas piezas añadidas a modo de reconstrucciones de un faltante original y piezas añadidas que no existían originariamente.

a) Antebrazo y mano derecha de la Virgen

Observamos en la imagen tomográfica S 152/512 que el antebrazo derecho de la Virgen esta realizado con una madera de diferente densidad a la de la talla principal (Fig. 245). Este se encuentra encastrado a la talla y a su vez sujeto a esta mediante un gran clavo (clavo nº 5) que se embute desde la parte inferior del antebrazo (Fig. 246).

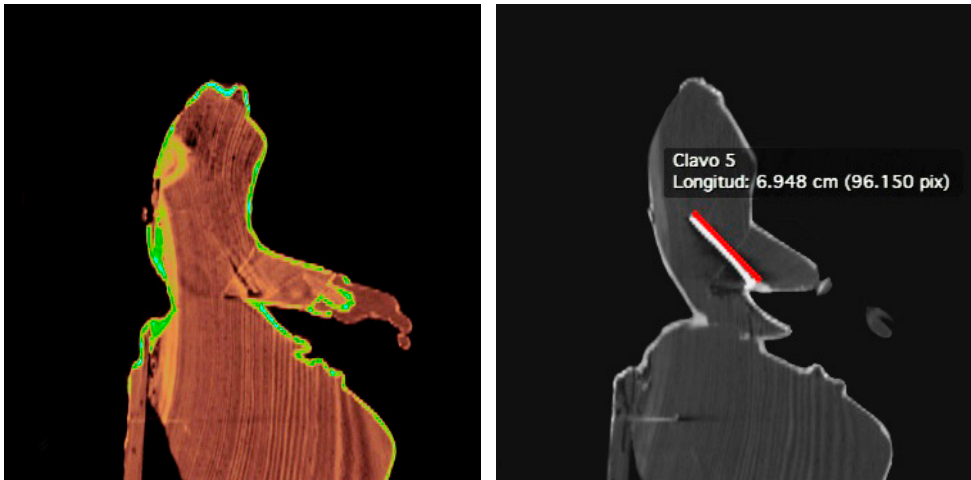


Figura 245-246.

S 258/512 – S 270/512. Cortes sagitales en los que se observa el antebrazo de la Virgen y su sujeción a la talla principal mediante el clavo nº 5.

Se ha podido establecer la longitud y la situación espacial de dicho clavo a través del cálculo de los ángulos de inclinación de este, determinándose así su orientación en el interior de la talla (Tabla 26).

Tabla. 26.
Coordenadas espaciales y esféricas del clavo nº 5.

	COORDENADAS ESPACIALES INICIO (mm)	COORDENADAS ESPACIALES FINAL (mm)	LONGITUD (mm)	ANGULO θ	ANGULO φ
CLAVO nº 5 ANTEBRAZO DERECHO	X: -92,042	X: -94,832	69,90	96,59°	140,79°
	Y: 109,021	Y: 151,585			
	Z: -272,999	Z: -218,400			

Al igual que el antebrazo, la mano derecha de la Virgen no es original. Concretamente, en las imágenes tomográficas S 146/512 y A 284/731 (Fig. 247-248) se observa la reconstrucción de la mano de la Virgen realizada con una madera de densidad diferente a la de la talla principal. Ambas reconstrucciones están realizadas con maderas de diferente densidad, por lo que se podría decir que la ejecución de ambas piezas se realizó en periodos diferentes.

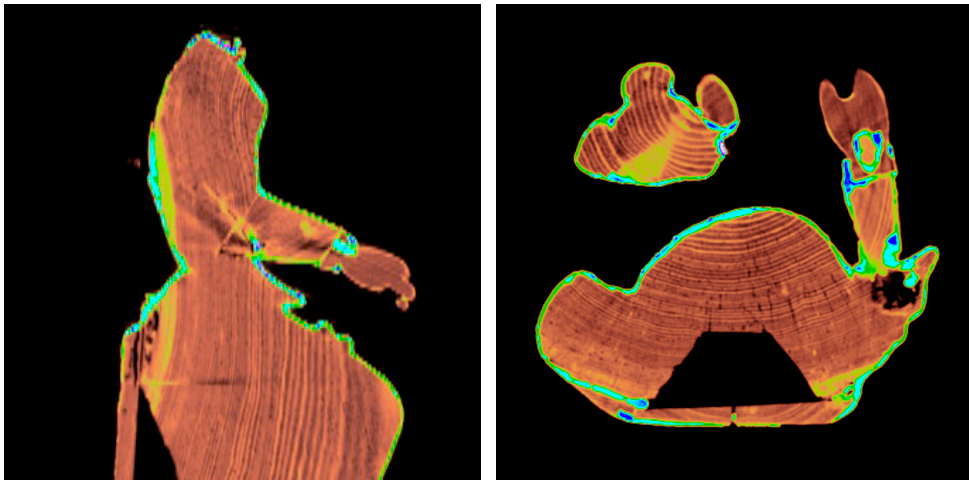


Figura 247-248.
S 146/512 - A 284/731. Corte sagital y axial en los que se observa la reconstrucción de la mano derecha de la Virgen.

b) *Brazo y mano derecha del Niño*

El brazo y la mano derecha del Niño también han sido reconstruidos. Las imágenes tomográficas, concretamente A 260/731 y S 306/512 (Fig. 249-250), revelan dicha intervención. La densidad de las maderas con las que están realizadas estas dos piezas es la misma, por lo que la construcción de ambas debió ser coetánea.

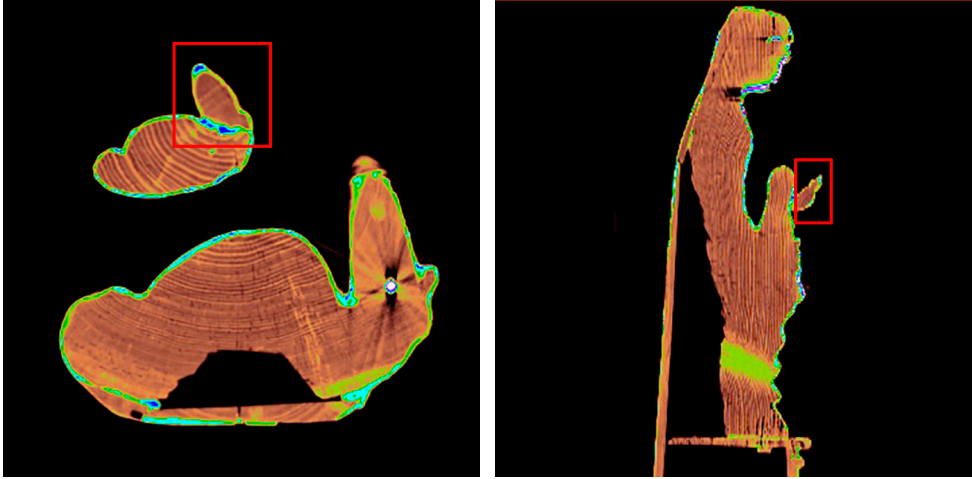


Figura 249-250.

A 260/731- S 306/512. Corte axial y sagital en los que se observa la reconstrucción del brazo y mano derecha del Niño.

c) *Panel trasero*

En el dorso de la imagen, y a modo de recubrimiento de dicha zona y como pieza añadida no original, se sitúa un panel de madera realizado con tres piezas de madera (Fig. 251). Tal y como hemos podido analizar en las imágenes tomográficas, dicha pieza está ocultando el ahuecado de la imagen en su reverso.

Las piezas nº 1 y 2, que se localizan en la parte superior de dicho recubrimiento, se sitúan en la Fig. 252. La pieza nº 1 en las coordenadas espaciales (43,357 mm, 466,946 mm, -166,4 mm) y la pieza nº 2 en (41,351 mm, 195,293 mm, -166,4 mm). A partir de la imagen A 228/731, con una localización espacial (7,392 mm, 198,441 mm, -208,8 mm), podemos descubrir una tercera pieza que recubre el resto de la pieza escultórica hasta su base. Estas piezas se sujetan a la talla principal mediante clavos. La madera con las que están realizadas las piezas nº 1 y 2 presentan diferente densidad a la de la pieza nº 3.

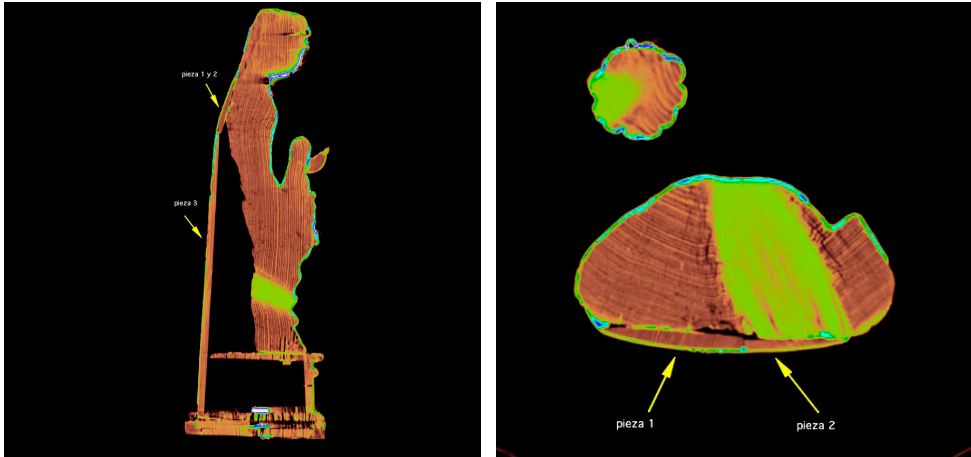


Figura 251-252.

S 309/512- A 200/731. Corte sagital y axial en los que se localizan las piezas de madera con las que está construido el panel trasero que recubre el dorso de la imagen.

La pieza nº 3 evidencia un estado de conservación muy poco óptimo, observándose en su parte inferior ataque biológico de insecto xilófago y una grieta que la recorre en su totalidad y que se sitúa a nivel central de dicha pieza (Fig. 254). También en las esquinas inferiores se aprecian dos injertos de madera. En la reconstrucción volumétrica (3D) se observa la configuración de dicho panel y su estado de conservación (Fig. 253).

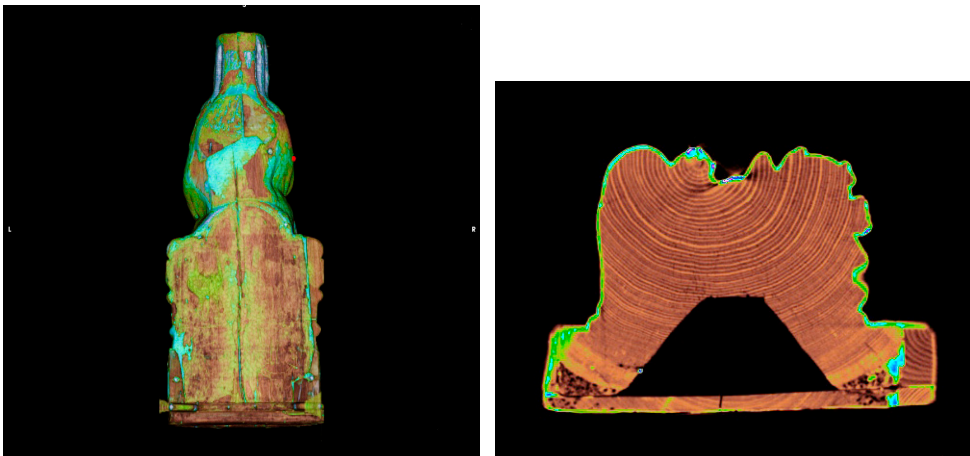


Figura 253-254.

3D clut-french - A 420/731. Reconstrucción volumétrica (3D) en la que se observa la estructura completa de panel trasero y corte axial en el que se evidencia el ataque de insecto xilófago y la grieta de la pieza nº 3.

d) Trono o escabel

El trono o escabel sobre el que se asienta la figura de la Virgen se talla en el propio bloque de madera en el que se da forma a la imagen.

Tras el análisis de las imágenes tomográficas, hemos podido determinar que en dicha zona han sido añadidas nuevas piezas de madera realizadas en las diferentes intervenciones que ha sufrido la imagen.

En el lateral derecho se observa una nueva pieza de madera (pieza nº 1) de densidad diferente a la de la talla principal y que da forma al trono. Esta pieza se localiza en la Fig. 255 con un punto de inicio situado en las coordenadas espaciales (-170,872 mm, 165,091 mm, -402,958 mm) y un punto final situado en (-163,637 mm, 165,091mm, -645,955 mm). Se aprecia, en la talla principal que coincide con dicha zona, un importante ataque de insecto xilófago, por lo que posiblemente sea esta la causa de tal intervención (Fig. 255).

En el lateral izquierdo existe una nueva pieza de madera (pieza nº 2), de diferente densidad a la de la talla principal y de iguales características a la utilizada en la reconstrucción del lateral derecho. Esta pieza se localiza en la Fig. 255 con un punto de inicio situado en las coordenadas espaciales (146,173 mm, 165,091 mm, -409,105 mm) y un punto final situado en (140,656 mm, 165,091 mm, -645,172 mm). Dicha pieza ha sido adaptada a la forma de la reconstrucción del lateral derecho y está ocultando otra intervención no original del trono (Fig. 255).

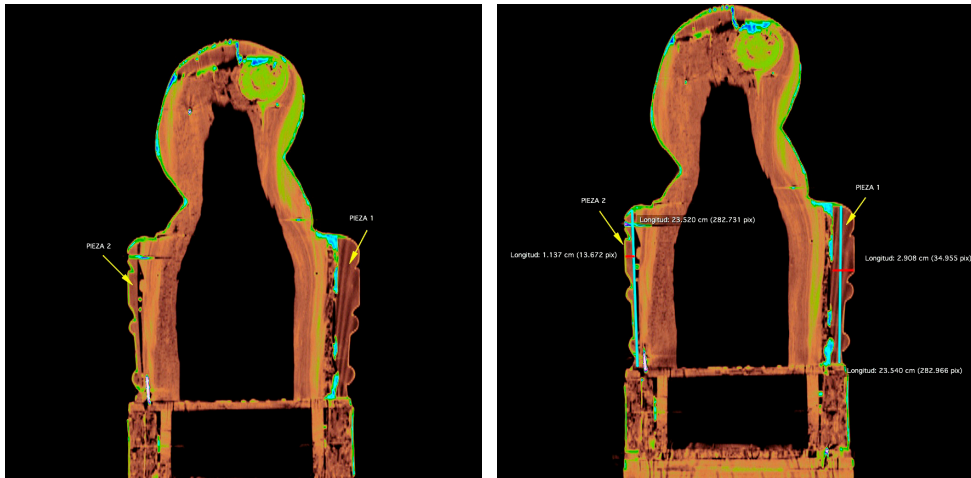


Figura 255-256.

C 352/512- C 355/512. Cortes coronales en los que se observa las dos piezas añadidas al trono y sus medidas.

Tabla. 27.
Medidas de las piezas n^o 1-2 añadidas al trono.

	Alto (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)
Pieza n ^o 1	23,540	2,908	5,594
Pieza n ^o 2	23,520	1,137	6,023

e) *Peana*

Otra de las piezas añadidas no originales es la peana de base pentagonal sobre la que descansa la imagen de la Virgen y que nada tiene que ver con la tipología de peanas con la que eran construidas en origen estas imágenes de Vírgenes sedentes. Tal y como hemos podido analizar a través de las imágenes tomográficas, está construida con varias piezas de madera de diferente densidad a la de la talla principal: una primera pieza de madera de base sobre la que se apoya la talla de la Virgen (Fig. 257); cinco piezas de madera que van dando forma exterior a la base pentagonal, quedando el interior de dicha base totalmente hueco (Fig. 258), y como base de la peana pentagonal, dos piezas de madera horizontales. En una de estas piezas de base, se ha insertado un anclaje metálico como elemento de sujeción de la imagen a otra estructura externa, posiblemente un anda procesional (Fig. 260).

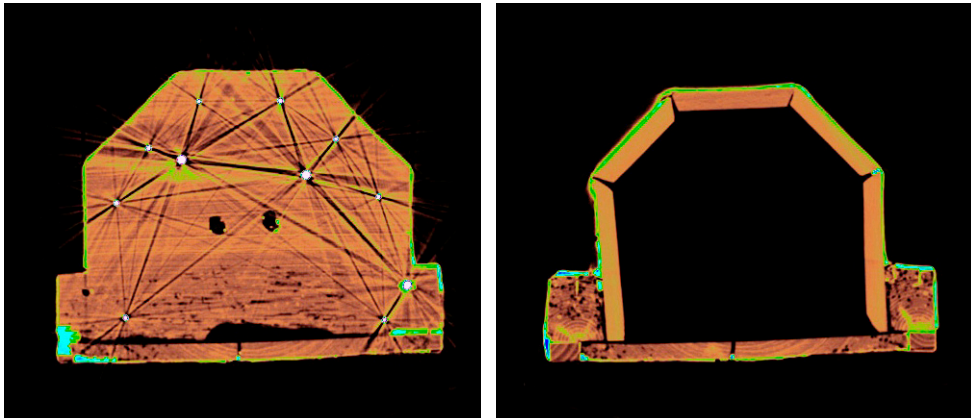


Figura 257-258.

A 576/731- A 590/731. Cortes axiales en los que se observa la construcción de la peana.

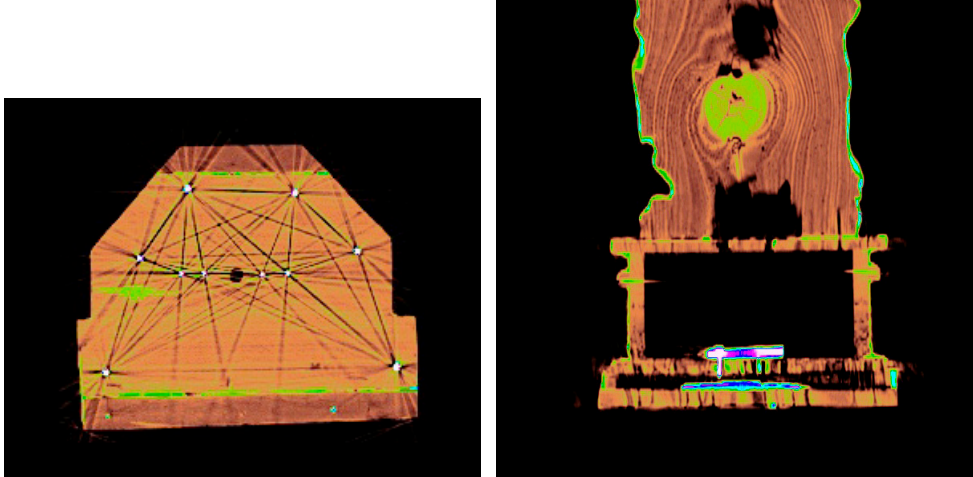


Figura 259-260.

A 694/731- C 250/512. Corte axial y coronal en los que se observa la construcción de la peana.

La reconstrucción volumétrica (3D) revela multitud de clavos utilizados en la construcción de la peana (Fig. 261) entre los que destacan dos tornillos, centrales y de gran tamaño, con los que se sujeta la imagen a dicha peana.

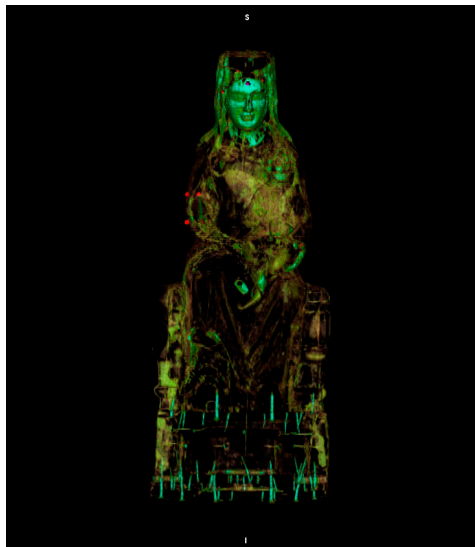


Figura 261.

3D *clut-french*. Reconstrucción volumétrica (3D) en las que se visualizan los clavos utilizados en la construcción de la peana.

4. Elementos metálicos

Tal y como se ha ido analizando a lo largo de este estudio, la imagen de *Santa María de Carlet* presentaba gran cantidad de elementos metálicos en su estructura interna, algunos de estos originales y otros nuevos, aplicados en las diferentes intervenciones de restauración que ha tenido la obra.

Aparentemente evidencian buen estado de conservación, ya que no se observaba ninguno con rotura, aunque no podemos determinar si presentan oxidación.

5. Rellenos de faltantes

Se visualizan en toda la imagen una gran cantidad de rellenos. En el análisis de las imágenes tomográficas, todos los rellenos presentan similares características, por lo que es posible que estén realizados con materiales de la misma naturaleza.

Las zonas en las que se han localizado rellenos son las siguientes:

- Zona del trono, donde se han añadido las nuevas piezas de madera. Tal y como se visualiza en las imágenes tomográficas, dichos estucos presentan un gran espesor debido a la amplia zona que tienen que cubrir (Fig. 262-263).
- Zona de inserción de la mano y del antebrazo de la Virgen (Fig. 264).
- Entre las diferentes piezas añadidas que conforman el panel trasero, a modo de nivelado de unas piezas con otras (Fig. 265).
- En el nudo nº 1, en aquella zona que se encontraba deteriorada por dicha alteración del soporte (Fig. 266).
- Y en diferentes grietas que se localizan a nivel de superficie de la escultura (Fig. 267).

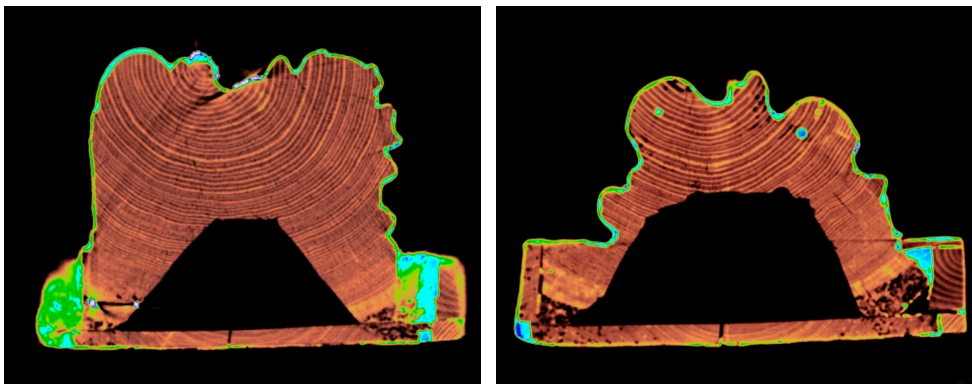


Figura 262-263.

A 382/731- A 540/731. Cortes axiales en los que se observa el espesor de los estucos que se han aplicado en la zona del trono.

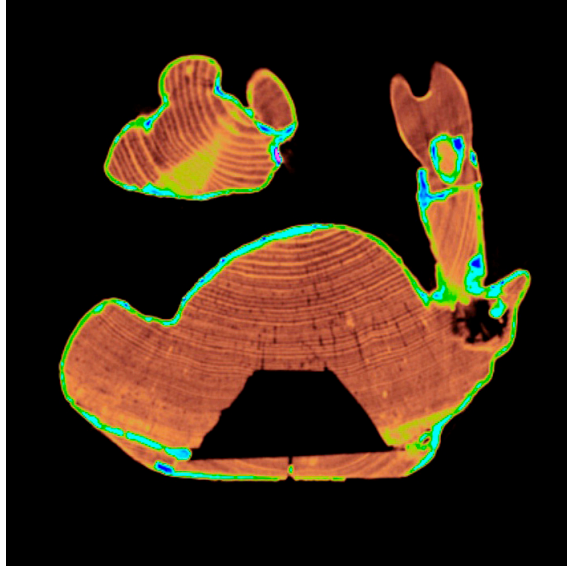


Figura 264.

A 284/731. Corte axial en el que se observa el estucado en la zona de inserción de la mano y el antebrazo derecho de la Virgen.

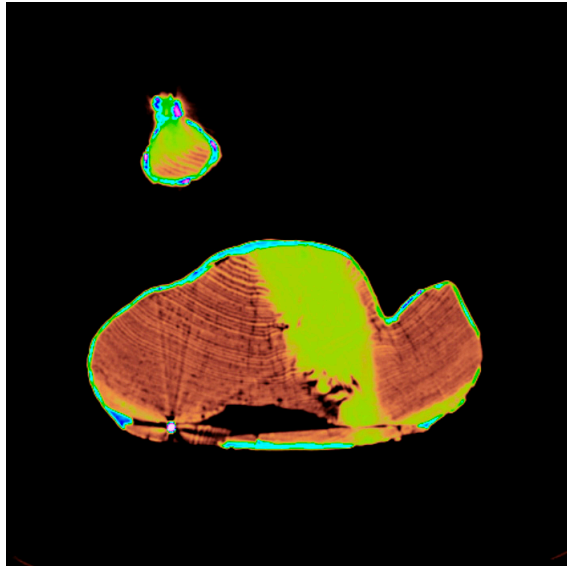


Figura 265.

A 224/731. Corte axial en el que se observa el estucado entre dos de las piezas que conforman el panel trasero.

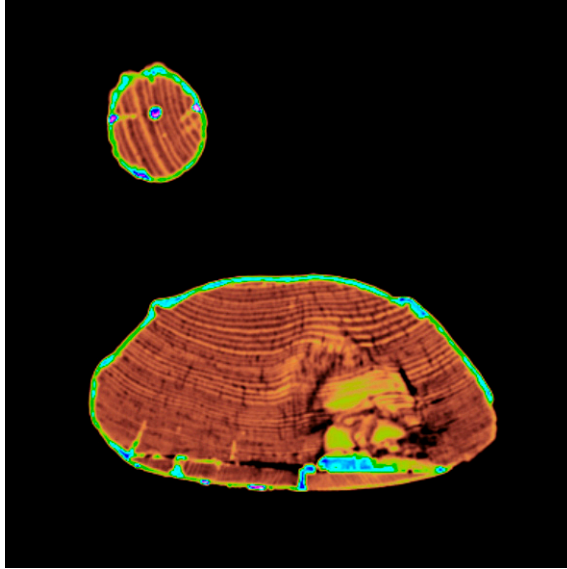


Figura 266.

A 174/731. Corte axial en el que se observa el estucado aplicado en la zona del nudo nº 1.

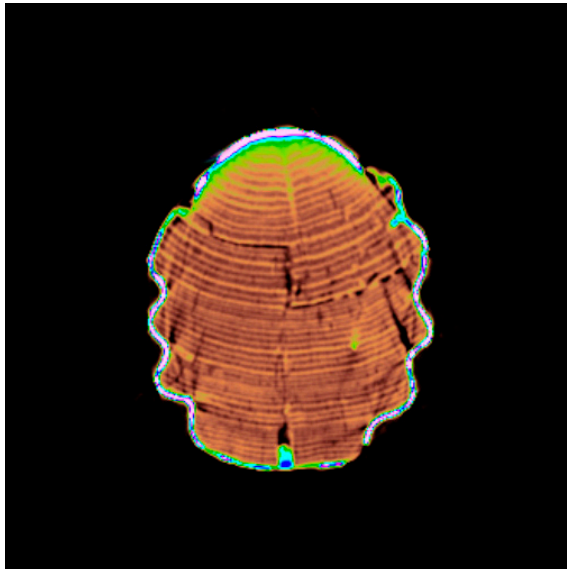


Figura 267.

A 78/731. Corte axial en el que se observa el estucado aplicado en una de las grietas de la cabeza de la Virgen.

C. Policromía

En las imágenes tomográficas de la pieza escultórica se evidencia una diferencia de densidad entre las diferentes policromías (Fig. 269-270). Nuevamente y como en los anteriores casos de estudio, coincide con carnaciones o con una policromía de tonalidad roja en el manto de la Virgen.

El análisis de materiales de varias micromuestras tomadas de la carnación del rostro de la Virgen confirman que en su estructura existe albayalde y bermellón (Fig. 268).

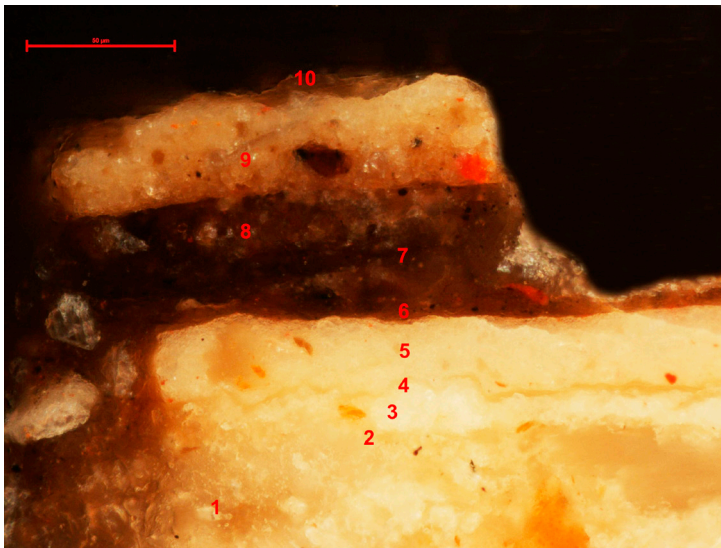


Figura 268.

Sección estratigráfica de micromuestra del rostro de la Virgen analizada mediante microscopía óptica con luz visible, 10x. Enumeración de los diferentes estratos: 1. Preparación a base de yeso y cola animal. Se detectan pequeñas cantidades de pigmentos tierra. 2. Capa aislante de cola animal. 3. Policromía blanca elaborada con albayalde y un poco de minio. 4. Barniz. 5. Policromía blanca elaborada con albayalde, un poco de bermellón y minio. 6. Barniz oxidado con suciedad. 7. Estrato de tonalidad parda. Se detecta material orgánico, pigmentos tierras y albayalde. 8. Estrato de tonalidad parda. Se detecta material orgánico, pigmentos tierras y albayalde. 9. Policromía rosada elaborada con albayalde, una pequeña cantidad de bermellón y pigmentos tierras. 10. Barniz oxidado con suciedad. Los análisis han detectado la presencia de compuestos terrosos, fosfatos, albayalde y yeso.

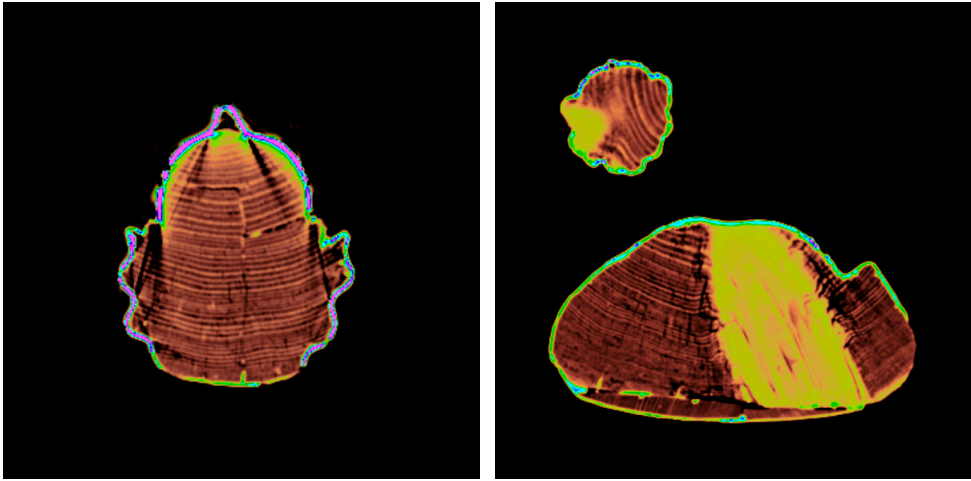


Figura 269-270.

A 112/731- A 198/731. Cortes axiales en los que se observa la diferencia de densidad en la policromía de carnaciones, así como en aquella de tonalidad roja como la del manto de la Virgen.

■ 4.10.3.3. Restauración de la imagen de *Santa María de Carlet*

El estudio de la imagen de *Santa María de Carlet* mediante TC ha resultado concluyente a la hora de acometer el proceso de restauración y tomar decisiones importantes en la ejecución de dicha intervención.

Es por ello por lo que se ha decidido seleccionar este caso para afirmar con rotundidad que no solo la TC resulta relevante a la hora de estudiar la estructura interna de una pieza escultórica, sino que es precisa su aplicación en aquellos casos en que la obra presenta multitud de intervenciones.

Tal y como hemos descrito en el análisis que se ha realizado de la pieza escultórica a través del estudio tomográfico, esta presentaba una serie de elementos que ponían de manifiesto que había sido sometida a diversas intervenciones de restauración.

En este caso resultó fundamental el análisis mediante TC a la hora de llevar a cabo una correcta restauración en algunas de las intervenciones que presentaba la imagen.

Concretamente, una de las decisiones más importante fue la concerniente a la de la zona del trono que presentaba una pieza añadida y una reconstrucción. Se pudo determinar exactamente el tamaño de ambas, y localizar la situación de

aquellos elementos de sujeción como son los clavos metálicos. A su vez quedó evidenciado que, tras la reconstrucción del lateral derecho, quedaban restos deteriorados de la talla del trono original.

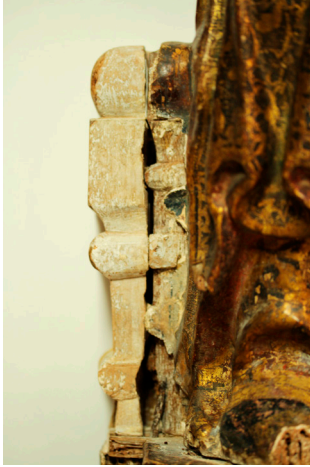


Figura 271.
Detalle de la nueva pieza añadida (pieza nº 2) en el lateral izquierdo después de haber sido eliminados los repolicromados y estucos de relleno.



Figura 272.
Corte coronal en el que se observa las dos piezas añadidas al trono.

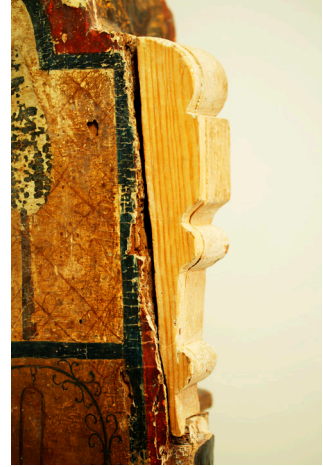


Figura 273.
Detalle de la nueva pieza añadida (pieza nº 1) en el lateral derecho después de haber sido eliminados los repolicromados y estucos de relleno.

En otro de los elementos añadidos a la imagen, como era el panel de madera que recubre el dorso, también resultaba complicado determinar su estructura, ya que la policromía la ocultaba. Mediante el análisis tomográfico se pudo ver que dicho panel estaba construido con varias piezas de madera, concretamente tres, de distinta configuración y diferentes tipos de maderas. También se localizó exactamente la situación del elevado número de clavos y tornillos que habían sido utilizados en la sujeción de dichas piezas.

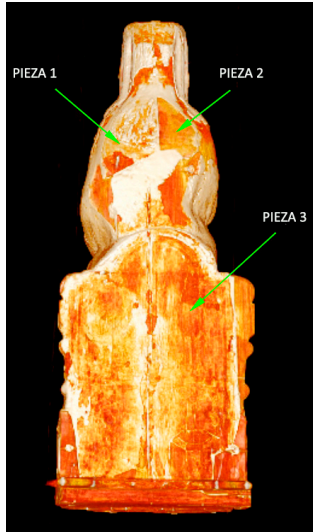


Figura 274.
3D *clut-muscle-bones*.
Reconstrucción volumétrica (3D) en la que se sitúan las tres piezas que conforman el panel trasero.



Figura 275.
Pieza nº 3 del panel trasero, una vez retirada del reverso de la imagen de *Santa María de Carlet*.

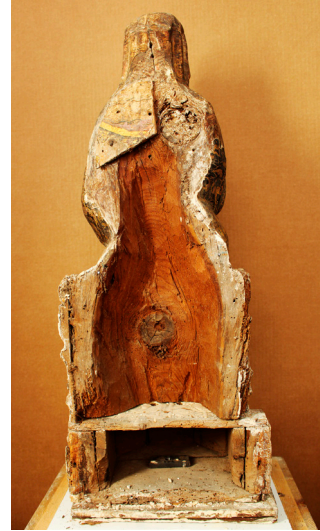


Figura 276.
Reverso de la imagen, una vez retiradas las piezas nº 2 y 3 del panel trasero y las piezas nº 1 y 2 de los laterales del trono.

Con respecto a la gran grieta que se observaba en el lateral izquierdo del rostro de la Virgen, se pudo determinar el alcance de esta a nivel estructural.

De forma generalizada, por toda la imagen se observaban multitud de zonas con estucados y repolicromados, sin poderse determinar el número de estos. El análisis tomográfico no diferencia los distintos estratos que conforman una policromía, pero sí determina el espesor de algunas zonas en las que ha sido utilizado un nuevo relleno; así se pudieron localizar diferentes espesores de rellenos.

El análisis previo mediante TC ha resultado decisivo en la intervención de esta pieza escultórica por diversas cuestiones: en primer lugar, por la confusión que creaba la imagen en un principio debido a la multitud de intervenciones que se habían solapado a lo largo de los años y, en segundo término, por tratarse de una imagen al culto. El análisis tomográfico sirvió como base de apoyo principal para justificar una intervención correcta de la obra previa a su restauración, con todos los condicionantes que presenta el ser una imagen dedicada al culto.

Por todo ello, se decidió eliminar todas aquellas intervenciones más recientes, a excepción de la mano de la Virgen y del Niño, y ajustar y conservar las menos recientes, parte del trono en el lateral izquierdo y el panel trasero, para de esta manera proporcionar a la imagen una integridad en todo su conjunto.

A continuación exponemos una serie de imágenes secuenciales del proceso de restauración de la imagen de *Santa María de Carlet*.



Figura 277-278-279.

Imágenes secuenciales en las que se visualizan las diferentes fases de eliminación del repolicromado del rostro de la Virgen.



Figura 280-281.

Proceso de reconstrucción volumétrica del soporte y estucado de pérdidas en el reverso de la imagen.



Figura 282-283.

Estado final del anverso y reverso de la imagen de *Santa María de Carlet*.

4.10.4. *San Miguel Arcángel*

Ficha técnica

- **Autor:** Anónimo.
- **Época:** Siglo XV.
- **Técnica y materiales:** Cartón piedra modelado, dorado, corlado y policromado.
- **Dimensiones:** 147 × 90 × 50 cm.
- **Localización:** Museo Histórico del Ayuntamiento de Valencia.

Protocolos de estudio

- **Tomógrafo:** Equipo de tomografía computarizada Siemens Somatom Definition Flash®.
- **Protocolo de estudio:** Abdomen-pelvis 2.0 50f.
- **Imágenes tomográficas:** 951 cortes trasversales o axiales de 2 mm de espesor.
- **Voltaje del tubo de RX:** 80 KV.

En este caso no se ha podido realizar una valoración total de la talla, ya que su anchura excede la región máxima de exploración del tomógrafo.



Figura 284.
Imagen visible de *San Miguel Arcángel*.

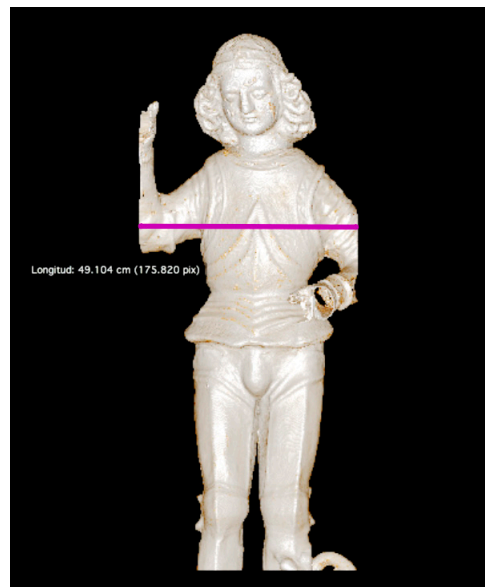


Figura 285.
Medida del campo de visión del tomógrafo en anchura.

4.10.4.I. Protocolos de estudio en el análisis de la escultura

Para poder referenciar espacialmente los diferentes elementos que queremos estudiar en la pieza escultórica, hemos calculado un 'punto de origen' que situamos en la superficie de la imagen, concretamente en un punto medio de la frente, y que nos sirve como referencia, visual y espacial, para situar los elementos que queremos analizar del interior de la misma. El 'punto de origen' se localiza en la imagen tomográfica A 98/951 (Fig. 286-287).

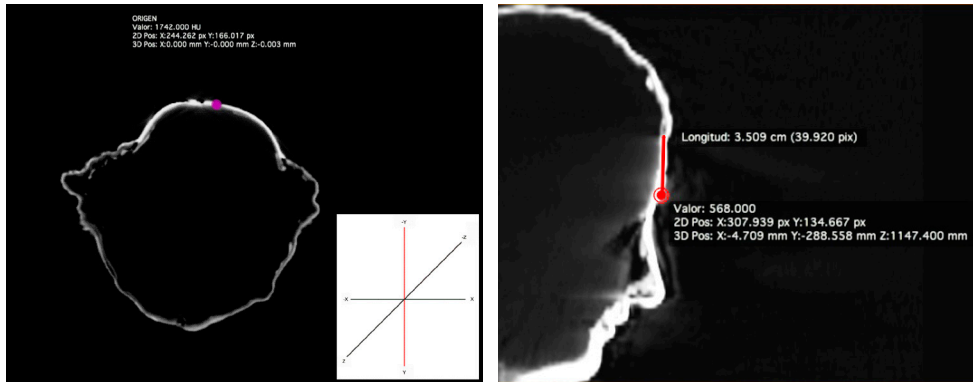


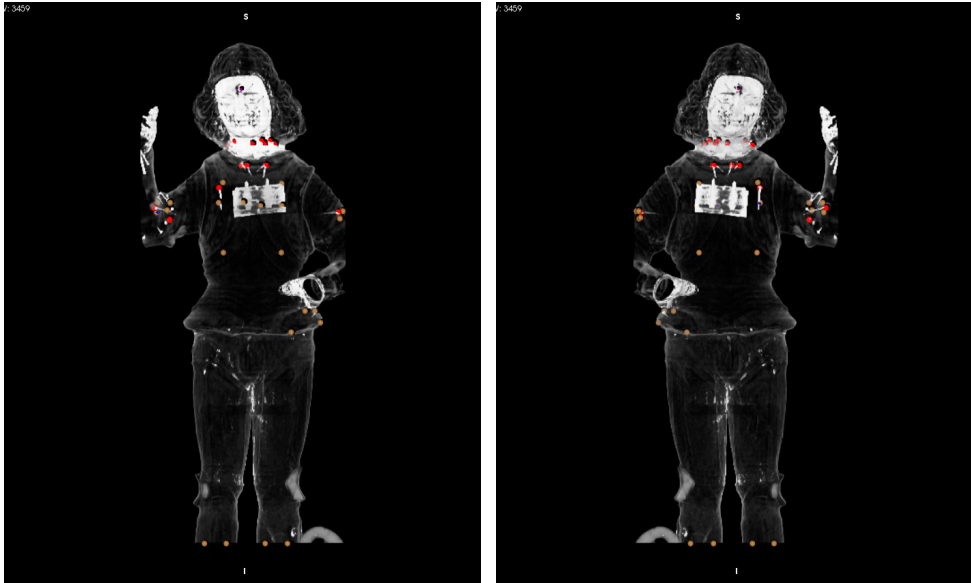
Figura 286-287.

A 98/951 – S 285/512. Corte axial y sagital en los que se sitúa el punto de origen y el sistema de ejes cartesianos tal y como se define en TC y que va a determinar la coordenadas espaciales de los distintos ROIs de punto situados en la imagen de *San Miguel Arcángel*.

Para situar todos los elementos y alteraciones analizados en las imágenes tomográficas, se han ido posicionando distintos ROIs de punto en las imágenes axiales según el protocolo de estudio para la definición de elementos a analizar.

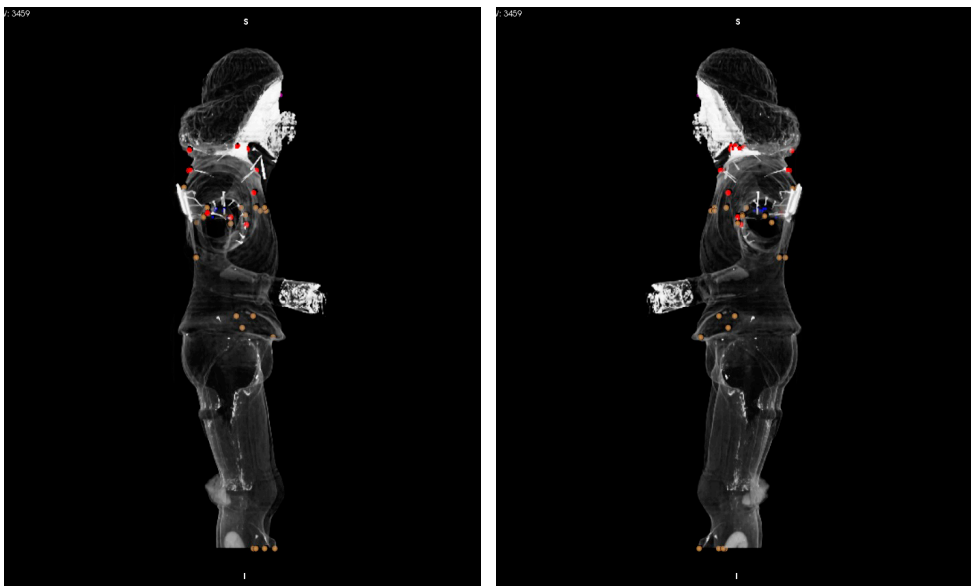
Estos puntos se han situado a nivel de superficie para, de esta manera, poder establecer la posición de los elementos que queremos referenciar del interior de la pieza escultórica. Así, en la reconstrucción (3D) podemos visualizar la totalidad de los diferentes ROIs de punto que se han determinado en el análisis de la imagen de *San Miguel Arcángel* (Fig. 288-289-290-291).

En la discusión del caso se irán localizando espacialmente los diferentes ROIs que referencian los elementos del interior de la imagen.



Anverso

Reverso



Lateral derecho

Lateral izquierdo

Figura 288-289-290-291.

3D *No-clut*. Reconstrucción volumétrica (3D) en la que observamos la posición de los diferentes ROIs de punto utilizados en el análisis de los elementos internos.

■ 4.10.4.2. Estudio de la técnica de ejecución y estado de conservación

A. Soporte

La imagen de *San Miguel Arcángel* está realizada mediante la técnica escultórica del modelado conocida como escultura de cartón piedra⁵⁸ o *papelón*⁵⁹.

Para entender mejor cómo está construida esta imagen, ya que no se trata de una talla realizada en madera sino con una técnica de ejecución totalmente diferente, hemos empezado por analizar su estructura interior.

Sistema constructivo interno

Se observa una estructura interna a modo de armazón o sustento del soporte de cartón definida en varias piezas totalmente diferenciadas en las siguientes estructuras:

1. Base de soporte de la cabeza.
2. Soporte del cuerpo.
3. Soporte del anclaje de las alas.
4. Soporte del brazo izquierdo.
5. Soporte del brazo derecho.
6. Otras piezas y rellenos.

1. Base de soporte de la cabeza

En la base de la cabeza y concretamente abarcando todo el cuello de *San Miguel Arcángel*, se sitúa una estructura de apoyo o refuerzo que localizamos en la Fig. 292 en las coordenadas espaciales (25,499 mm, 77,112 mm, -122,205 mm).

58 "Se compone esta pasta de cola fuerte, blanco de España y pasta de papel, o en su lugar una adición de papel seda. Se utiliza en este sentido las páginas de papel de libros de cobre usados, cortados en pequeños trozos y puestos a cocer juntamente con la cola. En esta pasta no entran resinas. Una vez la cola fundida y disuelto el papel que le hemos incorporado, se mezcla con blanco bien pulverizado, amasando el todo de manera que se hace argamasa. Después se bate con las manos incorporando al mismo más blanco de España, hasta conseguir su consistencia y firmeza, resultándonos una verdadera masa de blanco de España. El cartón piedra así preparado es de buen uso". Amich, C. *Manual del dorado sobre madera*. (Palma de Mallorca: Sintet.1969), p. 33.

59 "La escultura de papelón o cartapasta se desarrolla en Italia durante los siglos XV al XIX. Mediante esta técnica se elaboraban esculturas completamente vacías en su interior, realizadas sobre un molde predefinido. (...) asimilación de una técnica de origen oriental que desarrollada en Persia e India llegó a Europa a través de los comerciantes venecianos". Travieso, J. M. "Escultura de papelón: Un recurso para el simulacro". *Atticus*, nº 4 (Mayo 2011) , p.18. Consultado el 10 de febrero de 2015.
<http://www.revistaatticus.es>.

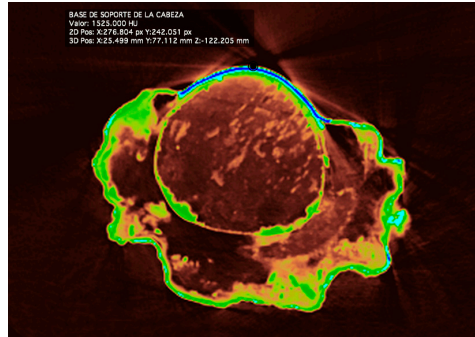


Figura 292.

A 190/951. Corte axial en el que se determinan las coordenadas espaciales que sitúan la estructura de apoyo de la cabeza.

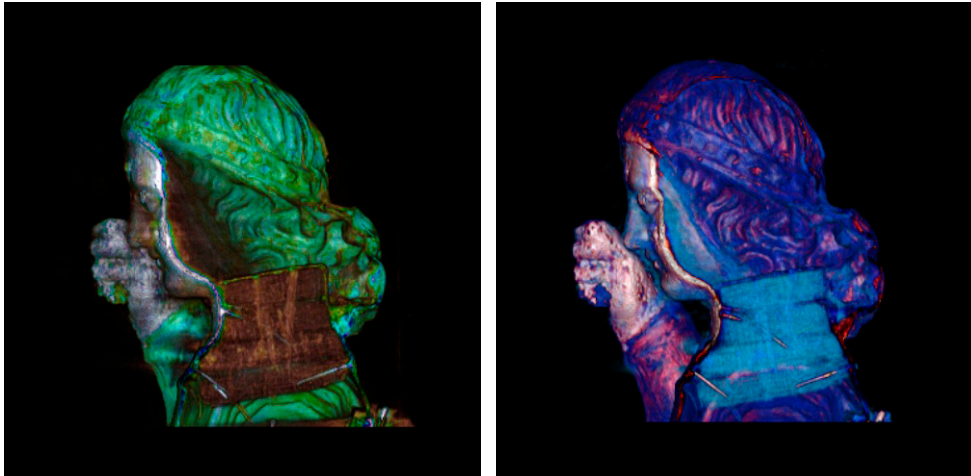


Figura 293-294.

3D *clut-french* y *clut-flow*. Diferentes reconstrucciones volumétricas (3D) con recorte en el lateral izquierdo en las que se visualiza la estructura de soporte de la cabeza.

Las reconstrucciones volumétricas (3D) vistas con diferentes CLUTs definen una sola pieza adaptada a la forma del cuello (Fig. 293-294).

Tras el análisis de las diferentes imágenes tomográficas, observamos que dicha pieza está realizada de un material de diferente densidad a la de la madera y en el que no aparecen reflejados los anillos de crecimiento. Apoyándonos en el estudio mediante video-endoscopia que se ha realizado del interior de la imagen, se ha podido ver que dicha pieza está realizada en corcho (Fig. 295). Este se caracteriza por estar formado de "células poliédricas, vacías en su interior,

estrechamente ligadas unas con otras; con una estructura discontinua debido a la presencia de lenticelas (poros) que lo atraviesan radialmente en todo su grosor"⁶⁰. Las características de dicho material quedan reflejadas con toda claridad en las imágenes tomográficas A 240/951 y C 293/512 (Fig. 296-297), en las que se visualizan perfectamente definidos las lenticelas o poros.



Figura 295.

Estudio mediante video-endoscopia en el que se observa que la pieza que se sitúa en el cuello del *San Miguel Arcángel* está realizada en corcho.

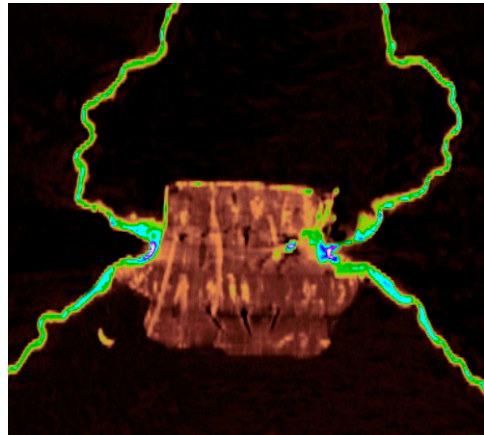
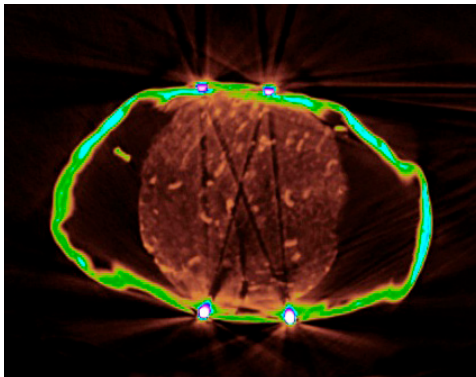


Figura 296-297.

A 240/951 - C 293/512. Corte axial y coronal en los que se observa las lenticelas o poros característicos del corcho.

60 Remache, A. *Tecnología del corcho* (Madrid: Vision net, 2008), p. 52.

Esta pieza se sujeta al soporte de cartón piedra mediante la inserción de un total de doce elementos metálicos. En la imagen tomográfica A 196/951 (Fig. 298), entrando desde la superficie, se visualizan tres clavos; en la A 200/951 (Fig. 299) cinco clavos, cuatro se insertan desde el anverso del cuello y el quinto desde el reverso a la altura de la base del cabello, y en la A 240/951 cuatro elementos metálicos, dos clavos desde anverso y dos tornillos desde reverso (Fig. 296).

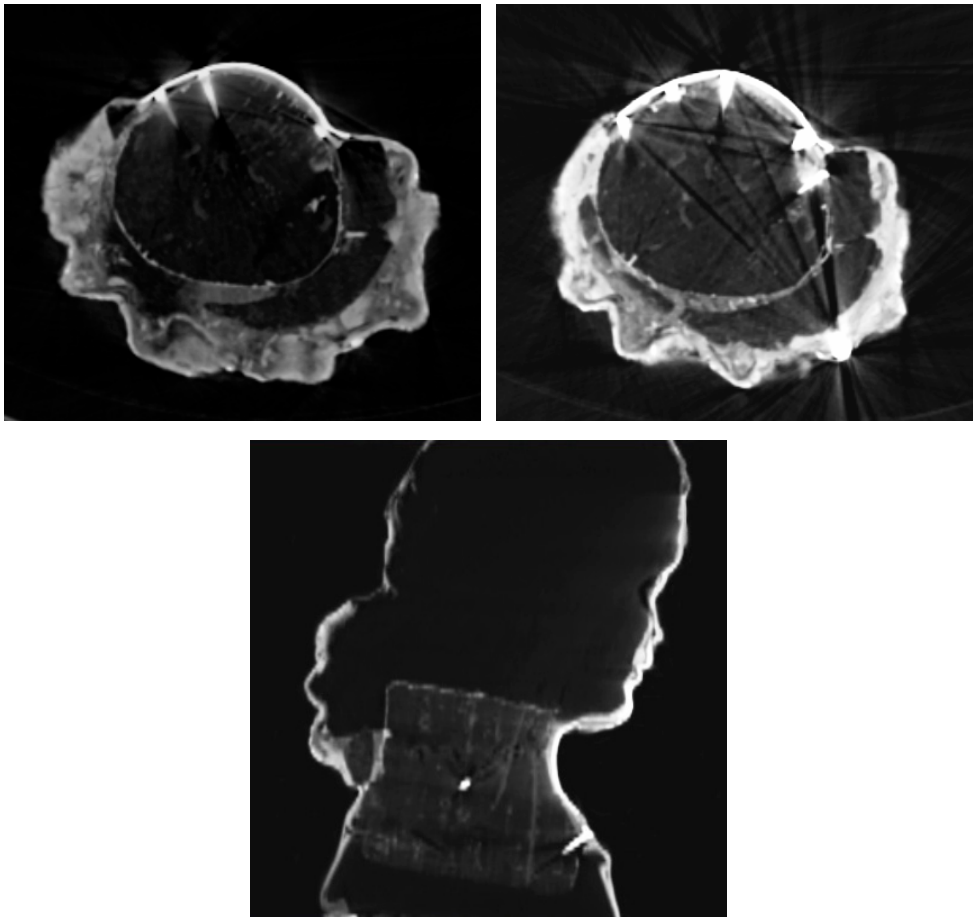


Figura 298-299-300.

A 196/951- A 200/951- S 256/512. Cortes axiales y sagital en los que se observa los clavos y tornillos de sujeción de la pieza de soporte de la base de la cabeza.

A través de las medidas espaciales del punto de inicio y el punto final de cada uno de los clavos, se ha podido determinar su longitud y sus ángulos de inclinación (Tabla 28).

Tabla 28.
Coordenadas espaciales y esféricas de los clavos.

	COORDENADAS ESPACIALES INICIO (mm)	COORDENADAS ESPACIALES FINAL (mm)	LONGITUD (mm)	ANGULO θ	ANGULO φ
Clavo nº 1	X:50,445	X:41,286	27,03	78,91°	110,20°
	Y: 82,038	Y: 106,933			
	Z:-124,809	Z: -130,009			
Clavo nº 2	X: 71,302	X: 63,034	21,58	76,06°	113,25°
	Y: 92,634	Y: 111,908			
	Z:-124,809	Z: -130,009			
Clavo nº 3	X: -15,587	X:30,731	71,56	59,43°	223,57°
	Y: 110,170	Y: 154,973			
	Z: -127,409	Z: -166,409			
Clavo nº 4	X: 29,006	X: 31,177	23,60	96,32°	264,68°
	Y: 81,380	Y: 104,736			
	Z: -132,609	Z: -130,009			
Clavo nº 5	X: 56,081	X: 44,970	23,59	77,27°	118,87°
	Y: 89,883	Y: 110,038			
	Z: -132,609	Z: -137,809			
Clavo nº 6	X: 81,195	X: 77,176	21,30	82,99°	100,96°
	Y: 102,511	Y: 123,262			
	Z: -132,609	Z: -135,209			
Clavo nº 7	X: -31,047	X: -10,134	58,51	74,54°	111,77°
	Y: 225,061	Y: 177,695			
	Z: -132,609	Z: -148,209			
Clavo nº 8	X: -34,388	X: -7,186	33,72	98,87°	215,26°
	Y: 122,666	Y: 141,900			
	Z: -137,809	Z: -132,609			
Clavo nº 9	X: 62,353	X: 56,567	47,97	49,43°	99,14°
	Y: 61,211	Y: 91,535			
	Z: -181,609	Z: -215,808			
Clavo nº 10	X: 15,404	X: 25,067	48,36	53,74°	255,65°
	Y: 58,639	Y: 96,420			
	Z: -184,609	Z: -213,208			

	COORDENADAS ESPACIALES INICIO (mm)	COORDENADAS ESPACIALES FINAL (mm)	LONGITUD (mm)	ANGULO θ	ANGULO φ
Clavo nº 11	X: 61,211	X: 36,136	65,21	73,79°	68,38°
	Y: 219,973	Y: 161,757			
	Z: -184,609	Z: -202,808			
Clavo nº 12	X: -0,596	X: 10,635	55,71	76,51°	101,96°
	Y: 221,699	Y: 168,701			
	Z: -184,609	Z: -197,609			

En las reconstrucciones volumétricas (3D) de la cabeza, en un recorte del reverso de la zona superior del lateral derecho e izquierdo de la cabeza, se ha podido visualizar con mayor claridad la pieza de soporte de la base (Fig. 301-302-303-304).

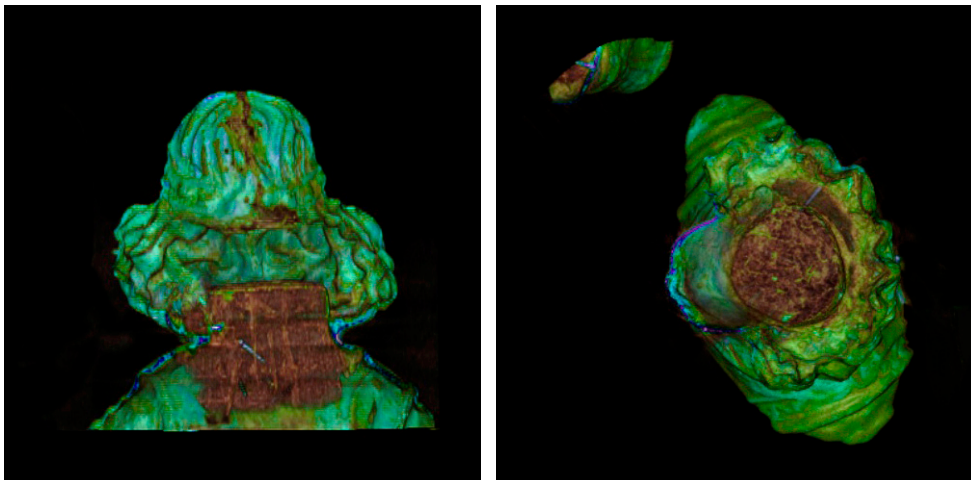


Figura 301-302.

3D *clut-french*. Reconstrucción volumétrica (3D) con recorte del anverso y la parte superior, en las que se visualiza la estructura de la pieza de soporte de la base de la cabeza.

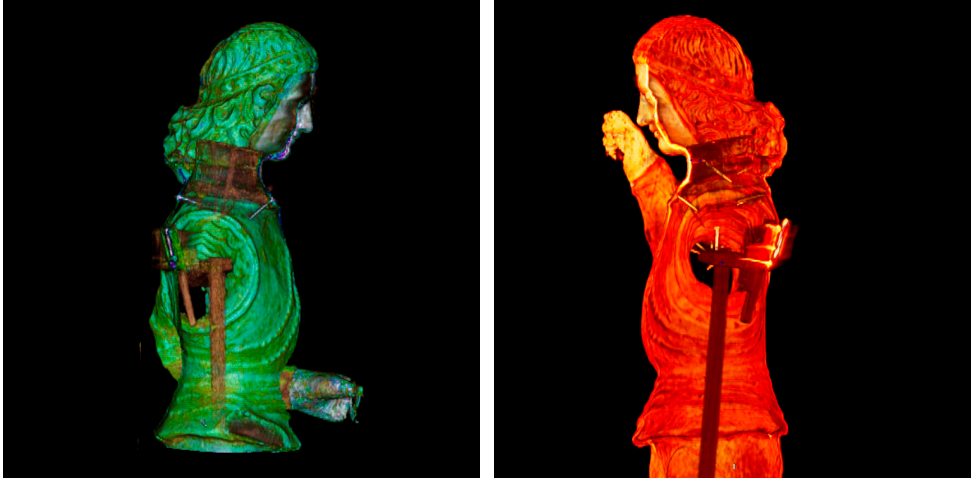


Figura 303-304.

3D *clut-french* y *clut-VR muscles-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) con recorte del lateral derecho y lateral izquierdo, en las que se visualiza la estructura de la pieza de soporte de la base de la cabeza.

En las imágenes tomográficas C 294/512 y C 310/512 se han podido determinar las medidas de la pieza de corcho de la base de la cabeza (Fig. 305-306 y Tabla 29), y en las A 182/951- A 254/951 se ha medido el diámetro de la zona superior (Fig. 307) y de la zona inferior de esta (Fig. 308). Dichas medidas quedan reflejadas en la Tabla 30.

Tabla 29.

Medidas de la pieza de soporte de la base de la cabeza.

	Alto (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)
S 294/512	-----	-----	13,434
C 310/512	11,432	17,127	-----

Tabla 30.

Medidas de diámetros de la pieza de soporte de la base de la cabeza.

	Ancho (cm)	Largo (cm)
A 182/951	11,354	10,894
A 254/951	12,881	14,230

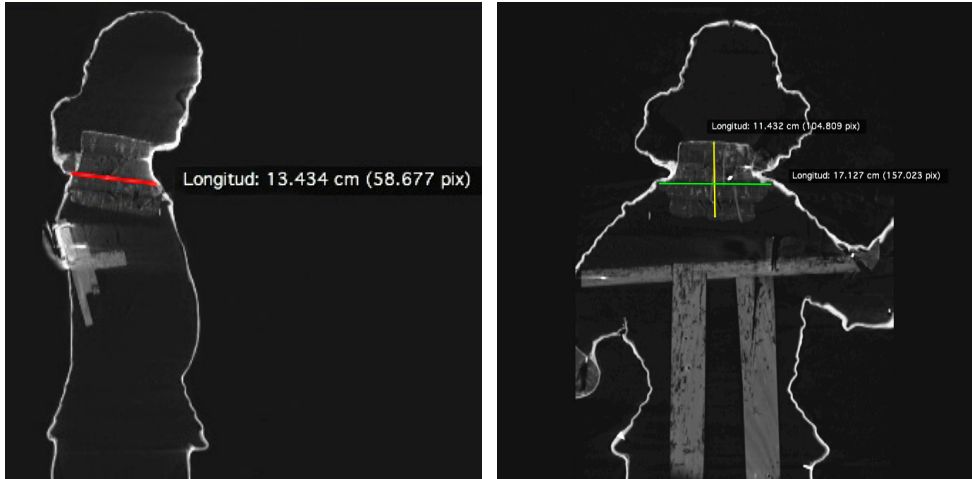


Figura 305-306.

S 294/512- C310/512. Corte sagital y coronal en el que se determinan las medidas del soporte de la base de la cabeza.

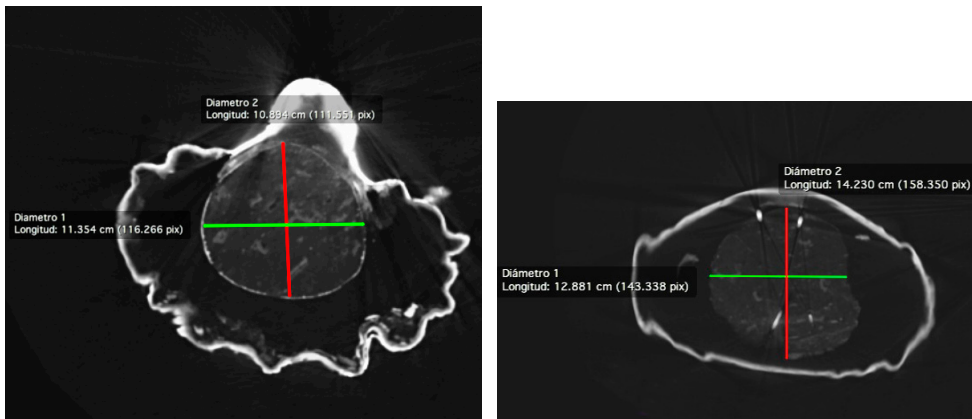


Figura 307-308.

A 182/951- A 254/951. Cortes axiales en los que se mide los diferentes diámetros de la zona superior e inferior del soporte de la base de la cabeza.

2. Soporte del cuerpo

Otra de las estructuras de soporte que se ha identificado en el sistema constructivo de la imagen está realizada con tres listones de madera con una disposición en forma de T, uno horizontal y dos en vertical (Fig. 309-310-311).

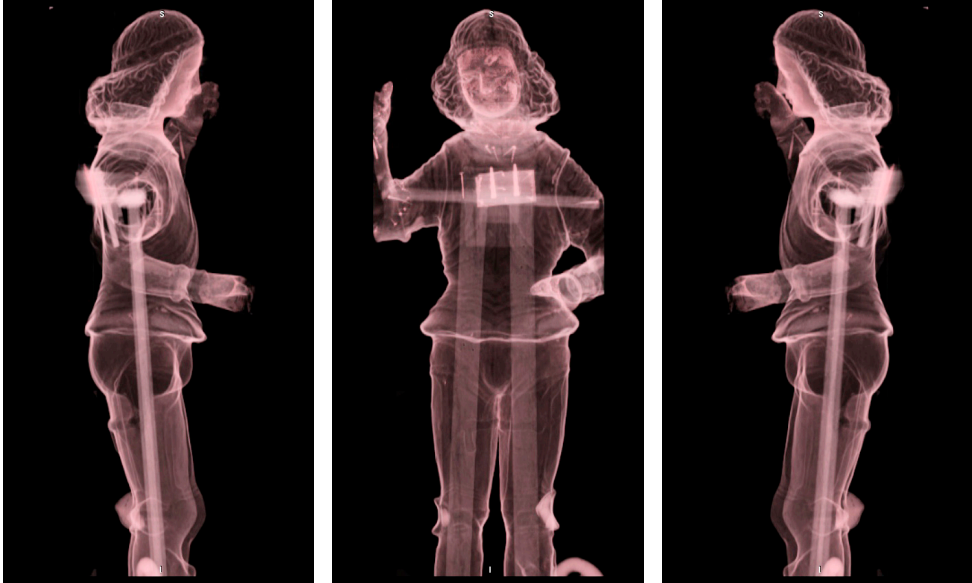


Figura 309-310-311.

3D *clut-endoscopy*. Reconstrucción volumétrica (3D): lateral derecho, anverso y lateral izquierdo, en las que se visualiza la estructura de soporte del cuerpo del *San Miguel Arcángel*.

El listón de madera en horizontal está situado a una altura media de los brazos y del pecho. Lo localizamos en la Fig. 312 en las coordenadas espaciales (242,183 mm, 120,804 mm, -293,8 mm). Las medidas de dicho listón quedan reflejadas en la Fig. 312-313 y la Tabla 31.

Tabla 31.

Medidas del listón horizontal de la estructura de soporte del cuerpo.

	Alto (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)
A 324/951	-----	45.013	5,226
S 199/512	2,224	-----	-----

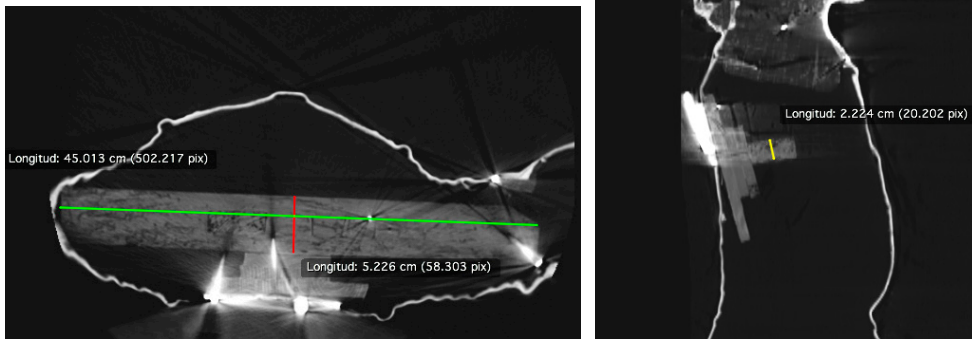


Figura 312-313.

A 324/951- S199/512. Corte axial y sagital en los que se sitúan las medidas del listón de madera horizontal de la estructura de soporte del cuerpo.

Este se sujeta a la estructura de cartón piedra de la imagen mediante dos clavos, que se insertan en el vértice superior izquierdo y en el vértice inferior derecho.

Los listones de madera en vertical están encastrados en el listón horizontal y se emplazan en el interior de cada una de las piernas. Para ambos listones, se localiza su inicio en la Fig. 314, el listón izquierdo en las coordenadas espaciales (77,802 mm, 145,144 mm, -301,605 mm) y el derecho en (-22,331 mm, 149,341 mm, -301,605 mm). Su punto final se sitúa en la peana de madera que da soporte a la pieza escultórica (Fig. 315). Este análisis no ha podido corroborarse mediante las imágenes tomográficas, ya que la peana superaba las medidas de la garganta del tomógrafo. La medida en altura de dichos listones solo se ha podido determinar hasta la cola de la figura zoomorfa que representa al diablo y que se sitúa a los pies de la pieza escultórica (Fig. 316). Nos da una medida en altura hasta dicha zona de 82,783 cm.

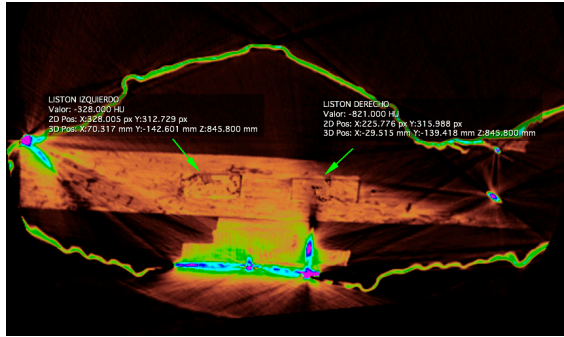


Figura 314.

A 330/951. Corte axial en el que se sitúan las coordenadas de inicio de los listones verticales de la estructura de soporte del cuerpo.



Figura 315.

Detalle del interior de la peana en el que se observa el sistema de sujeción de los listones verticales a la estructura de madera de la peana.



Figura 316.

Zona de medida hasta la que ha podido analizar el tomógrafo.

Sí se ha podido medir el ancho y largo de estos.

Tabla 32.
Medidas de los dos listones verticales de la estructura de soporte del cuerpo.

	Alto (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)
Listón 1	-----	4,861	1,897
Listón 2	-----	5,864	1,807

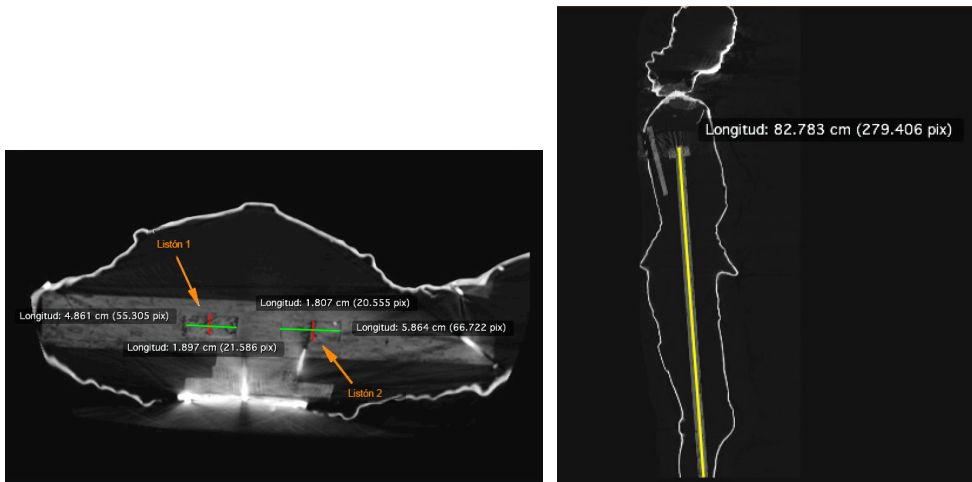


Figura 317-318.

A 324/951-S 285/512. Corte axial y sagital en los que se ha medido los dos listones verticales.

A través de la reconstrucción volumétrica (3D) en la que se ha realizado un recorte desde diferentes zonas, se ha podido analizar el sistema constructivo de la estructura de soporte del cuerpo del *San Miguel Arcángel* (Fig. 319-320-321).

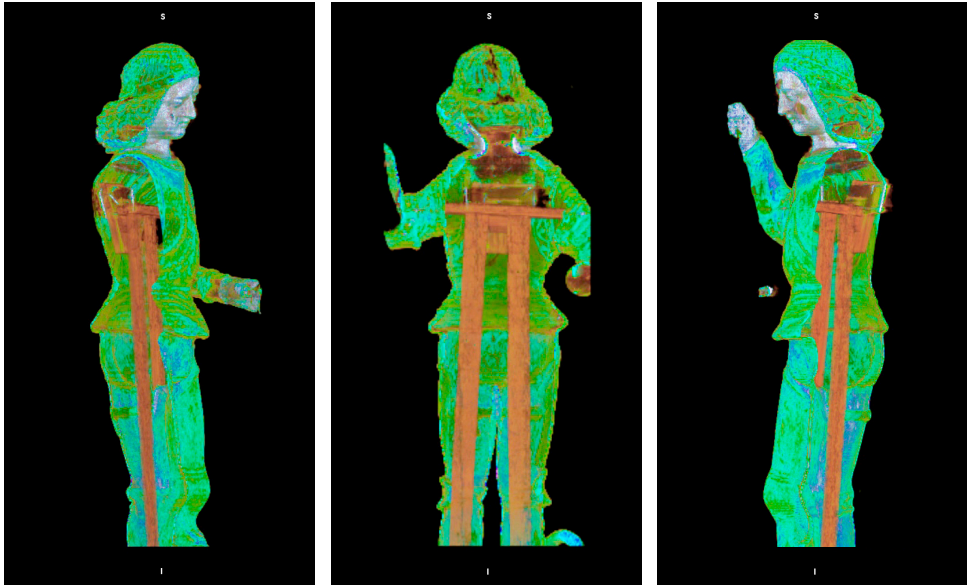


Figura 319-320-321.

3D *clut-french*. Reconstrucción volumétrica (3D) con recorte desde el lateral derecho-anverso, anverso y lateral izquierdo-anverso, en las que se visualiza la estructura de soporte del cuerpo del *San Miguel Arcángel*.

Otra de las posibilidades que nos permite la tomografía computarizada, y a la que ya hemos referenciado con anterioridad, es el poder aislar elementos del interior de la estructura interna de una escultura en madera.

En el caso del *San Miguel Arcángel*, a través de las diversas coordenadas espaciales determinadas por la TC de la estructura de soporte del cuerpo, se ha podido realizar una renderización de dicha estructura, recreando su configuración original (Fig. 322-323).



Figura 322-323.
Diferentes vistas de la renderización de la estructura de soporte del cuerpo del *San Miguel Arcángel*.

3. Soporte del anclaje de las alas

En la espalda de la imagen, en su parte exterior, se visualiza una pieza metálica rectangular donde se anclan sus alas de madera (Fig. 324-325). Dicha pieza soporta un gran peso al ser el único punto de sustento de estas. Es por ello, por lo que se realiza un soporte de refuerzo interior para sujetar dicho anclaje, debido a la fragilidad del material (cartón piedra) con el que está realizada la pieza escultórica.

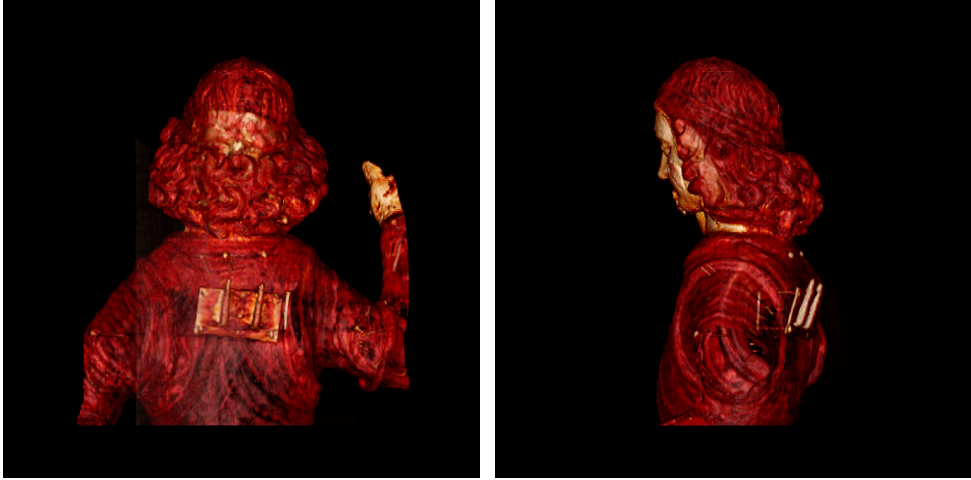


Figura 324-325.

3D *clut-VR muscle-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) en la que se visualiza la pieza metálica exterior de anclaje de las alas del *San Miguel Arcángel*.

Este refuerzo interior se construye con tres tablas superpuestas y se sitúa entre el soporte de cartón piedra y el listón horizontal de la estructura de soporte del cuerpo (Fig. 326).

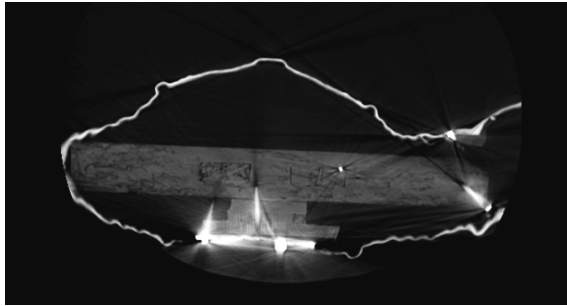


Figura 326.

A 326/951. Corte axial en el que se visualiza la situación de la estructura de soporte del anclaje de las alas.

Mediante la reconstrucción volumétrica (3D) con recorte desde diferentes posiciones, se ha podido analizar dicha estructura.

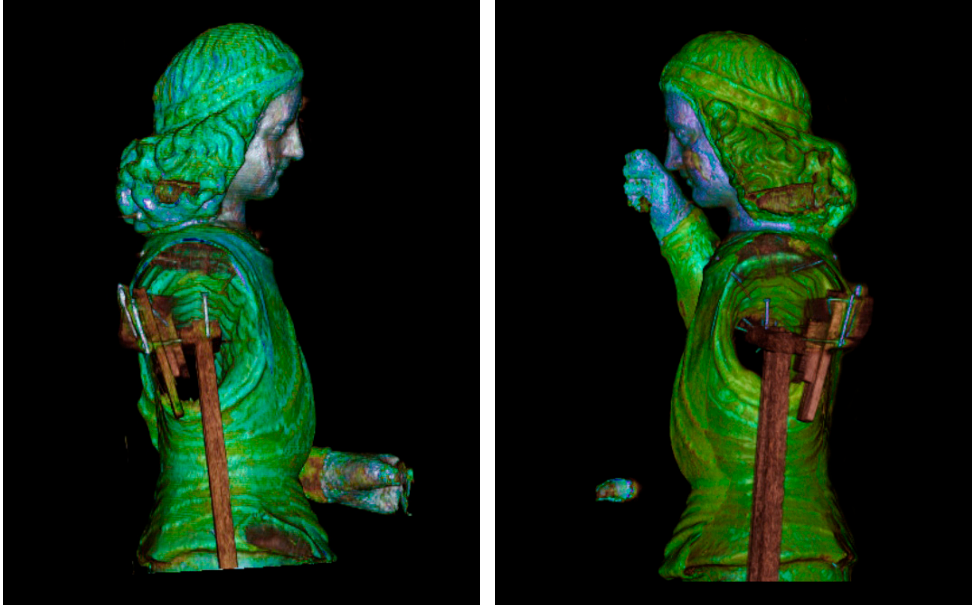


Figura 327-328.

3D *clut-french*. Reconstrucción volumétrica (3D) con recorte desde diferentes posiciones (lateral derecho e izquierdo).

Las medidas de las tres tablas se han determinado a través de las imágenes tomográficas (Tabla 34). Estas se localizan en la Fig. 329, en las coordenadas espaciales que se determinan en la Tabla 33.

Tabla. 33.

Coordenadas espaciales en las que se sitúan las tres tablas que configuran la estructura de soporte del anclaje de las alas.

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Tabla nº 1	44,734	177,819	-301,435
Tabla nº 2	44,734	193,554	-304,485
Tabla nº 3	44,734	208,919	-305,17

Tabla. 34.

Medidas de las tres tablas que configuran la estructura de soporte del anclaje de las alas.

	Alto (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)
Tabla nº 1	17,527	8,048	1,010
Tabla nº 2	10,812	8,132	1,057
Tabla nº 3	8,148	14,116	1,015

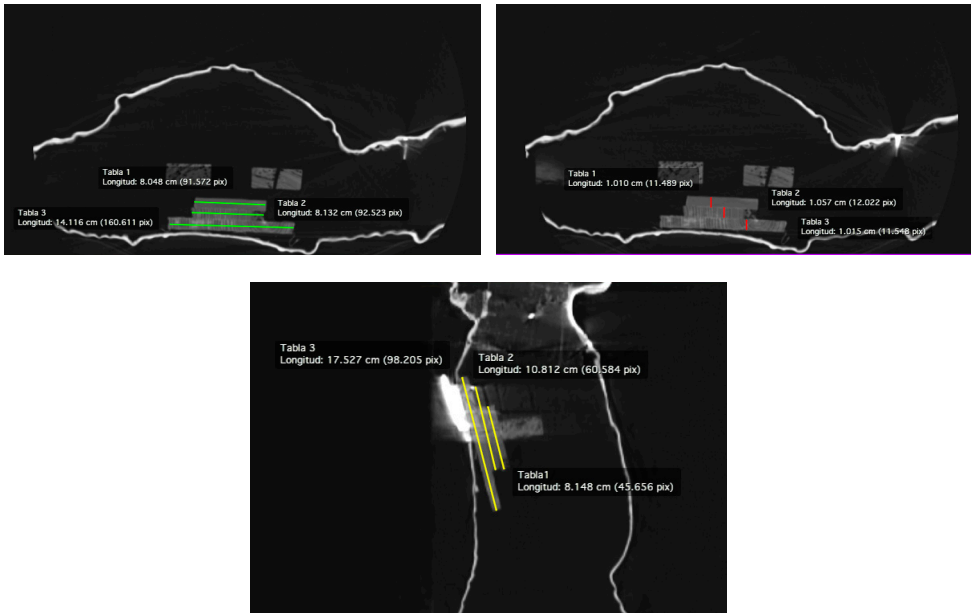


Figura 329-330-331.

A 342/951-A 344/951- S 310/512. Cortes axiales y sagital en los que se ha determinado las medidas de las tres tablas.

El anclaje metálico de las alas se sujeta mediante varios clavos a dicha estructura de soporte interior, llegando a insertarse dichos clavos hasta el listón horizontal (Fig. 326).

4. Soporte del brazo izquierdo

En las imágenes tomográficas del brazo izquierdo de la pieza escultórica, observamos que tanto el antebrazo como la mano se encuentran tallados en madera y de forma independiente uno del otro, ya que un mechón o perno de madera en el antebrazo se inserta en la mano como refuerzo de sujeción de una pieza a la otra (Fig. 332).

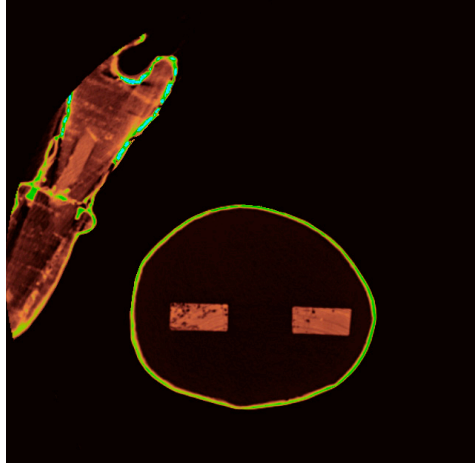


Figura 332.

A 470/951. Corte axial en el que se visualiza la mano y el antebrazo realizados en madera.

En la reconstrucción volumétrica (3D) con recorte, se ha podido confirmar que tanto la mano como el antebrazo están tallados en madera (Fig. 333-334). No se ha podido determinar hasta dónde abarca la talla del antebrazo ni su inserción con el brazo, ya que el volumen de la pieza escultórica en esta zona excede el campo de visión del tomógrafo.

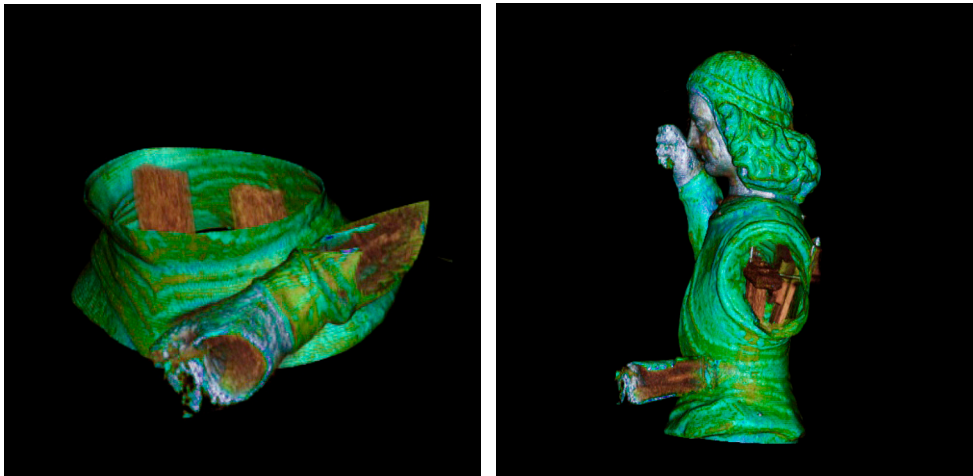


Figura 333-334.

3D *clut-french*. Reconstrucciones volumétricas (3D) de recorte en las que se visualiza la estructura de madera de la mano y el antebrazo izquierdo.

5. Soporte del brazo derecho

Tras el análisis de las imágenes tomográficas del brazo derecho del *San Miguel Arcángel*, observamos que solo se encuentra tallada en madera la mano, abarcando en dicho tallado también la muñeca. Esta se sujeta a la estructura de cartón piedra del antebrazo mediante la inserción de varios clavos (Fig. 335).

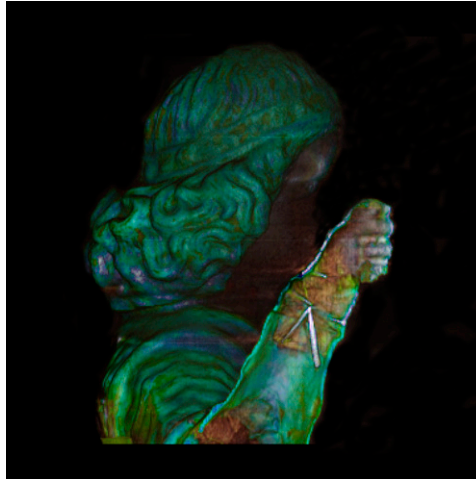


Figura 335.

3D *clut-french*. Reconstrucción volumétrica (3D) con recorte en la que se visualiza la mano derecha realizada en madera y su sujeción mediante clavos.

Para sujetar el brazo y como medida de refuerzo, debido a su posición en alza, por la fragilidad del material con el que está construido y por el peso añadido de la talla de la mano realizada en madera, se coloca una pieza de madera en la articulación del brazo, la cual se sujeta al armazón interior, concretamente al listón horizontal, mediante clavos.

No se ha podido determinar por completo la estructura del antebrazo derecho, ya que el volumen de la pieza escultórica en esta zona excede el campo de visión del tomógrafo.

6. Otras piezas y rellenos

Pieza de refuerzo en la base de la armadura

En el lateral izquierdo y situada en la base del cuerpo de la armadura, se ha podido analizar (Fig. 336-337) una pequeña pieza a modo de refuerzo de dicha zona, realizada en madera, de $10,770 \times 5,810$ cm (Fig. 338), pero de una densidad diferente a la del armazón interno y de la misma que la talla del brazo izquierdo

y la mano derecha. Esta se localiza en la Fig. 337 en las coordenadas espaciales (157,455 mm, 70,714 mm, -566,262 mm).

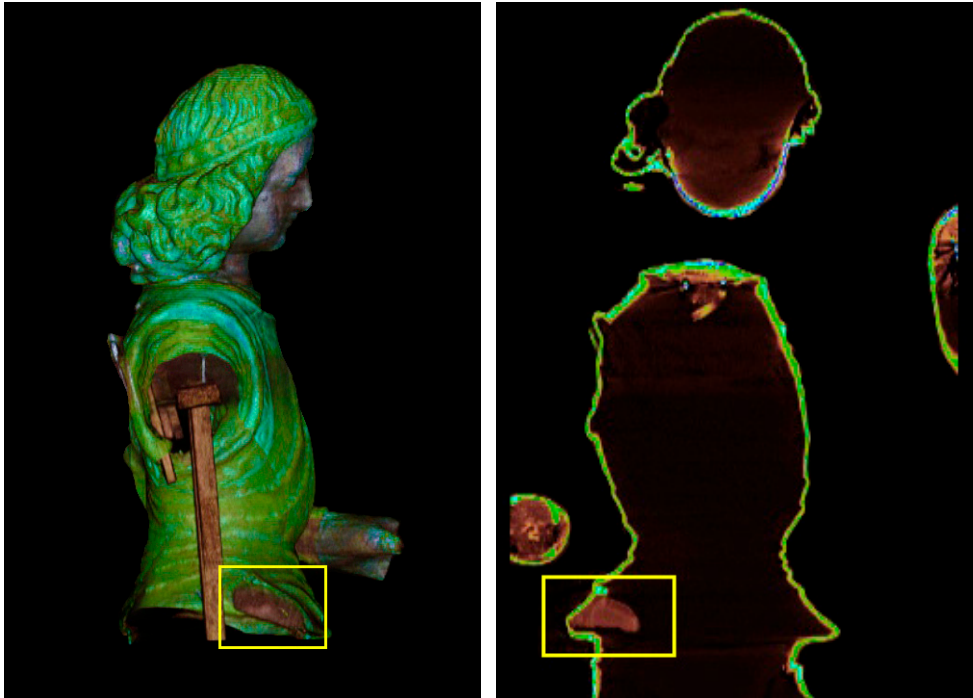


Figura 336-337.

3D *clut-french*- C 236/512. Reconstrucción volumétrica (3D) con recorte en el lateral derecho y corte coronal en los que se visualiza la pieza.

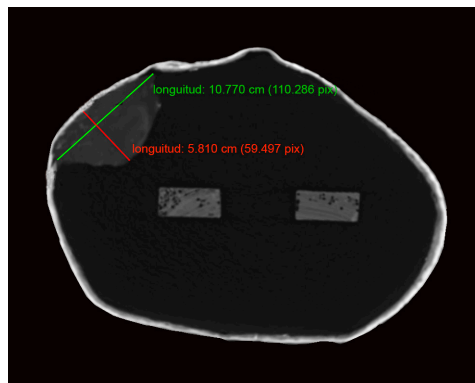


Figura 338.

A 532/951. Corte axial en el que se ha medido la pieza situada en el lateral izquierdo de la base de la armadura.

Diversas zonas con rellenos

En algunas zonas del interior de la pieza escultórica se observan diferentes materiales de relleno, concretamente en la forma que da volumen a la armadura a la altura de la rodilla, en el rostro y en la cola del diablo (Fig. 339-340), sin poderse determinar si este relleno continua en el resto de la imagen, ya que, como hemos referenciado con anterioridad, a partir de la cola del diablo ya no se ha podido continuar con el análisis de la imagen debido a la anchura de la peana que superar las medidas de la garganta del tomógrafo.

En la zona del rostro, es a partir del inicio de la nariz donde se visualiza un mayor volumen a modo de refuerzo de la zona (Fig. 341), espesor que continúa aumentando hacia la zona de los labios, siendo el punto de mayor porcentaje la barbilla de la imagen (Fig. 342).

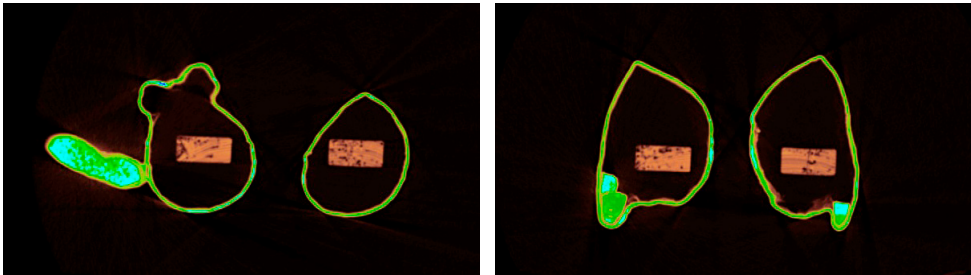


Figura 339-340.
A 938/951- A 658/951. Cortes axiales en los que se observa el relleno aplicado en estas zonas.

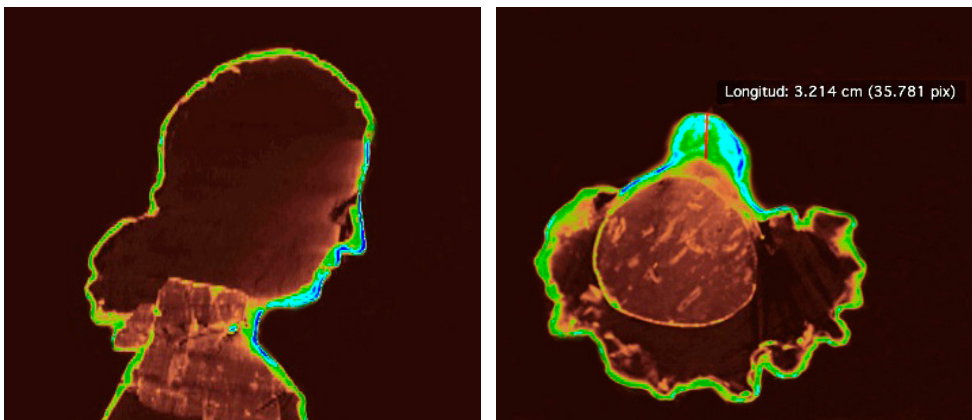


Figura 341-342.
S 271/512- A 184/951. Corte sagital y axial en los que se observa el relleno en la zona del rostro y su punto de mayor porcentaje, que se localiza en la barbilla del *San Miguel Arcángel*.

Sistema constructivo externo

La totalidad de la pieza escultórica está construida en cartón piedra. Mediante dicha técnica se realiza un modelado del volumen de la imagen, previo a la realización de un molde en yeso, quedando el interior de esta totalmente hueco. Tan solo se observa en su interior diferentes piezas a modo de armazón de las que ya hemos hablado.

Las imágenes tomográficas revelan el fino espesor del soporte de cartón piedra.

En dicho soporte tan solo se define un estrato con la misma densidad sin poder apreciar la diferencia, exceptuando en las carnaciones, entre el soporte de cartón piedra y el de policromía. Dicho estrato presenta una densidad similar al de las zonas que en escultura tallada en madera son rellenadas con estucos. Esto es debido a que en la amalgama de elementos que llevan en su composición los soportes de cartón piedra existe una importante presencia de carga.

El espesor de dicho soporte varía según las zonas (frente: 7,170 mm; cabello: 2,588 mm, y armadura-cadera: 3,340 mm) (Fig. 343-344), aunque en general presenta un espesor fino de medidas similares en toda la imagen.

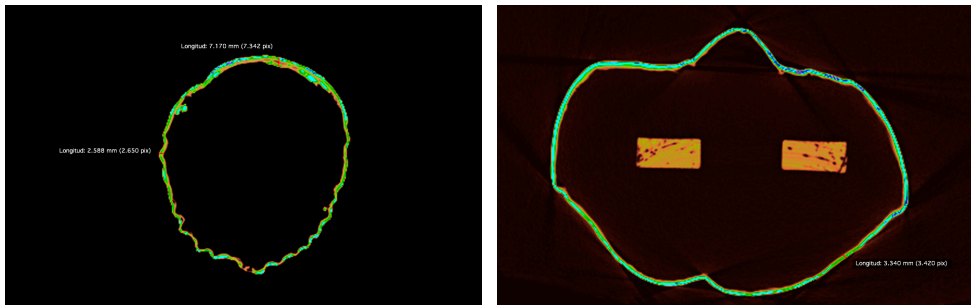


Figura 343-344.

A 72/951- A 604/951. Cortes axiales en los que se han medido diferentes zonas del soporte de cartón piedra.

En la reconstrucción volumétrica (3D) con recorte se puede visualizar el espesor del soporte en la zona del rostro. También se observa la definición del cabello en el interior de la cabeza de la imagen, como prueba de que en la técnica de ejecución de este se utilizó el apretón en molde predefinido (Fig. 345).

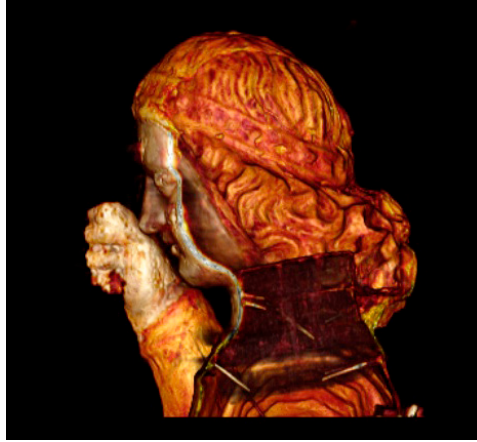


Figura 345.

3D *clut-VR muscle-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) en la que se observa el espesor del soporte en el rostro y el modelado del cabello en el interior de la cabeza.

Mediante la reconstrucción volumétrica (3D) de la pieza escultórica en toma realizada para elementos de mayor densidad, se han podido aislar todos aquellos elementos más cercanos en la escala Hounsfield al metal (1000 HU).

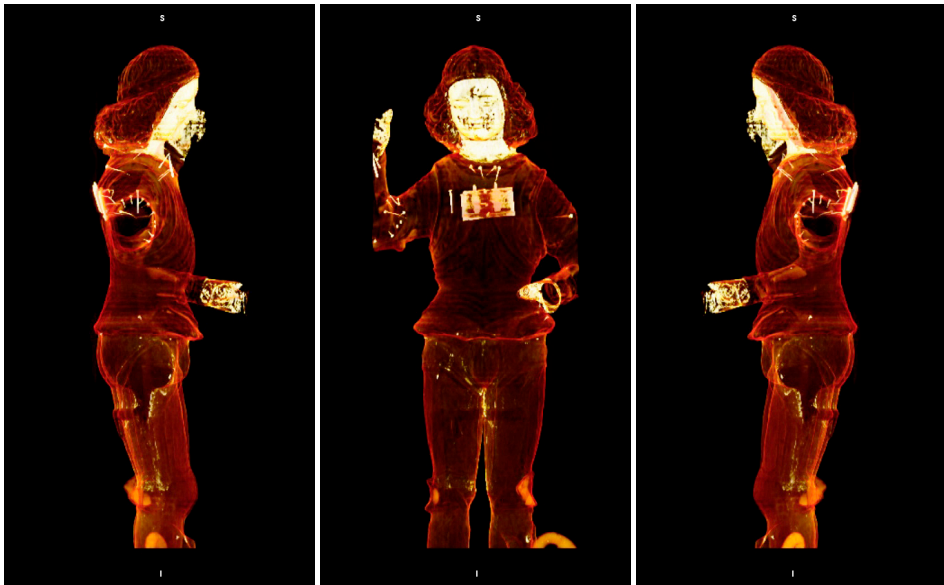


Figura 346-347-348.

3D *clut-VR muscle-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) desde diferentes posiciones en las que se visualizan aquellos elementos más cercanos en la escala Hounsfield al metal.

B. Estado de conservación e intervenciones del soporte interno

1. Alteraciones

Grietas

A través del análisis tomográfico se han localizado importantes grietas o resquebrajamientos en los listones que configuran la estructura de soporte del cuerpo de la pieza escultórica (Fig. 349-350). Estas se localizan:

- En el listón horizontal, en el lado izquierdo. Dicho resquebrajamiento o grieta está provocado por la inserción de uno de los clavos de sujeción del soporte de cartón piedra.
- En el listón vertical derecho se localizan dos resquebrajamientos o grietas, debido posiblemente al importante deterioro provocado por el ataque biológico de insecto xilófago, o por un movimiento brusco en la manipulación de la imagen. No se ha realizado una valoración total del alcance de este deterioro, ya que no hemos podido analizar en su totalidad dicha estructura interna de soporte del cuerpo.

Mediante la TC hemos podido estudiar con mayor profundidad estas grietas. A través de las medidas espaciales del punto de inicio y el punto final de dichas grietas, se ha podido determinar su longitud y sus ángulos de inclinación (Tabla 33).

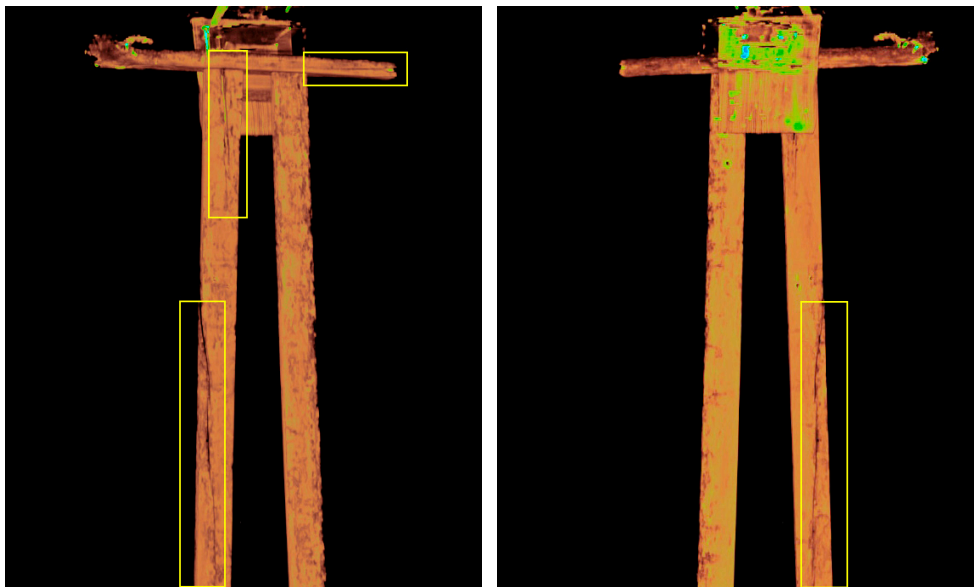


Figura 349-350.

3D *clut-french*. Reconstrucción volumétrica (3D) con recorte en la que se localizan las diferentes grietas y el ataque de insecto xilófago que afecta a la estructura de soporte del cuerpo.

Tabla. 35.

Coordenadas espaciales y esféricas de las grieta de la estructura de soporte del cuerpo.

	COORDENADAS ESPACIALES INICIO (mm)	COORDENADAS ESPACIALES FINAL (mm)	LONGITUD (mm)	ANGULO θ	ANGULO φ
GRIETA LISTÓN HORIZONTAL	X: -218,087	X: 144,828	99,81	87,01°	147,03°
	Y: 110,669	Y: 164,917			
	Z: -299	Z: -304,2			
1ª GRIETA LISTÓN VERTICAL	X: -27,002	X: -22,899	125,41	5,66°	109,37°
	Y: 140,699	Y: 129,027			
	Z: -299	Z: -423,8			
2ª GRIETA LISTÓN VERTICAL	X: -63,637	X: -51,368	428,45	4,45°	109,14°
	Y: 135,894	Y: 101,545			
	Z: -629,2	Z: -1110,2			

2. Ataque de insecto xilófago

Tras el análisis de las imágenes tomográficas, se ha podido evidenciar que la estructura del soporte del cuerpo del *San Miguel Arcángel* presenta un importante deterioro al encontrarse afectada por ataque biológico de insecto xilófago (Fig. 349-350). Dicho ataque también se observa en las tablas nº 1 y 2 que conforman el soporte del anclaje de las alas (Fig. 351).

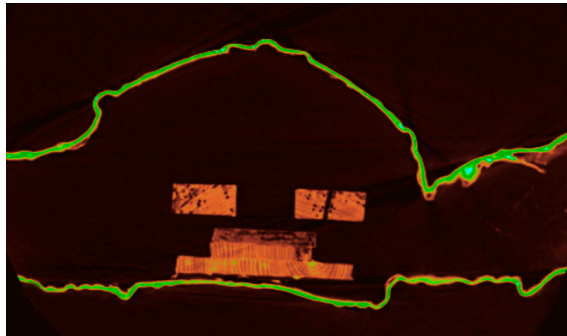


Figura 351.

A 356/951. Corte axial en el que se observa el ataque de insecto xilófago en las tablas de soporte del anclaje de las alas y en los dos listones verticales.

3. Elementos metálicos

Las imágenes tomográficas determinan que, para la construcción de las diferentes estructuras internas que dan soporte a la imagen, se han utilizado multitud de elementos metálicos. La definición y análisis de estos elementos a través de la TC determina que se trata de clavos y tornillos de diferentes dimensiones. Aparentemente presentan buen estado de conservación, ya que no se observa ninguno con rotura y no se puede establecer si estos presentan oxidación.

En el exterior de la imagen se localiza una pieza metálica que sirve de anclaje de las alas en buen estado de conservación.

C. Policromía

La imagen se halla policromada en el rostro, cuello y manos; el resto se encuentra corlada y dorada.

La policromía de una escultura se define a través de varios estratos diferentes, básicamente, estrato de preparación y capa superficial de policromía, entre otras capas intermedias. En las imágenes tomográficas definimos diferencias de grises según la densidad de los elementos a visualizar. De aquí que no sea posible diferenciar el estrato de preparación de la capa pictórica por su similar densidad.

En la técnica de ejecución de cartón piedra, se añade a dicha cuestión otros materiales de densidad similar con los que está construido el soporte.

En las imágenes tomográficas de la pieza escultórica del *San Miguel Arcángel*, se aprecia una diferencia de densidad en las zonas de carnaciones, ya que en su composición posiblemente tengamos albayalde (Fig. 352-353). Pero dicha cuestión no ha podido corroborarse, ya que no se ha podido realizar un análisis de los materiales que componen la policromía. El resto de decoración, realizada en lámina de plata y oro, no se visualiza en las imágenes tomográficas debido a la fina capa de dicho material.

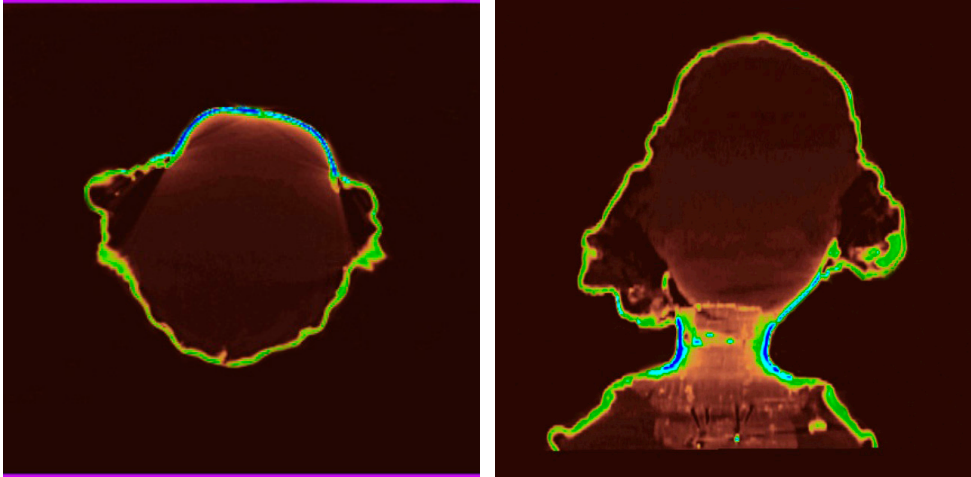


Figura 352-353.

A 111/951-C 262/512. Corte axial y coronal en los que se observa una diferencia de densidad coincidiendo con la policromía de carnaciones (rostro y cuello).

4.II. ANÁLISIS DE DIFERENTES ESTUDIOS POR CASUÍSTICA

Una vez completado el análisis pormenorizado de los cuatro casos seleccionados como estudios principales en esta investigación y habiendo obtenido a través de ello una visión de todos aquellos datos que nos proporciona el estudio mediante TC de una pieza escultórica, el resto de obras escogidas para esta investigación serán analizadas por casuística. Hablamos de un análisis global de los sistemas constructivos con los que el artista ejecutó la obra y su diferencia en función del periodo histórico en el que fue realizada cada escultura, de las alteraciones y de la conservación de cada una y, por último, de las intervenciones o manipulaciones a las que han sido sometidas cada una de las esculturas policromadas en madera objeto de la investigación.

En primer lugar mostraremos la imagen visible de cada una de las esculturas para poder entender mejor las cuestiones a analizar en las TC correspondientes.

4.II.I. Relación de las diferentes piezas escultóricas

4.II.I.I. *Cristo de Sant Bult*

Ficha técnica

- Autor: Anónimo.
- Época: Siglo XIII.
- Técnica y materiales: Talla en madera dorada y policromada.
- Dimensiones: 82 × 60,5 × 15 cm.
- Procedencia: Hogar Escuela de Sant Bult de Valencia.



Figura 354-355.
Imagen visible, anverso y reverso, del *Cristo de Sant Bult*.

■ 4.II.1.2. *Virgen de las Victorias o Batallas*

Ficha técnica

- Autor: Anónimo.
- Época: Siglo XIII.
- Técnica y materiales: Talla en madera dorada y policromada.
- Dimensiones: 83 × 37,5 × 25 cm.
- Procedencia: Iglesia parroquial de San Andrés. Valencia.



Figura 356-357-358.

Imagen visible, anverso y reverso, de la *Virgen de las Victorias o Batallas*.

■ 4.II.1.3. *Nuestra Señora de la Naranja*

Ficha técnica

- Autor: Anónimo.
- Época: Primer tercio siglo XIV.
- Técnica y materiales: Talla en madera dorada y policromada.
- Dimensiones: 83 × 37,5 × 25 cm.
- Procedencia: Iglesia Parroquial de Nuestra Señora del Pópulo de Olocau del Rey. Castellón.



Figura 359-360.

Imagen visible, anverso y reverso, de *Nuestra Señora de la Naranja*.

■ 4.II.1.4. *Nuestra Señora de la Leche*

Ficha técnica

- Autor: Anónimo.
- Época: Primer tercio siglo XIV.
- Técnica y materiales: Talla en madera dorada y policromada.
- Dimensiones: 87 × 36,5 × 32 cm.
- Procedencia: Iglesia Parroquial de Nuestra Señora del los Ángeles de Torres-Torres. Castellón.



Figura 361-362.

Imagen visible, anverso y reverso, de *Nuestra Señora de la Leche*.

■ 4.II.1.5. *Virgen con Niño de Oliva*

Ficha técnica

- Autor: Anónimo.
- Época: Siglo XV-XVI.
- Técnica y materiales: Talla en madera policromada.
- Dimensiones: 100 × 36 × 34 cm.
- Procedencia: Iglesia Parroquial de Santa María la Mayor de Oliva. Valencia.



Figura 363-364.
Imagen visible, anverso y reverso, de la *Virgen con Niño de Oliva*.

■ 4.II.1.6. *Ecce Homo* de L'Olleria

Ficha técnica

- Autor: Anónimo.
- Época: Finales siglo XVI.
- Técnica y materiales: Talla en madera policromada.
- Dimensiones: 153 × 58 × 40 cm.
- Procedencia: Iglesia Parroquial de Santa María Magdalena de L'Olleria. Valencia.



Figura 365-366.
Imagen visible, anverso y reverso, del *Ecce Homo* de L'Olleria.

■ 4.11.1.7. *San Luis de Sellent*

Ficha técnica

- Autor: Anónimo.
- Época: Siglo XVII.
- Técnica y materiales: Talla en madera policromada.
- Dimensiones: 120 × 60 × 79 cm.
- Procedencia: Ayuntamiento de Sellent. Valencia.



Figura 367-368.
Imagen visible, anverso y reverso, de *San Luis de Sellent*.

■ 4.II.1.8. *Inmaculada Concepción de Granada*

Ficha técnica

- Autor: Escuela de Alonso Cano.
- Época: Siglo XVII.
- Técnica y materiales: Talla en madera dorada y policromada.
- Dimensiones: 157 × 54 × 60 cm.
- Procedencia: Monasterio de San Jerónimo. Granada.

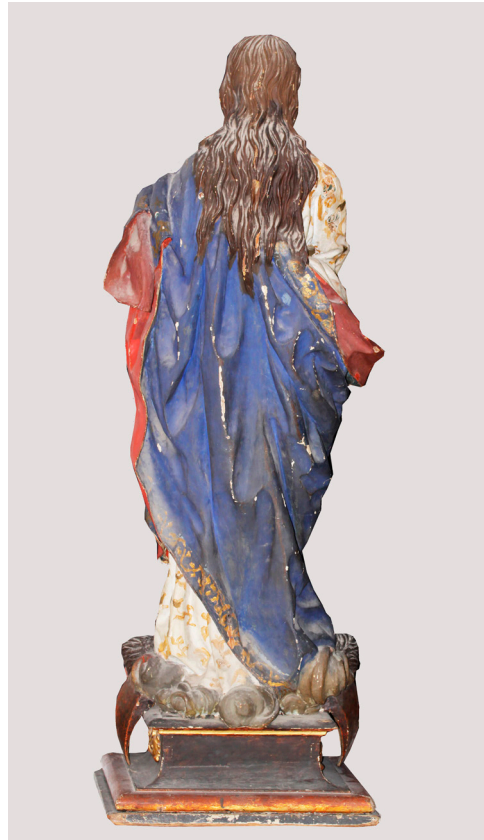


Figura 369-370.

Imagen visible, anverso y reverso, de la *Inmaculada Concepción de Granada*.

■ 4.II.1.9. *Virgen con Niño de escuela andaluza*

Ficha técnica

- Autor: Anónimo.
- Época: Finales siglo XVII principios del siglo XVIII.
- Técnica y materiales: Talla en madera dorada y policromada.
- Dimensiones: 88 × 80 × 40 cm.
- Procedencia: Colección particular. Valencia.



Figura 371-372.

Imagen visible, anverso y reverso, de la *Virgen con Niño de escuela andaluza*.

■ 4.II.I.10. *Santo Tomás*

Ficha técnica

- Autor: Escuela de Ignacio Vergara.
- Época: Siglo XVIII.
- Técnica y materiales: Talla en madera dorada y policromada.
- Dimensiones: 81 × 31 × 26 cm.
- Procedencia: Iglesia Parroquial de San Josemaría Escrivá de Balaguer. Valencia.



Figura 373-374.
Imagen visible, anverso y reverso, de *Santo Tomás*.

■ 4.II.I.II. *Santa Clara*

Ficha técnica

- Autor: José Sánchez Lozano.
- Época: Siglo XIX.
- Técnica y materiales: Madera y tela dorada y policromada.
- Dimensiones: 140 × 75 × 45 cm.
- Procedencia: Monasterio de Santa Ana y Santa María Magdalena de Lorca. Murcia.



Figura 375-376.
Imagen visible, anverso y reverso, de *Santa Clara*.

■ 4.II.I.I2. *Nuestra Señora de las Nieves*

Ficha técnica

- Autor: Romero de Tena.
- Época: 1940.
- Técnica y materiales: Madera policromada.
- Dimensiones: 149 × 60 × 44 cm.
- Procedencia: Iglesia Parroquial de Nuestra Señora de las Nieves de Hondón de las Nieves. Alicante.



Figura 377-378.

Imagen visible, anverso y reverso, de *Nuestra Señora de las Nieves*.

■ 4.II.2. Sistema constructivo

La TC resulta una herramienta importante para poder determinar el sistema constructivo que se utilizó en aquellas obras que se encuentra datadas en un periodo concreto de la historia y, en aquellas otras que no se ha podido determinar el periodo aproximado en el que fueron construidas, a través del análisis del sistema constructivo, poder datarlas cronológicamente.

El periodo histórico que hemos podido analizar en esta investigación ocupa desde el s. XIII hasta el XX. Dicha cuestión nos ha permitido tener una visión general de los diferentes sistemas constructivos que se han llevado a cabo en todo ese periodo.

Un único bloque de madera

En los diferentes casos de estudio que han sido analizados mediante TC, tenemos una serie de imágenes de vírgenes sedentes o entronizadas (s. XIII-XV) que presentan características similares en cuanto al tamaño e idéntica configuración formal. En todas ellas se representa a la Virgen entronizada, sujetando en su mano derecha un fruto, y en su izquierda al Niño sentado sobre su regazo portando la bola del mundo.

Independientemente de la configuración formal de este tipo de vírgenes, características de ese periodo histórico, y de las diferentes intervenciones sufridas a lo largo de su historia que han llegando a modificar su configuración original, en todas ellas se repite el mismo canon constructivo. Esta cuestión queda evidenciada en las imágenes tomográficas del estudio de la *Virgen de las Victorias o Batallas* (Fig. 379-380) y de la *Virgen de la Naranja* (Fig. 381-382). Dentro de este mismo sistema constructivo, podemos también incluir el de la *Virgen con Niño de escuela castellana* y *Santa María de Carlet*. El sistema constructivo de todas estas vírgenes ha podido ser analizado a través del estudio mediante TC y a continuación definimos sus características:

Como pieza principal, una talla realizada en un único bloque de madera a partir del tronco de un árbol y cuya anchura ha determinado el volumen de esta (Fig. 379-381).

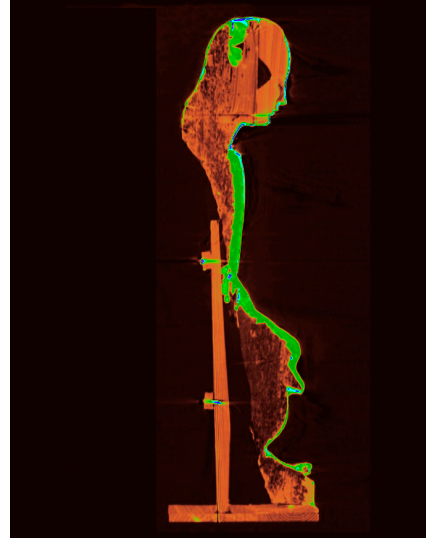
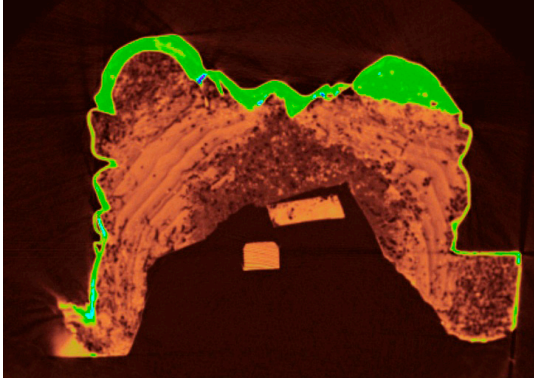


Figura 379-380.

A 291/435- S 233/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza el sistema constructivo de la Imagen de *Nuestra Señora de las Victorias o Batallas*.

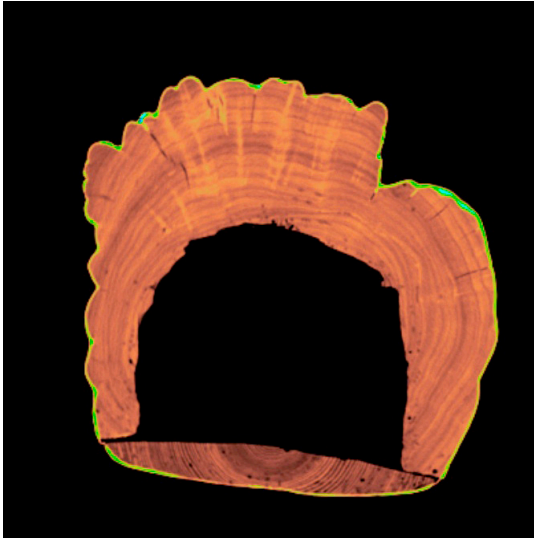


Figura 381-382.

A 313/974- S 241/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza el sistema constructivo de la Imagen de *Nuestra Señora de la Naranja*.

También se observa en todas las imágenes que dicha talla principal ha sido ahuecada en su reverso, realizándose dicho vaciado a partir del cuello de la Virgen hasta su base. Es en esta zona donde se aprecian las huellas de las herramientas de tallado utilizadas, como son la azuela y la gubia.

No se ha podido determinar si los elementos sobresalientes de la imagen, como son las manos y los pequeños atributos, fueron tallados independientes de la talla original. El estudio mediante TC en este caso nos constata que todas estas vírgenes no conservan estas piezas de origen, al evidenciar que la madera con la que están realizadas presenta diferente densidad (Fig.383-384-385-386).

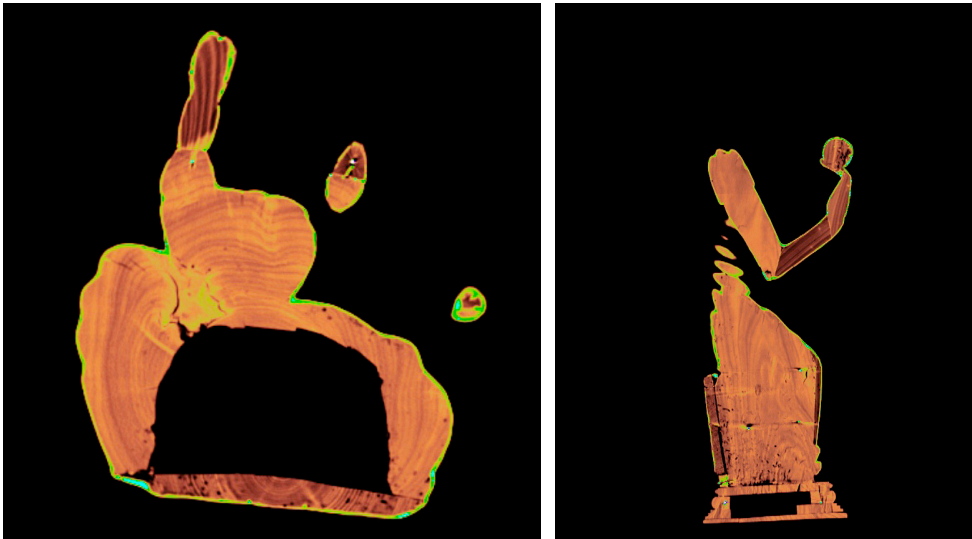


Figura 383-384.

A 256/974- S 142/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza la mano de la Virgen y del Niño realizadas con diferente madera. *Nuestra Señora de la Naranja*.

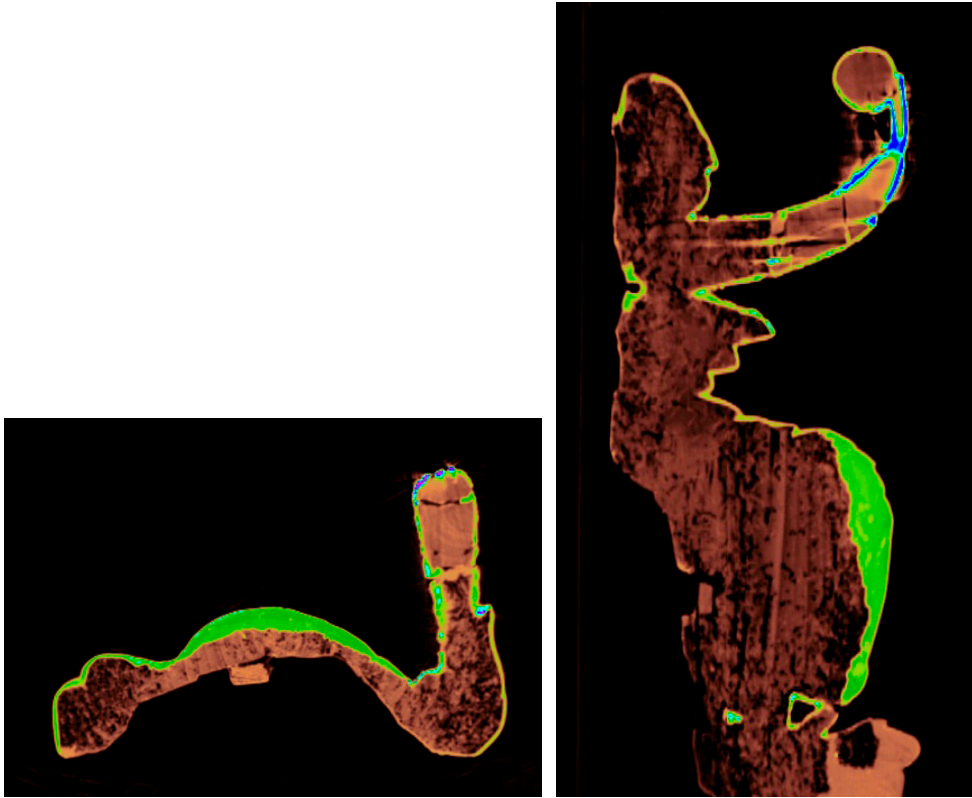


Figura 385-386.

A 180/435- S 127/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza la mano de la Virgen realizadas con diferente madera. *Virgen de las Victorias o Batallas*.

Otra de las imágenes estudiadas, pero ya datada a finales del siglo XV principios del XVI, es la *Virgen con Niño de Oliva*. En este caso ya no se representa a la Virgen sedente sino en posición erecta, pero el sistema constructivo de esta talla sigue siendo el mismo analizado en los casos anteriores: un único bloque de madera ahuecado en su reverso (Fig. 387-388) y, realizadas independientemente de la talla principal, la mano derecha de la Virgen y del Niño.

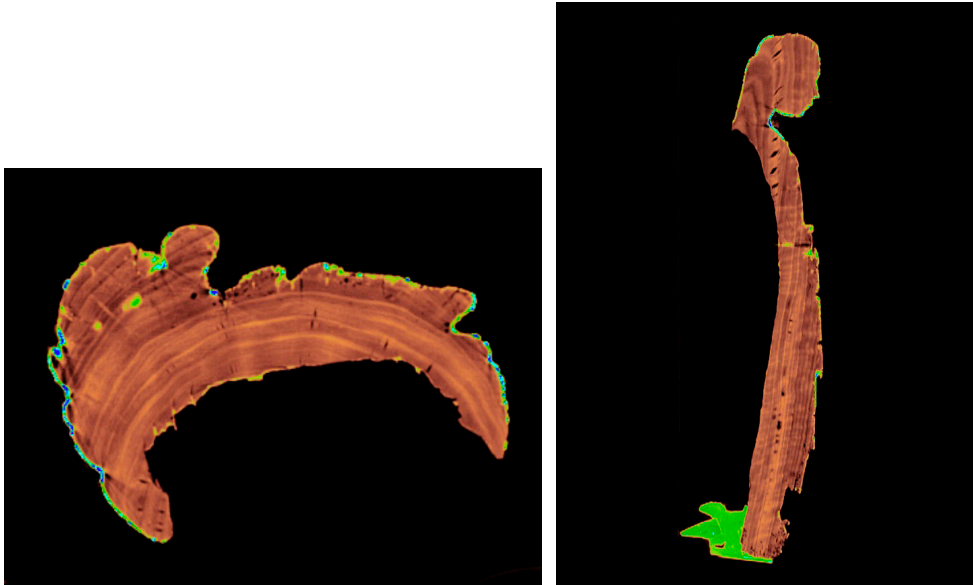


Figura 387-388.

A 198/859- S 235/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza un único bloque de madera para la configuración de la imagen de *la Virgen con Niño de Oliva*.

Las imágenes tomográficas han revelado en este caso que sí conserva de origen ambas manos, ya que se observa, para la realización de estas, una madera de similares características a la de la talla principal. Dichas piezas se encuentran encastradas en la propia talla y sujetas mediante clavos (Fig. 389-390).

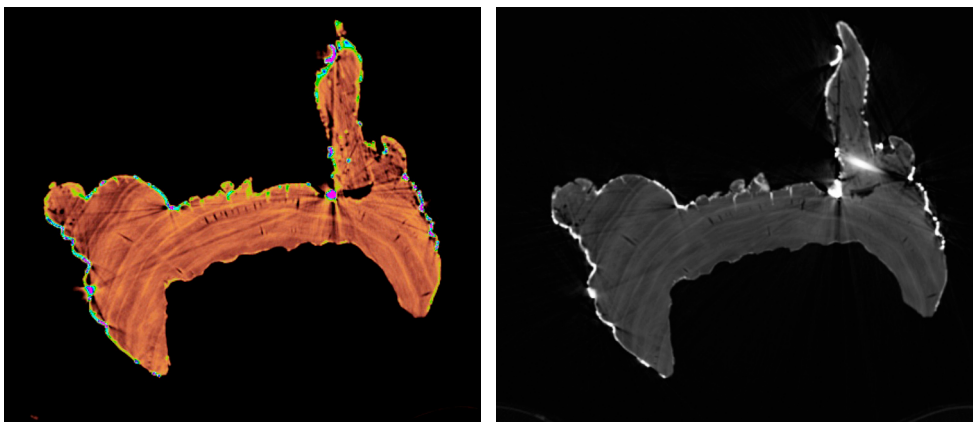


Figura 389-390.

A 166/430- A 168/430. Cortes axiales en los que se visualiza el encastre y sujeción de la mano derecha de *la Virgen con Niño de Oliva*.

Otra de las piezas escultóricas que podemos englobar en este tipo de sistema constructivo es la imagen de *Nuestra Señora de la Leche*, del s. XV. La única diferencia que presenta con respecto a las estudiadas anteriormente es que no está hueca en su reverso. Las imágenes tomográficas desvelan una pieza escultórica de volumen completo en la que la mano del Niño está realizada con una madera de densidad diferente (Fig. 391-392).

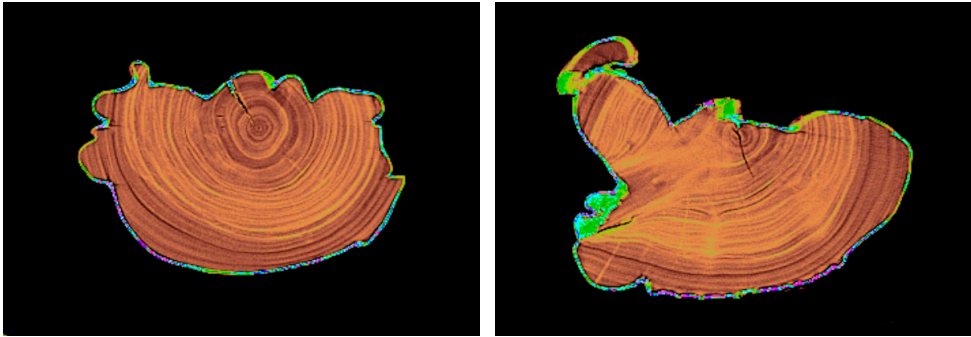


Figura 391-392.

A 50/90- A 36/90. Cortes axiales en los que se visualiza el sistema constructivo de un único bloque de madera y la mano del Niño como pieza añadida a la talla. *Nuestra Señora de la Leche*.

Ninguna de estas imágenes conserva la peana original con la que fueron construidas (Fig. 393-394).



Figura 393-394.

C 312/512- C 258/512. Cortes coronales en los que se visualiza la peana no original de *Nuestra señora de la Naranja* y *Virgen de las Victorias* o *Batallas*.

El *Cristo de Sant Bult*, del s XIII, no resulta definitorio como sistema constructivo original, ya que ha sufrido diversas intervenciones de restauración y ya no conserva la totalidad del original.

Las imágenes tomográficas revelan una estructura central, cabeza y torso, realizada en madera y que se corresponde con la única parte original que se conserva de la talla. El resto de fragmentos son de diferente madera, dos para los brazos y uno para el cuerpo a partir de la cintura (Fig. 396).

La cabeza y el torso están talladas en un único volumen a partir del tronco de un árbol. Es posible que la parte central de la talla original (cabeza, torso y piernas) estuviera realizada en un único bloque, y los brazos, tallados independientemente, se encastran a dicha pieza central.

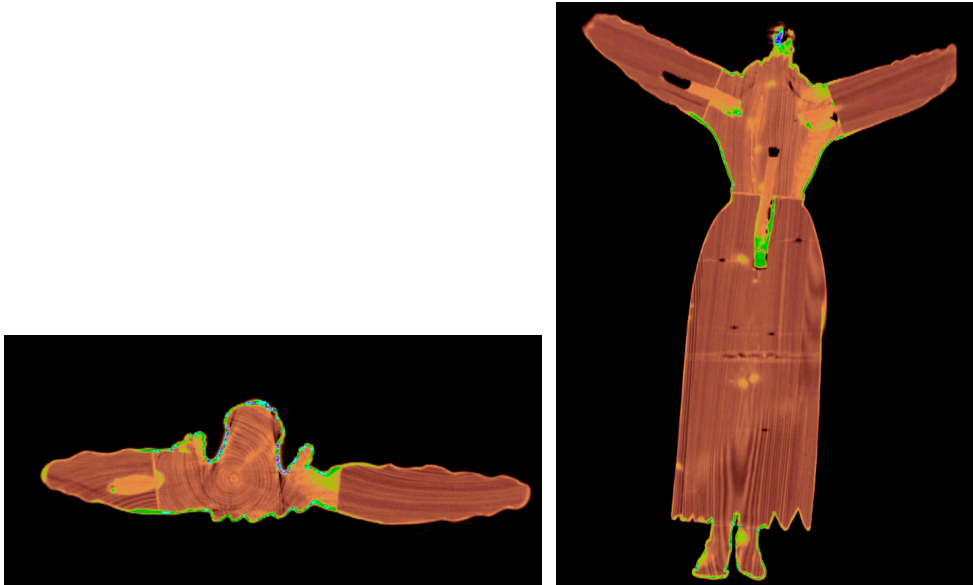


Figura 395-396.

A 76/413- C 264/512. Corte axial y coronal en los que se visualiza el sistema constructivo de la Imagen del *Cristo de Sant Bult*.

Un bloque principal al que se le añaden diferentes piezas de madera

Entrando a analizar ya los casos datados en el siglo XVI, observamos un nuevo sistema constructivo. Se trata de un bloque principal al que se le añaden nueva piezas de madera para completar el volumen de este.

En el análisis de las imágenes tomográficas del *Ecce Homo de L'Olleria* (s. XVI), hemos podido determinar un bloque de madera principal (pieza nº 1) al que se le

añaden otras tres piezas (piezas de la nº 2 a la nº 4) de densidad similar al bloque principal, que ha sido ahuecado a la altura de las caderas (Fig. 397-398).

Como sistema de sujeción de las piezas se han utilizado clavos de diferentes dimensiones, localizados a lo largo de todo el sistema constructivo de la escultura (Fig. 399). No se ha podido determinar a través del análisis tomográfico si se ha utilizado algún tipo de adhesivo en la unión de las distintas piezas.

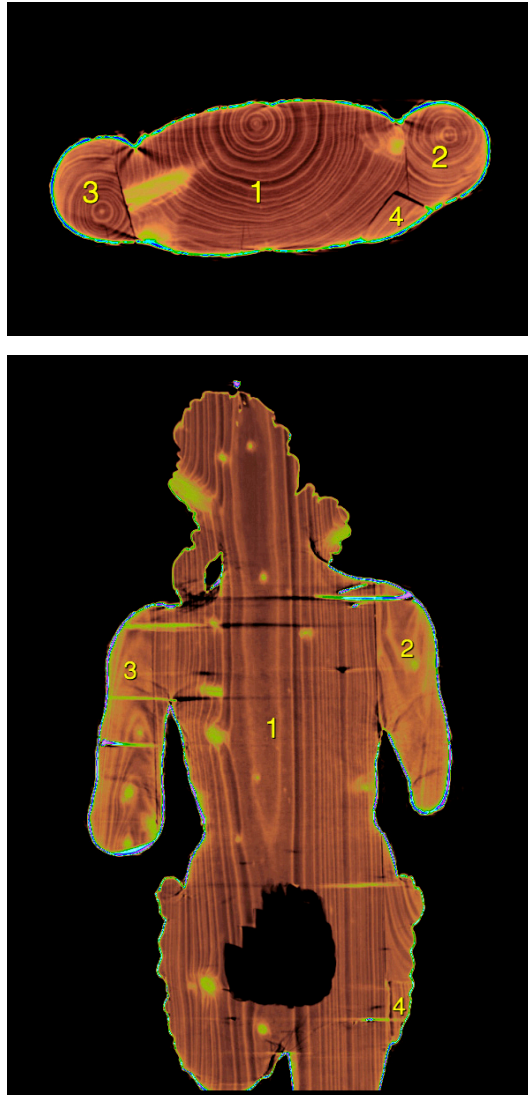


Figura 397-398.

A 340/915- C 231/512. Corte axial y coronal en los que se sitúan las piezas que conforman el volumen de la talla del *Ecce Homo* de L'Olleria.



Figura 399.

3D *Clut- Bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) en la que se observan los clavos utilizados en la construcción del volumen de la talla. *Ecce Homo* de L'Orleria.

Hemos podido determinar que la imagen no conserva su peana original, la cual ha sido construida mediante diferentes piezas de madera ensambladas en hueco.

La talla de la máscara de los querubines ha sido realizada en una pieza de madera. Esta ha sido vaciada para insertar los globos de vidrio semiesféricos que dan forma a los ojos.

Siguiendo con el análisis de las esculturas, es en cuatro de estas en las que se observa el mismo sistema constructivo mediante la unión de distintas piezas de madera. Pero existen algunas diferencias entre estas imágenes.

Las obras a las que hacemos mención son *San Luis de Sellent*, *Inmaculada Concepción de Granada*, *Virgen con Niño de escuela andaluza* y *Santo Tomás*. Todas estas imágenes son de un periodo histórico que abarca los siglos XVII y XVIII.

El estudio mediante TC refleja en la imagen de *San Luis de Sellent* (s. XVII) un sistema constructivo realizado a partir de un bloque de madera principal (pieza nº 1) al que se le añaden otras nueve piezas (piezas de la nº 2 a la nº 10). Las uniones entre piezas son las denominadas de madera viva o unión al hilo (Fig. 400).

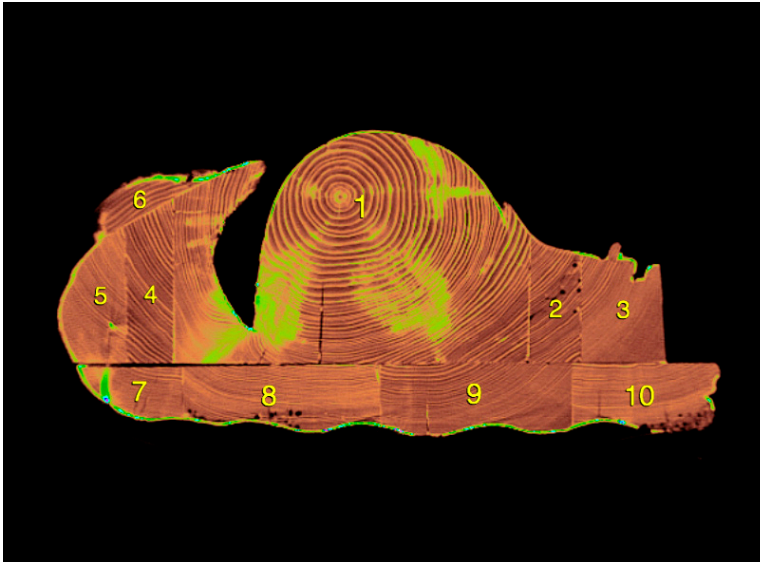


Figura 400.

A 308/831. Corte axial en el que se visualiza la multitud de piezas de madera que conforman la talla de *San Luis de Sellent*.

El sistema de sujeción utilizado entre las piezas es mediante adhesivo, cuestión que se ha podido corroborar a través del estudio mediante TC, ya que solo se visualizan clavos en dos puntos concretos de todo el volumen de la talla. Esta imagen no conserva su peana original.

También en la imagen de la *Inmaculada Concepción de Granada* (s. XVII) se aprecia un sistema constructivo de piezas ensambladas. Con la TC hemos analizado dicho sistema constructivo de ensamble de piezas.

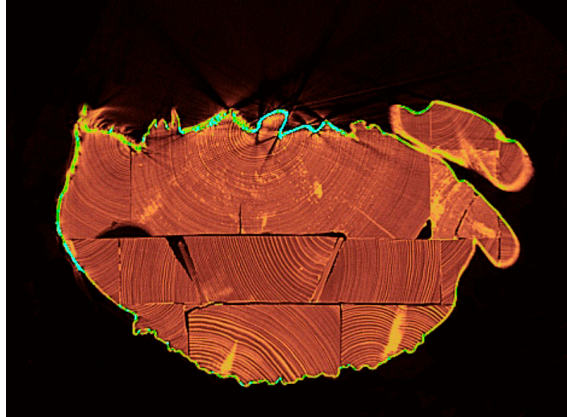


Figura 401.

A 48/183. Corte axial en el que se visualiza la multitud de piezas de madera que conforman la talla de *la Inmaculada Concepción de Granada*.

En este caso, se trata de un bloque de madera principal en el anverso al que se le han ido añadiendo diferentes piezas, en forma y dimensiones, para configurar el volumen de la imagen (Fig. 401). Esta ha sido ahuecada en su interior, en la totalidad de volumen que da forma al cuerpo (Fig. 402), observándose algunas piezas en las que el desbaste ha sido tan profundo que se crean zonas con extrema debilidad debido a la delgadez del soporte (Fig. 403-404).

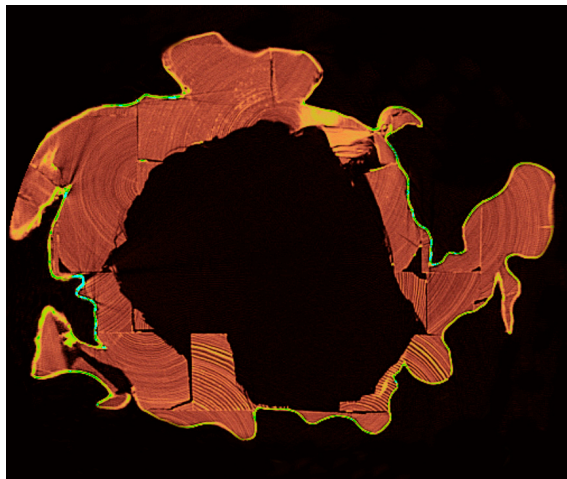


Figura 402.

A 90/183. Corte axial en el que se visualiza el ahuecado del interior de la pieza escultórica *Inmaculada Concepción de Granada*.

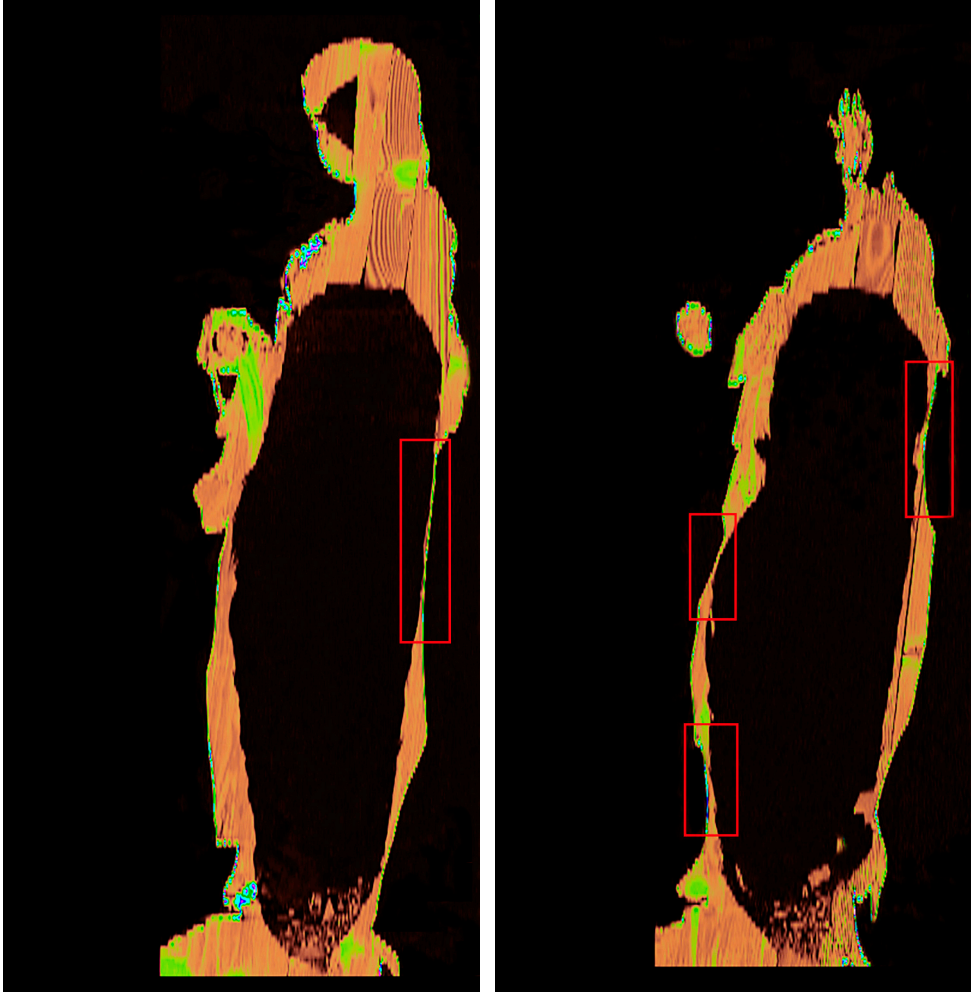


Figura 403-404.

S 256/512- S 301/512. Cortes sagitales en los que se observa las zonas del soporte que presentan mayor fragilidad. *Inmaculada Concepción de Granada*.

En este punto, el estudio mediante TC ha resultado fundamental, ya que se han localizado aquellas partes de la obra que presentan mayor fragilidad, cuestión determinante a la hora de marcar pautas en la conservación preventiva de la pieza escultórica.

La máscara de la cara de la Virgen es de una pieza de madera vaciada para poder insertar los globos de vidrio semiesféricos que dan forma a los ojos (Fig. 405).

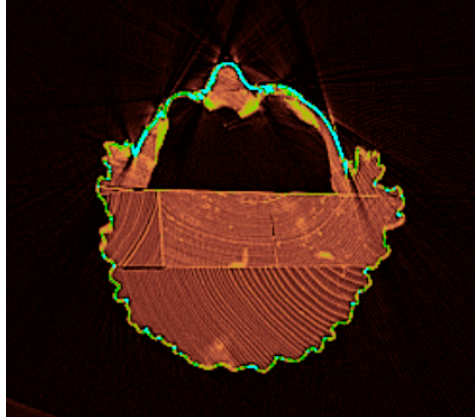


Figura 405.

A 21/183. Corte axial en el que se observa el desbaste de la mascarilla y los ojos de vidrio. *Inmaculada Concepción de Granada.*

Las manos han sido talladas independientes del volumen de la pieza escultórica. Estas se encuentran encastradas a la propia talla sin que se observe ningún sistema de sujeción (Fig. 406).

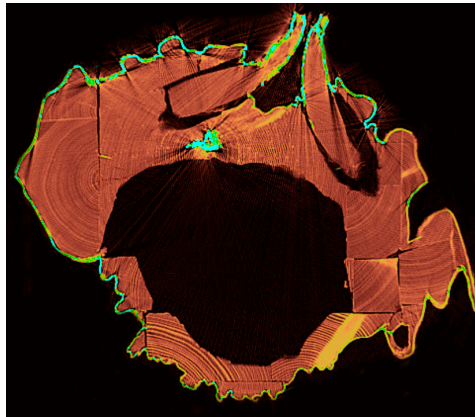


Figura 406.

A 63/183. Corte axial en el que se observa el encastre de las manos en la talla. *Inmaculada Concepción de Granada.*

El sistema de sujeción entre las distintas piezas es mediante adhesivo, tal y como se evidencia en la TC, ya que no se visualiza ningún elemento metálico o de madera para la sujeción de estas.

No ha podido ser analizada la peana de la pieza escultórica, ya que sus medidas en anchura superaban el diámetro de la garganta del tomógrafo.

La forma acampanada con la que se representa a la imagen de la *Virgen con Niño de escuela andaluza* (finales s. XVII, principios de s. XVIII), que hemos podido analizar a través del examen organoléptico previo al estudio mediante TC, nos hace pensar en un interesante sistema constructivo a la hora de configurar el volumen de dicha pieza escultórica.

Esta cuestión queda corroborada a través del análisis de las imágenes tomográficas, que ha determinado una estructura realizada mediante la unión de diferentes piezas de madera de distinto tamaño y disposición. Pero en este caso podemos hablar de un sistema constructivo de ensamble de piezas en dos partes diferenciadas, por un lado la cabeza de la Virgen, y por otro el cuerpo de esta y la figura del Niño (Fig. 407).

La cabeza de la Virgen se talla en un único bloque de madera que abarca hasta el cuello, ahuecado en su interior (Fig. 408). A dicho bloque se le añade otra pieza de madera para la configuración de la máscara, que también ha sido vaciada para poder insertar los globos de vidrio esférico que dan lugar a los ojos.

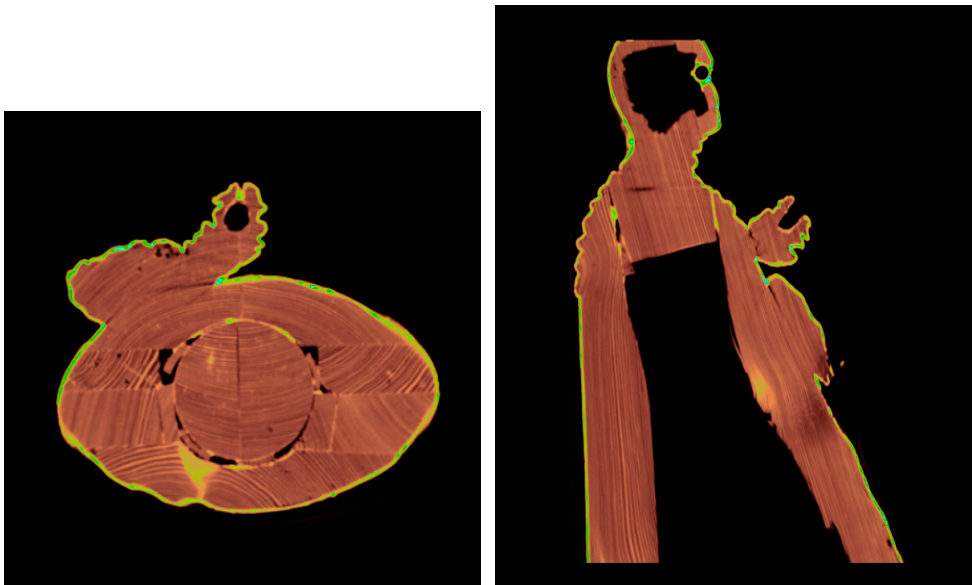


Figura 407-408.

A 179/455- S 207/512. Corte axial y sagital en los que se observa el sistema constructivo de la cabeza de la Virgen. *Virgen con Niño de escuela andaluza*.

Es a partir del cuello donde ya empezamos a visualizar la inserción de diferentes piezas de madera: un bloque de madera principal a partir del tronco de un árbol, situado en el anverso de la talla, al que se le van acoplando diferentes piezas de madera que conforman el volumen del cuerpo de la Virgen y la figura del Niño, siendo ensambladas en hueco. El interior de dicho volumen queda totalmente hueco, observándose en algunas de las piezas un pequeño desbaste para aligerar el espesor del soporte (Fig. 409).

Como sistema de sujeción entre la cabeza y el cuerpo de la Virgen, se utilizan dos grandes clavos que se insertan desde el lateral derecho. También se ha aplicado algún adhesivo en la zona del cuello en la unión de ambas partes (Fig. 410).

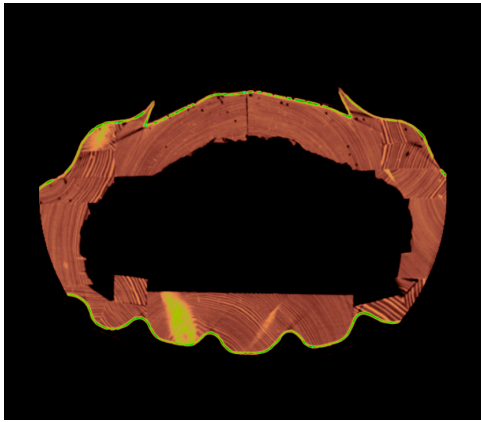


Figura 409.

A 436/455. Corte axial en el que se observa el ensamblaje en hueco y el desbaste de las piezas que conforman el volumen de la talla. *Virgen con Niño de escuela andaluza*.

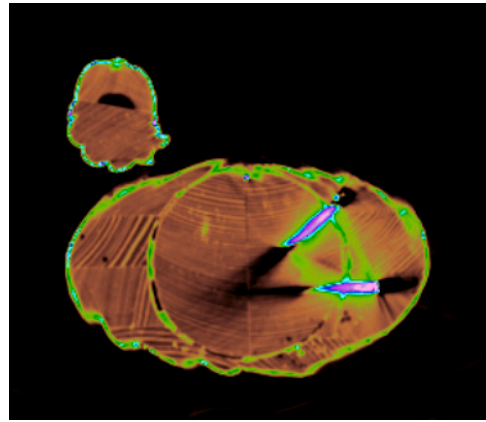


Figura 410.

A 152/455. Corte axial en el que se observa el sistema de sujeción mediante clavos y adhesivo. *Virgen con Niño de escuela andaluza*.

La máscara del Niño, al igual que la de la Virgen, se realiza con una pieza de madera ahuecada en su interior para insertar los globos de vidrio esféricos de los ojos.

En el estudio mediante TC no han sido analizadas las manos de la Virgen y del Niño; por ello observamos en la imagen tomográfica tres oquedades, que se corresponden con los huecos de inserción de las manos, que han sido talladas independientes del volumen de la pieza escultórica (Fig. 411).

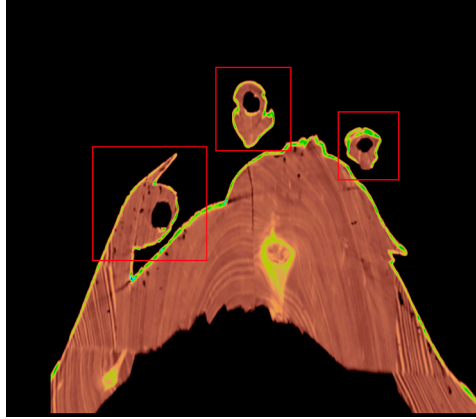


Figura 411.

C 244/512. Corte coronal en el que se observa el hueco donde se insertan las manos de la Virgen y el Niño. *Virgen con Niño de escuela andaluza*.

En este caso, el estudio mediante TC resulta incompleto, ya que la anchura de esta pieza escultórica sobrepasa el diámetro de la garganta del tomógrafo.

Por último, hemos analizado, situada también en los siglos XVII-XVIII, la imagen de *Santo Tomás* (escuela de Ignacio Vergara).

Su sistema constructivo es el de un bloque principal a partir del tronco de un árbol, al que se le añaden diferentes piezas de madera para conformar su volumen, piezas que se localizan en la configuración de la máscara del rostro, los brazos, algunos de los pliegues de la túnica y la parte trasera de la imagen (Fig. 412-413).

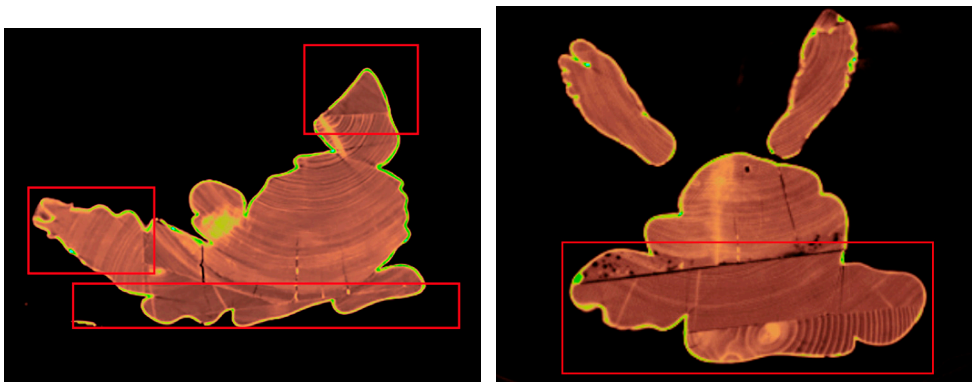


Figura 412-413.

A 109/426- A 316/426. Cortes axiales en los que se observa las diferentes piezas añadidas al bloque principal para configurar el volumen de la talla. *Santo Tomás*.

El bloque principal se halla ahuecado en su interior desde la cintura, hueco que queda oculto por una de las piezas traseras que se añaden al volumen de la talla (Fig. 414).

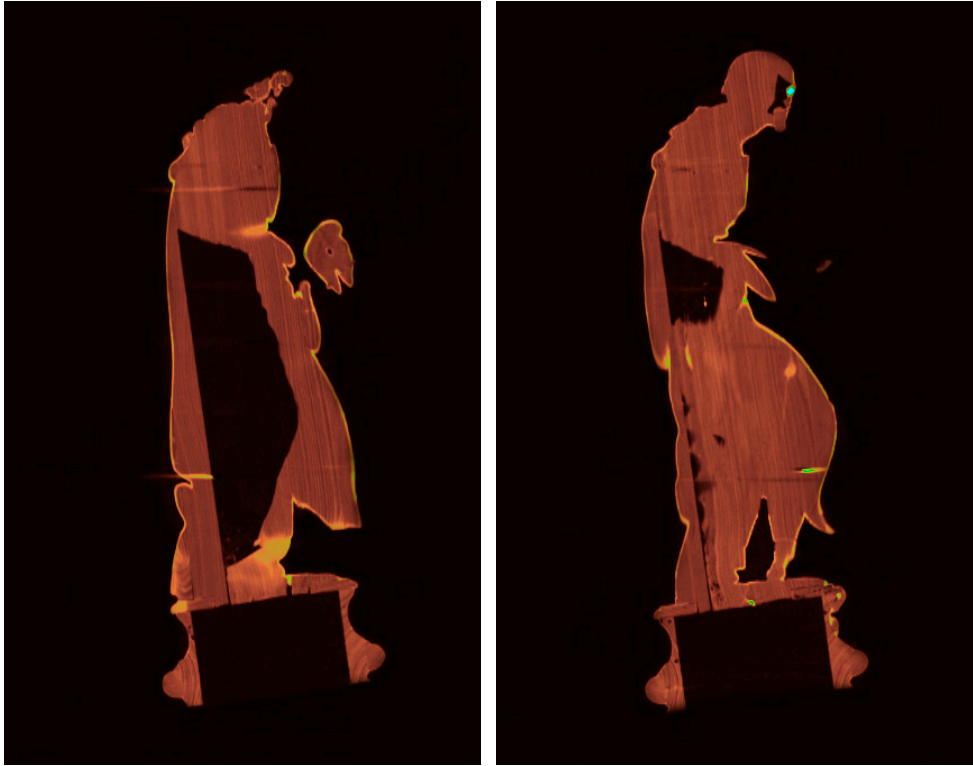


Figura 414-415.

S 273/512- S 293/512. Cortes sagitales en los que se observa el desbaste del interior de la talla en el cuerpo y el rostro. *Santo Tomás*.

La máscara del rostro, realizada con otra pieza de madera, se encuentra desbastada en su interior, siendo ahí donde se insertan los globos esféricos de vidrio que dan forma a los ojos (Fig. 415).

Como sistema de sujeción de las diferentes piezas, se observan multitud de elementos metálicos de diferente tamaño y longitud (Fig. 416-417). La reconstrucción volumétrica (3D) nos ha permitido localizar la totalidad de estos elementos metálicos, situar su posición y determinar su tamaño.



Figura 416-417.

3D *no-clut*. Reconstrucción volumétrica (3D) en la que se observa la multitud de clavos utilizados en el sistema constructivo de la talla. *Santo Tomás*.

La peana se construye independiente de la talla principal mediante la unión de varias piezas de madera y, como método de sujeción entre estas, multitud de elementos metálicos.

Diferentes piezas de madera ensambladas en hueco

Otra de las piezas escultóricas analizadas mediante TC, pero ya datada en el siglo XX, es la imagen de *Nuestra Señora de las Nieves*. Destaquemos de esta obra que se trata de una imagen de vestir (en Andalucía se las denomina de “candeleros” y en Murcia y Levante “devanaderas”), por lo que su configuración formal ya nada tiene que ver con las anteriores imágenes analizadas. En este caso, se encuentran talladas y policromadas la cabeza, manos, piernas y peana. El resto del cuerpo también se realiza en madera, pero sin una perfecta definición, ya que este va oculto por la indumentaria textil.

El análisis tomográfico ha determinado que, aun teniendo una configuración formal distinta a las anteriores piezas escultóricas estudiadas, el sistema constructivo mantiene el canon de construcción mediante la unión de varias piezas de madera.

Se observa en la realización de toda la pieza escultórica varias piezas de madera, perfectamente definidas en forma y tamaño, que han sido ensambladas en hueco (Fig. 418-419). En la disposición de las piezas se observa que los arcos descritos por los anillos de crecimiento quedan opuestos.



Figura 418-419.

A 69/151- S 266/512. Corte axial y sagital en los que se observa el sistema constructivo de bloques de madera ensamblados en hueco. *Nuestra Señora de las Nieves*.

En la construcción de la cabeza de la imagen, se observan varios bloques de madera. En uno de ellos se talla la máscara del rostro de la Virgen desbastada en su interior para insertar los globos de vidrio esférico con los que se ha realizado los ojos (Fig. 420).

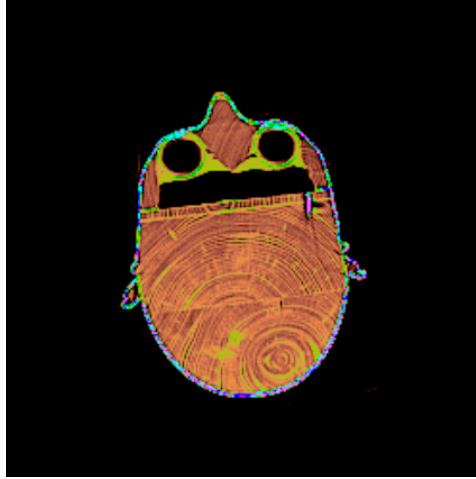


Figura 420.

A 16/151. Corte axial en el que se visualiza el vaciado de la máscara del rostro para la inserción de los ojos de vidrio. *Nuestra Señora de las Nieves*.

Los brazos se realizan independientes del volumen principal de la pieza escultórica. También en la configuración de estos se utilizan varias piezas de madera. Los brazos y antebrazos se encuentran articulados en los hombros y los codos mediante la inserción de varios tornillos que realizan la función de sustento entre las piezas y a su vez permiten el movimiento de estas (Fig. 421-422).

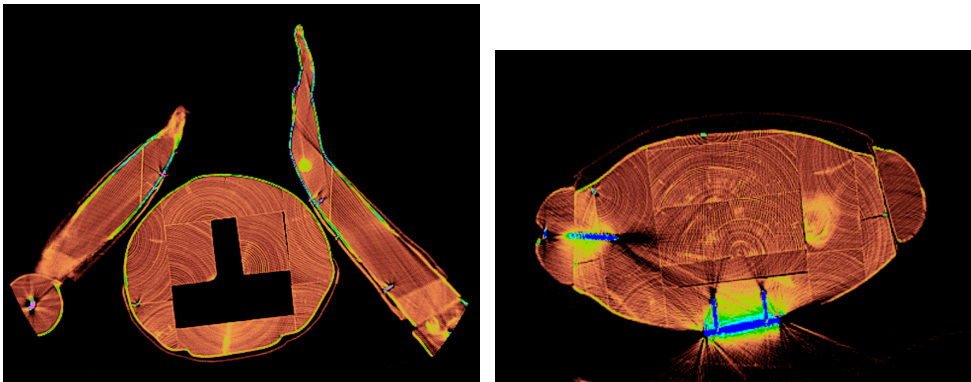


Figura 421-422.

A 60/151- A 35/151. Cortes axiales en los que se visualiza la construcción de los brazos y el sistema de articulación mediante tornillos. *Nuestra Señora de las Nieves*.

En el sistema de sujeción entre piezas, se ha combinado la adhesión y la inserción de elementos metálicos, aunque estos solo se localizan en puntos muy concretos.

Para la construcción de la peana en forma de nube sobre la que se apoya la imagen de *Nuestra Señora de las Nieves*, se han utilizado diferentes piezas de madera perfectamente ensambladas y definidas en forma y tamaño. Independientes de la construcción de la nube, se tallan los querubines que la rodean, también realizados con varias piezas de madera. El sistema utilizado para la sujeción de los querubines es mediante mechones o vástagos de madera (Fig. 423).

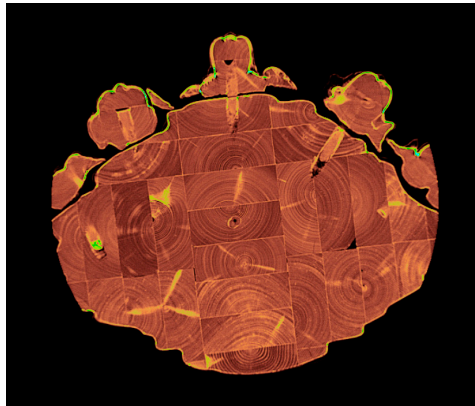


Figura 423.

A 143/151. Corte axial en el que se visualiza la construcción mediante diferentes piezas de madera de la nube y el sistema de sujeción de los querubines. *Nuestra Señora de las Nieves*.

No se ha podido analizar completamente la pieza escultórica, ya que, en algunas zonas, su anchura excede la región máxima de exploración del tomógrafo.

Modelado

Finalmente hablaremos de la imagen de *Santa Clara* como ejemplo estudiado en esta investigación que presenta una técnica escultórica y un sistema constructivo distinto a todos los anteriormente estudiados.

Al igual que la imagen de *San Miguel Arcángel*, la técnica escultórica utilizada ya no es de talla de madera sino de modelado, en este caso de tela, cuya estructura de sustento o armazón se encuentra realizada en madera.

El estudio mediante TC de la pieza escultórica solo ha podido realizarse hasta su pecho, ya que su anchura, a partir de dicha zona, sobrepasa el diámetro de la garganta del tomógrafo. Aun así, nos ha parecido interesante analizar su estructura en esta investigación por la peculiaridad que presenta su sistema constructivo.

A través de las imágenes tomográficas hemos podido analizar una estructura interior configurada mediante la unión de diferentes piezas de madera, combinadas entre pequeñas tablillas y listones de madera.

El método de sujeción entre estas se lleva a cabo mediante la inserción de diferentes elementos metálicos.

La estructura de la cabeza la forman tres pequeñas tablillas de diferente densidad y dimensiones (Fig. 424). Dicha estructura de tablillas para dar soporte a la cabeza, se une a la estructura del cuerpo mediante la inserción de clavos.

La estructura que da sustento al cuerpo se conforma por una tablilla central en horizontal a la altura de los hombros y cinco listones, dos como base de los brazos y tres como soporte del cuerpo (Fig. 425-429). Sobre dicha estructura se aplica el soporte de tela que da forma al volumen de la pieza escultórica.

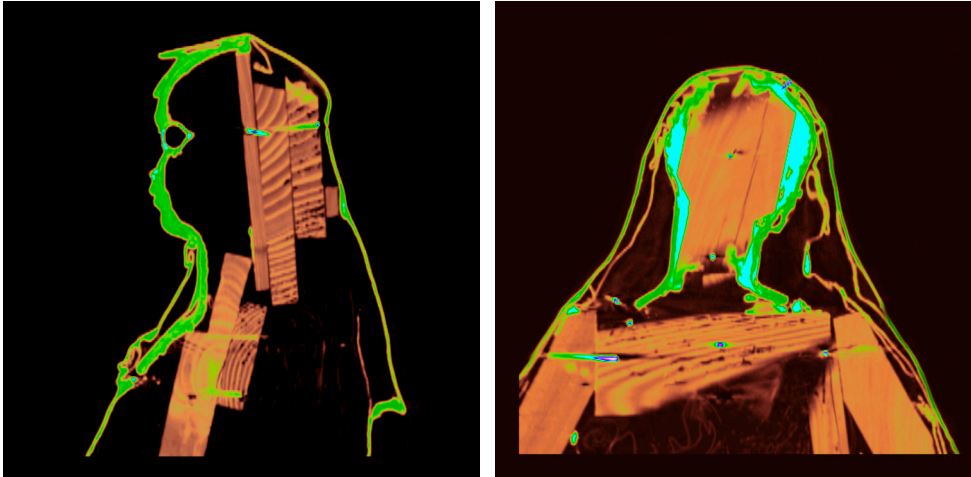


Figura 424-425.

S 216/512- C 270/512. Corte sagital y coronal en los que se observa la construcción, mediante diferentes piezas de madera, de la estructura interior de soporte de la pieza escultórica. *Santa Clara*.

En el análisis de las imágenes tomográficas se observa la trama gruesa de varias telas empleadas en el modelado del rostro, y una gruesa capa de algún tipo de carga que da consistencia a dicho soporte de tela (Fig. 426).

Dicha máscara, totalmente hueca, se sujeta a la estructura de madera mediante la aplicación de un estuco a modo de relleno (Fig. 427). En esta se insertan los globos esféricos de vidrio que dan forma a los ojos. Para dar volumen al resto de la cabeza, se aplican varias telas, una interior alrededor de la máscara del rostro

y la estructura de madera, y sobre ésta, otra tela con la que se crea el volumen del manto de la cabeza (Fig. 428). Esta última capa presenta un mayor espesor debido al componente de carga que se le ha aplicado, ya que es aquí donde se realiza el policromado de la imagen.

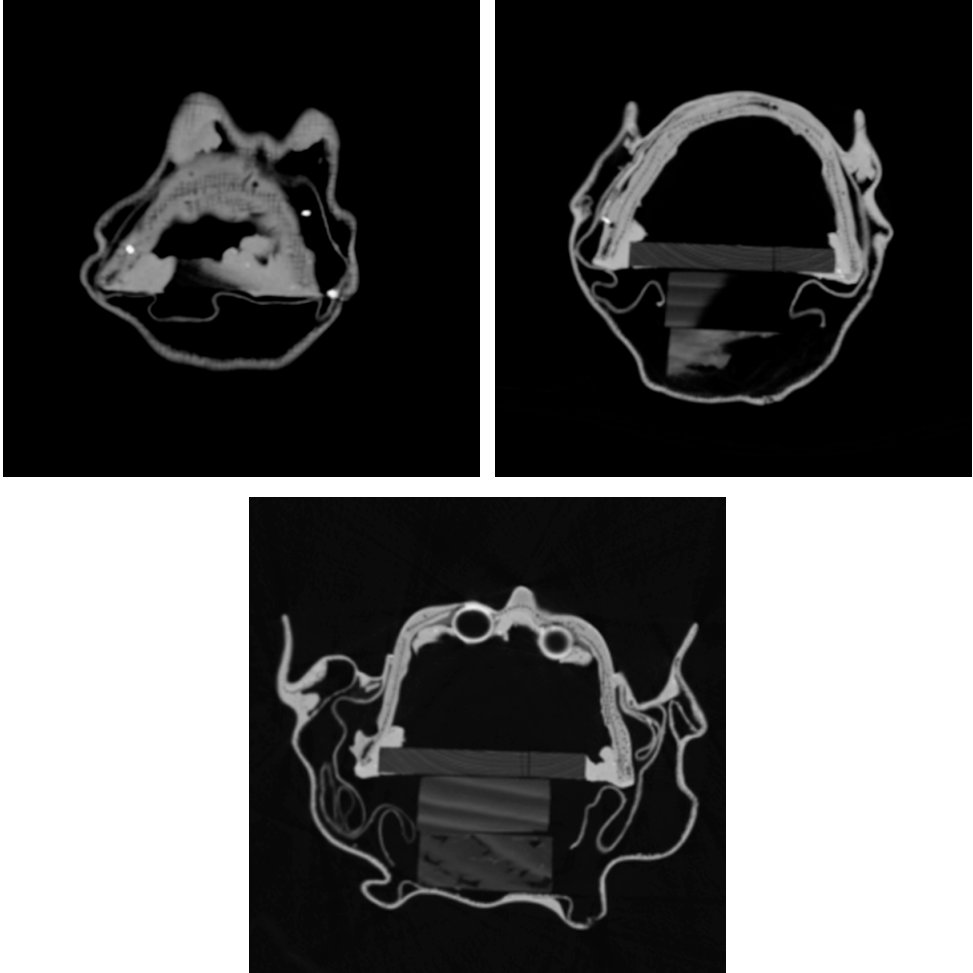


Figura 426-427-428.

A 31/213- A 39/213- A 73/213. Diferentes cortes axiales en los que se observa el sistema constructivo de la cabeza de la imagen. *Santa Clara*.

Con respecto al volumen del resto del cuerpo, se vuelve a observar, alrededor de la estructura de madera, un relleno interior de tela sobre el que se aplica otras dos telas que van dando forma al volumen del cuerpo de la santa. Se observa en ellas un espesor mayor que en las interiores, por lo que se deduce la presencia de

algún tipo de carga para dar consistencia a dicho soporte, al igual que ocurre en la realización del rostro. De estas dos capas, la última presenta un espesor mayor que la interior, ya que sobre esta es donde se aplica la policromía (Fig. 429-430).

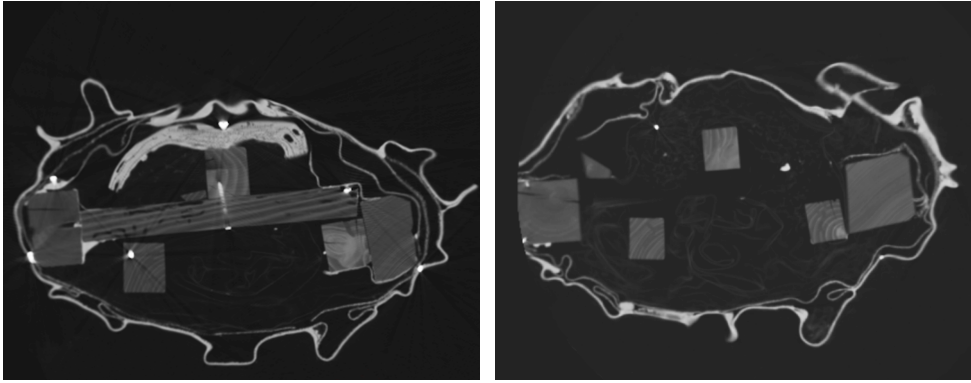


Figura 429-430.

A 159/213- A 212/213. Cortes axiales en los que se visualiza la construcción mediante diferentes piezas de madera de la estructura que da soporte al cuerpo de la imagen. *Santa Clara*.

4.II.3. Alteraciones

Ya ha quedado reflejado, en el análisis que se ha llevado cabo en los cuatro casos principales de esta investigación, que existen una serie de alteraciones que se repiten, en mayor o menor medida, en todas las piezas escultóricas realizadas en soporte de madera.

Por ello, y siguiendo la misma estructura que en el anterior apartado, vamos a ir analizando, a través del estudio mediante TC, las diferentes alteraciones que se localizan en el resto de las piezas escultóricas seleccionadas en esta investigación.

A. Grietas

La primera de las alteraciones que se repite en gran medida en los soportes de madera son las provocadas por las fendas o grietas.

En la imagen del *Cristo de Sant Bult*, se observan diversas grietas, en este caso fendas de secado que se proyectan desde el exterior hacia el interior de la pieza de madera y con poca profundidad. Tal y como reflejan las imágenes tomográficas, estas se localizan en todas las piezas de madera que conforman el soporte de la talla (Fig. 431-432).

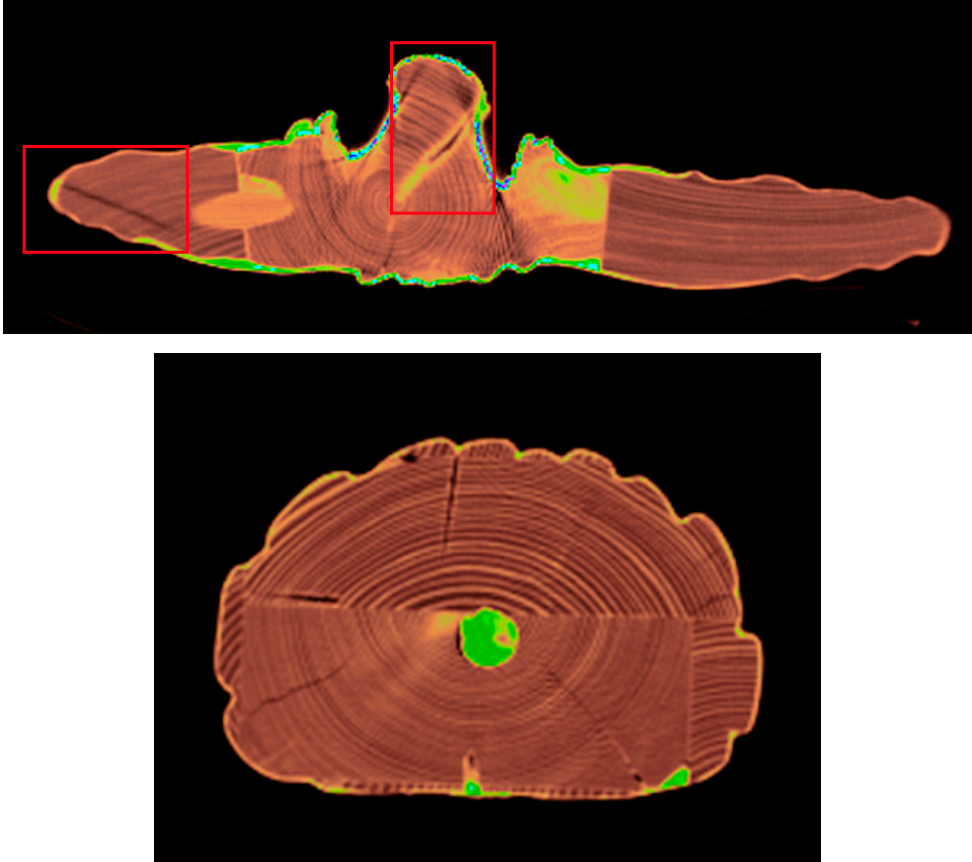


Figura 431-432.

A 79/416- A 190/416. Cortes axiales en los que se localizan las diferentes grietas que presenta el soporte de la talla del *Cristo de Sant Bult*.

En la imagen de *Nuestra señora de la Naranja*, se visualizan varios tipos de grietas. Algunas de estas se localiza a nivel superficial y con poca profundidad, son las referidas fendas de secado, y otras, de mayor envergadura, llegan incluso a atravesar el bloque de madera en toda su extensión transversal. Estas se sitúan principalmente en la cabeza y en el cuerpo del Niño (Fig. 433-434).



Figura 433-434.

A 112/974- S 253/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza los diferentes tipos de grietas que se proyectan en la talla de *Nuestra Señora de la Naranja*.

En el caso de *Nuestra Señora de la Leche* y de *la Virgen con Niño de Oliva*, tenemos el mismo tipo de grietas que en los anteriores casos. Se trata de grietas superficiales de pequeña envergadura, en su mayoría, y en menor medida otras de mayor tamaño que atraviesan en sentido longitudinal el bloque de madera.

En la *Virgen con Niño de Oliva*, también se localizan diversas grietas internas que se proyectan en sentido transversal.

Cabe destacar, en el análisis de todas estas piezas escultóricas, que es en aquellas zonas en las que el bloque de madera tiene su mayor espesor donde se localizan mayor número de grietas superficiales y de mayor envergadura, mientras en las zonas donde el bloque ha sido desbastado tan solo se localizan grietas menores (Fig. 435-436).

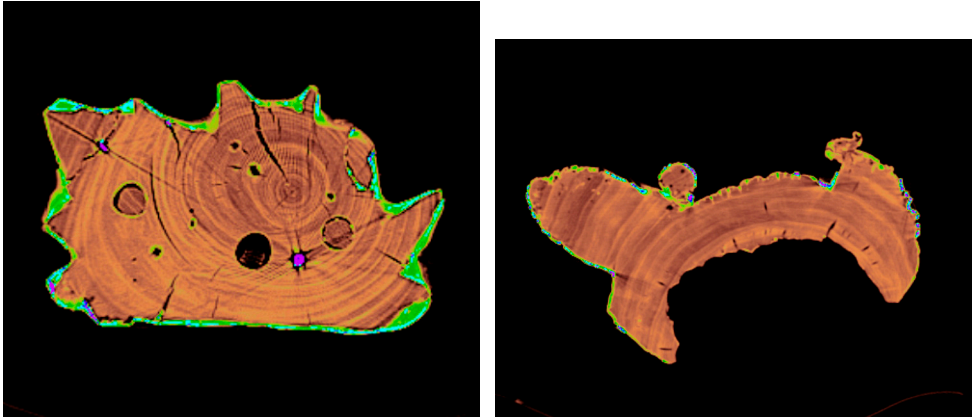


Figura 435-436.

A 76/90- A 288/859. Cortes axiales en los que se visualizan grietas superficiales y de mayor envergadura. *Nuestra Señora de la Leche* y *Virgen con Niño de Oliva*.

Continuando con el resto de casos de estudio, nos centramos en aquellas piezas escultóricas cuyo sistema constructivo se forja en un bloque de madera principal al que se le añaden diferentes piezas de madera.

La mayor parte de las grietas en todas estas piezas escultóricas se proyectan en el bloque principal. Apenas se localizan grietas en las piezas añadidas y, si existen, son superficiales y menores. Dicha cuestión se ha podido determinar a través del análisis tomográfico.

En la imagen del *Ecce Homo de L'Olleria*, todas las grietas de mayor envergadura se sitúan en el bloque de madera principal. Observamos una importante grieta que se proyecta longitudinalmente en el lateral izquierdo de la cabeza (Fig. 437), y de menor tamaño en el antebrazo derecho.

En el caso de *San Luis de Sellent*, no se localizan grietas de importancia, tan solo pequeñas grietas superficiales que se sitúan tanto en el bloque principal como en alguna de la piezas de madera añadidas (Fig. 438).

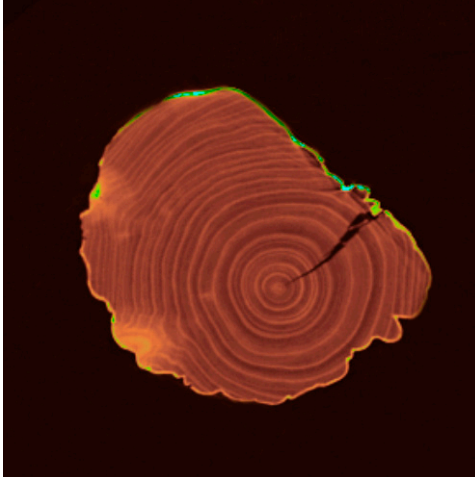


Figura 437.

A 148/786. Corte axial en el que se visualiza una grieta de gran envergadura en el rostro del *Ecce Homo* de L'Olleria.

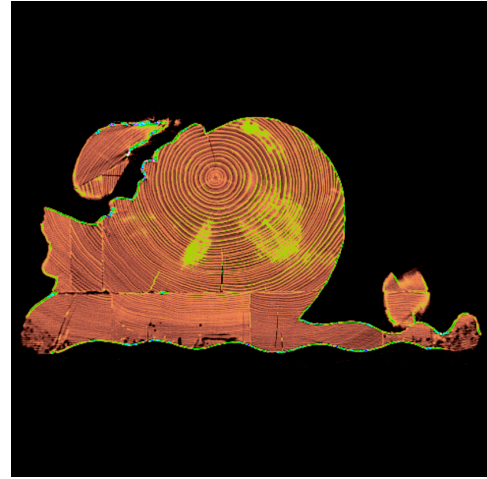


Figura 438.

A 358/831. Corte axial en el que se visualiza la diversidad de grietas que proyectan en la talla de *San Luis de Sellent*.

En la imagen de la *Virgen con Niño de escuela andaluza*, se localiza una grieta, sin que esta revierta gran importancia a nivel estructural. Está situada en el bloque principal de madera, en la parte central del manto en el anverso de la talla (Fig. 439). En el resto de piezas añadidas, tenemos pequeñas grietas superficiales sin apenas profundidad.

En la pieza escultórica que representa a *Santo Tomás*, todas las grietas se sitúan en la zona interna del bloque principal a nivel superficial y con poca profundidad (Fig. 440). Estas se localizan principalmente en la zona del pecho y en la base de la talla. En el resto de piezas añadidas que conforman su volumen, no se ha observado grieta alguna.

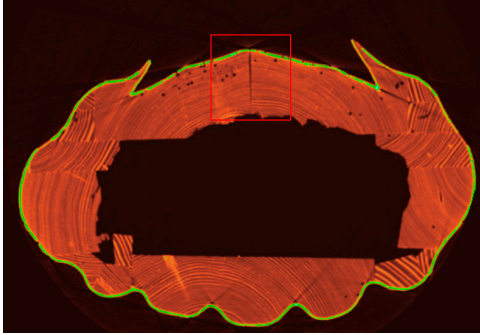


Figura 439.

A 370/ 455. Corte axial en el que se sitúa la grieta que se proyecta en el reverso de la talla de *Virgen con Niño de escuela andaluza*.

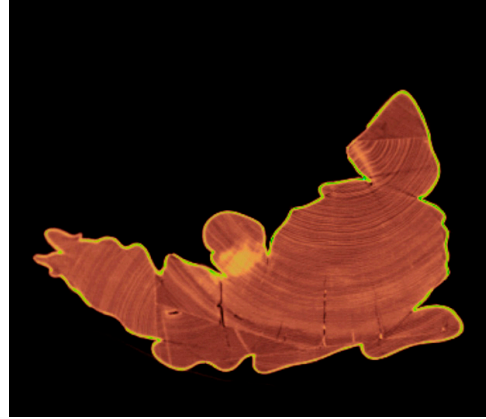


Figura 440.

A 103/426. Corte axial en el que se visualiza diversas grietas en el bloque principal de la talla de *Santo Tomás*.

En los bloques de madera, perfectamente definidos en tamaño y forma, que constituyen el soporte en el que se talla la imagen de *Nuestra Señora de las Nieves*, solo hemos encontrado pequeñas grietas superficiales localizadas en alguno de los bloques internos, pero que no suponen problema alguno para la estabilidad de la pieza escultórica (Fig. 441).

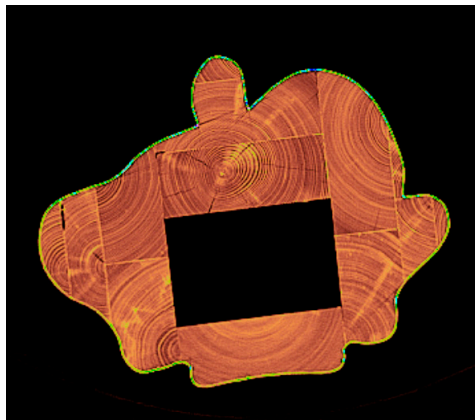


Figura 441.

A 97/151. Corte axial en el que se aprecian grietas en alguno de los bloques que conforman la estructura de soporte de la talla de *Nuestra Señora de las Nieves*.

Y por último, la imagen de *Santa Clara* muestra una grieta principal que se sitúa en una de las tablillas estructurales que dan soporte a la cabeza, atravesándola en sentido longitudinal y en todo su espesor, y otras grietas de menor importancia localizadas en los listones verticales.

B. Nudos

Los nudos son otra de las alteraciones en los soportes de madera que suelen crear problemas a las piezas escultóricas.

La TC resulta una herramienta indispensable a la hora de localizar la situación y el nivel de alcance de estos nudos, ya que en la mayoría de ocasiones se encuentran en el interior de la estructura de la escultura, aunque otras veces, al ser su proyección hacia el exterior del volumen de la talla, estos quedan enmascarados por la policromía de la obra.

En infinidad de ocasiones estos nudos son menores y no revierte mayor problema, pero es importante tener constancia de su localización y su extensión a la hora de determinar un plan de conservación preventiva de la pieza escultórica.

Nuevamente el análisis de las imágenes tomográficas ha resultado determinante a la hora de estudiar dichos nudos.

La primera de las piezas escultóricas en la que se localiza dicha alteración es la imagen del *Cristo de Sant Bult*. Los nudos se localizan por toda la estructura de las distintas maderas que conforman la talla del Cristo, tanto en la pieza que se considera original de la imagen, la que configura el torso y cabeza del Cristo, como en todas aquellas piezas no originales que se han añadido para completar el volumen de la talla (Fig. 442-443-444).

Aparentemente presentan estabilidad y no se encuentran separados del soporte.

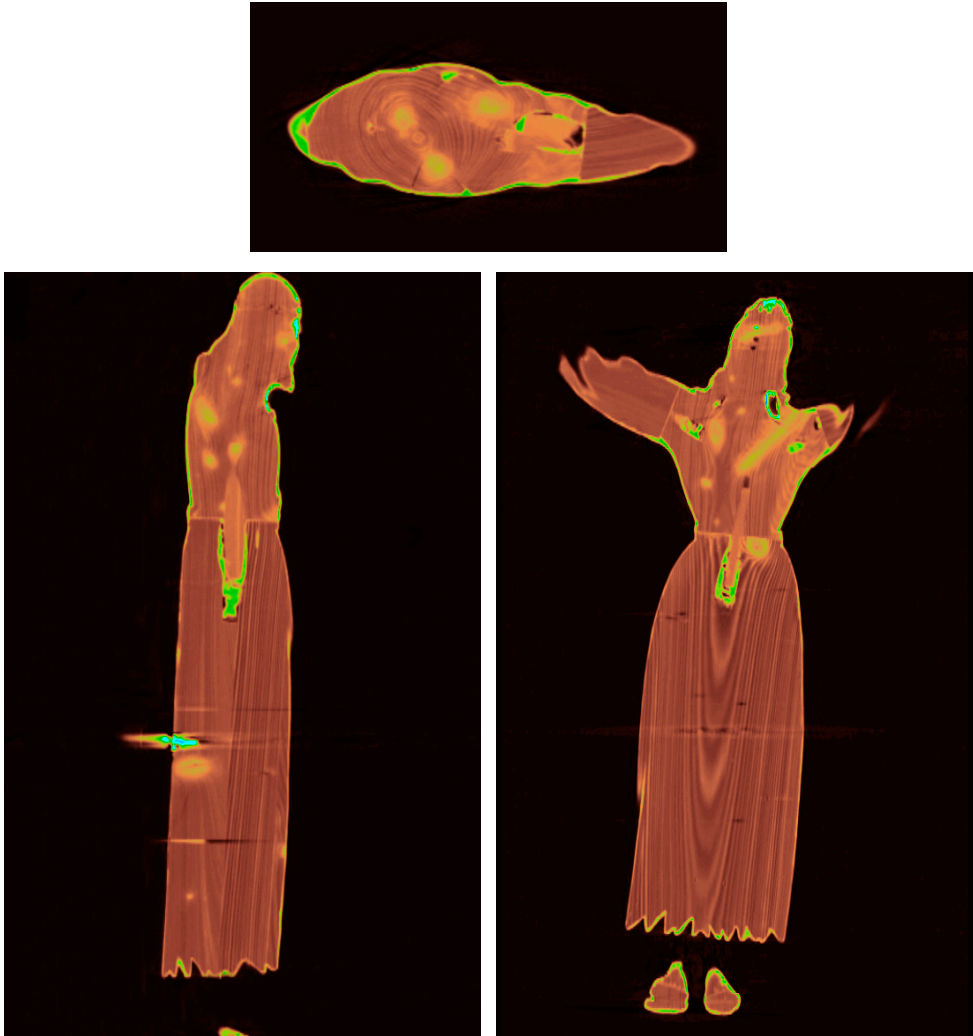


Figura 442-443-444.

A 95/416- S 259/512- C 246/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se observa la infinidad de nudos que presenta la estructura de madera del *Cristo de Sant Bult*.

La talla de *Nuestra Señora de la Leche* presenta nudos en menor número que en el caso anterior; concretamente, tres nudos situados a la altura del hombro izquierdo y de la cintura de la imagen.

En las imágenes tomográficas observamos que, a diferencia de los nudos anteriormente analizados, estos nudos presentan una tonalidad oscura. En este caso estaríamos definiendo los denominados *nudos muertos*. A través del análisis de esta pieza escultórica, queda definida la diferencia que determina la TC en el

análisis de los *nudos muertos*, con una tonalidad oscura, y los *nudos vivos*, con una tonalidad clara (Fig. 445-446).

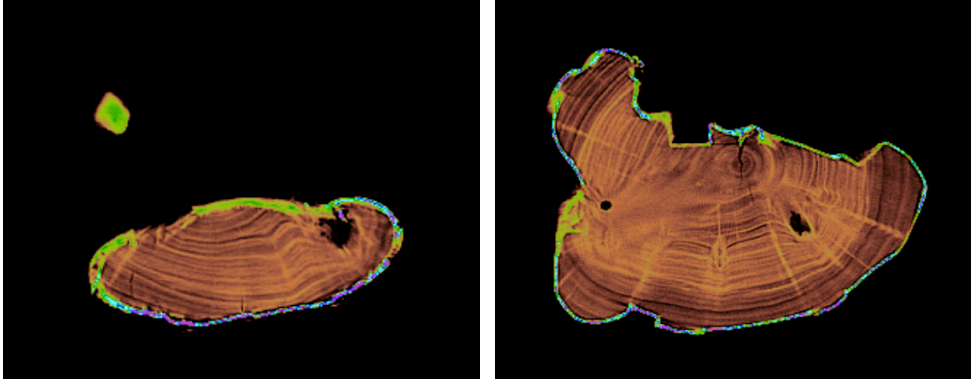


Figura 445-446.

A 25/90- A 38/90. Cortes axiales en los que se visualiza el tono oscuro de los denominados *nudos muertos*. *Nuestra Señora de la Leche*.

En la imagen del *Ecce Homo de L'Olleria*, se visualizan infinidad de nudos de distintos tamaños, que se distribuyen a lo largo de toda la estructura de madera de la talla (Fig. 447-448-449).

Alguno de ellos, de gran tamaño, coincide con grietas, posiblemente provocadas por la debilidad que se genera en las zonas afectadas por dicha alteración.

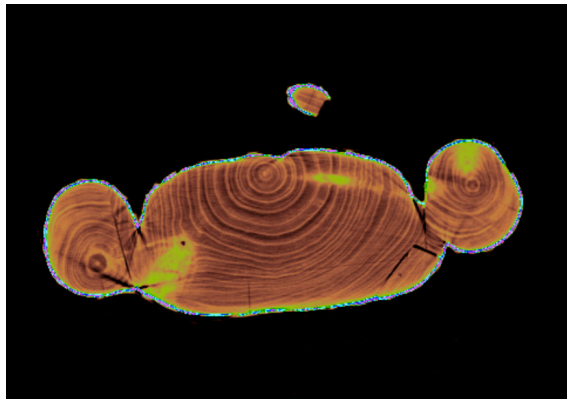


Figura 447.

A 388/786. Corte axial en el que se visualiza los diferentes nudos que presenta la estructura de la talla. *Ecce Homo de L'Olleria*.

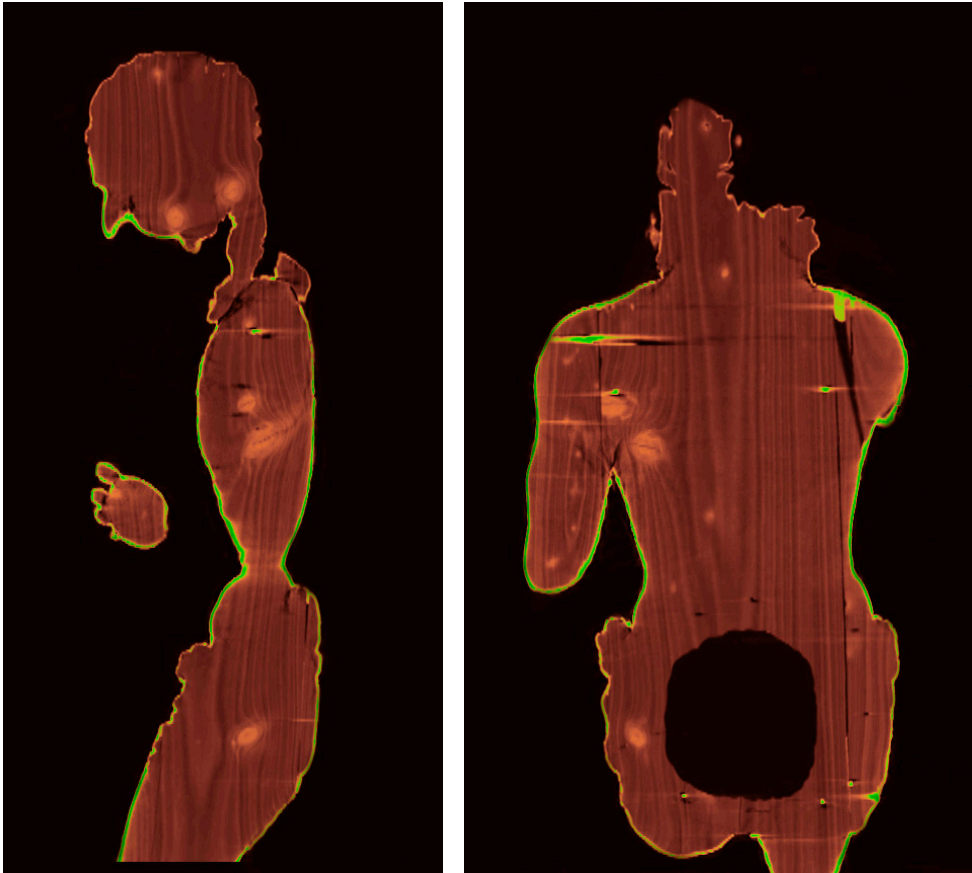


Figura 448-449.

S 264/512- C 320/512. Corte sagital y coronal en los que se visualiza los diferentes nudos que presenta la estructura de la talla. *Ecce Homo de L'Olleria*.

En la estructura del *San Luis de Sellent* observamos multitud de nudos, siendo algunos de gran tamaño y localizándose mayoritariamente en el bloque de madera principal con el que está configurada la talla. Cinco importantes nudos llegan incluso a proyectar su extensivo hasta el duramen.

Tal y como hemos podido observar en las imágenes tomográficas, estos nudos se sitúan a la altura de la cadera, en el pecho, pierna derecha y en la cabeza (Fig. 450-451-452).

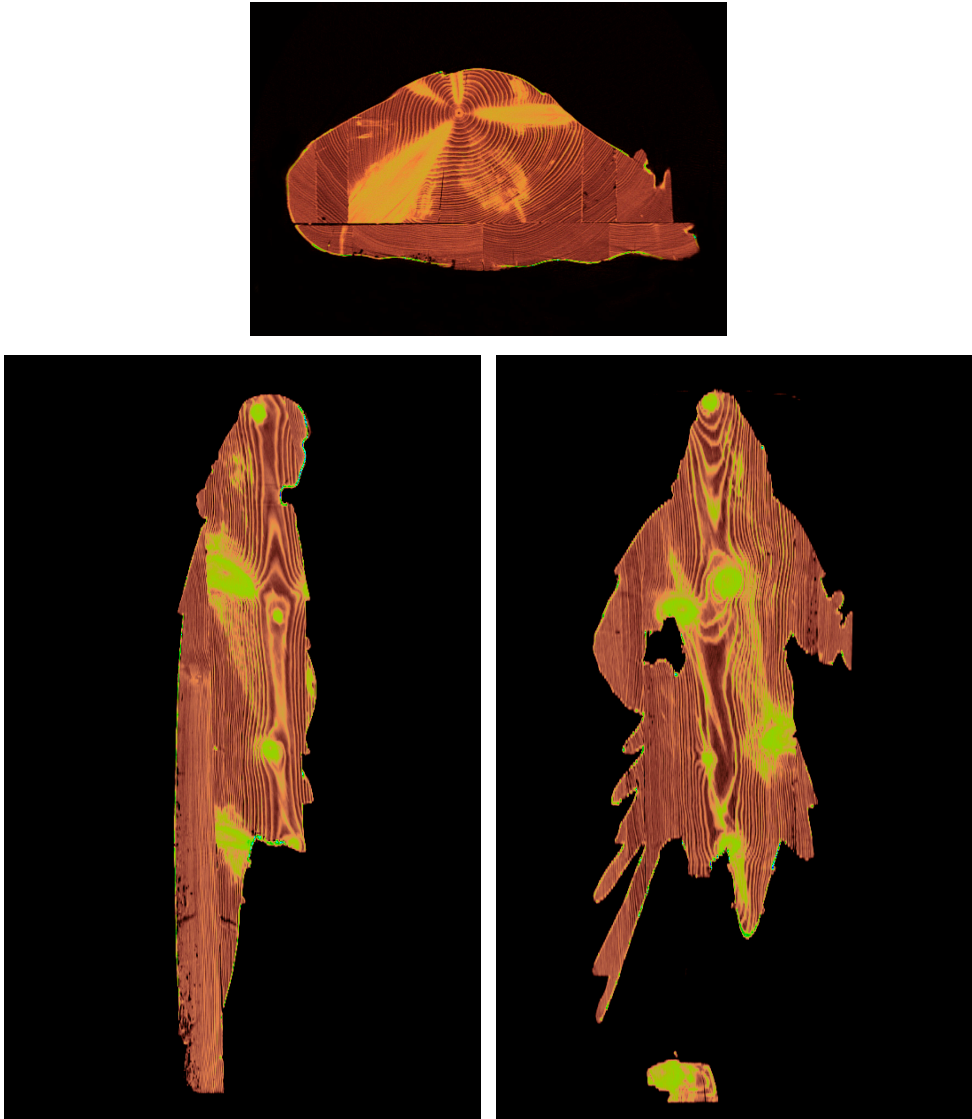


Figura 450-451-452.

A 284/831- S 260/512- C 263/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se visualiza los diferentes nudos que presenta la estructura de la talla. *San Luis de Sellent*.

En dos de las piezas añadidas del anverso, también se localizan dos importantes nudos. El resto se sitúan en la estructura de la talla y son de tamaño inferior.

Las imágenes tomográficas de la *Inmaculada Concepción de Granada* han revelado que esta presenta multitud de nudos, de mayor o menor tamaño, distribuidos por todas las piezas que conforman la estructura del soporte.

Dos de estos son de gran importancia debido a su tamaño y están localizados a la altura de las manos y el cuello de la imagen. Concretamente, el nudo que se sitúa en las manos se proyecta en sentido longitudinal abarcando una gran extensión (Fig. 453-454-455). Este ha provocado un debilitamiento importante de la zona ya que su tamaño abarca la totalidad del espesor del soporte de madera.

El resto de nudos que se localizan en la imagen no resultan de gran importancia debido a su pequeña dimensión.

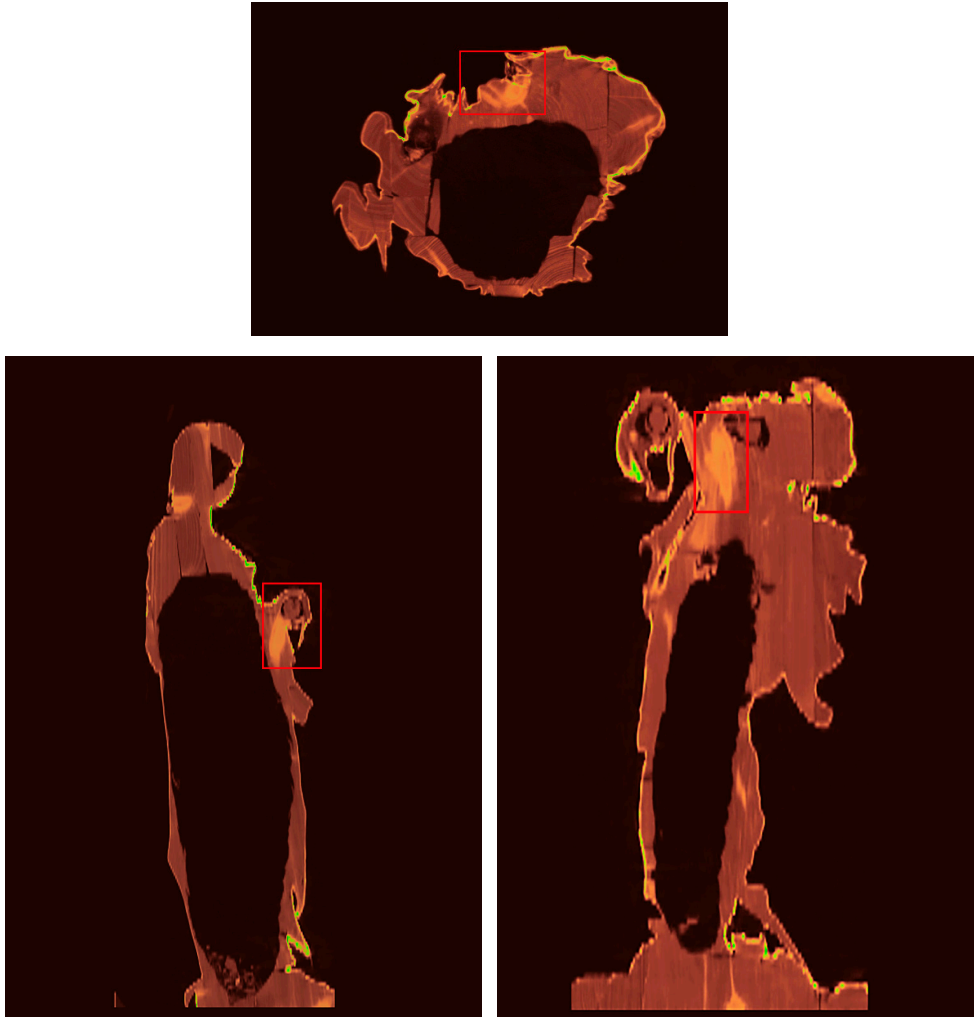


Figura 453-454-455.

A 68/183- S 256/512- C 123/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se visualiza el nudo que se proyecta en las manos de la pieza escultórica. *Inmaculada Concepción de Granada*.

En la pieza escultórica de la *Virgen con Niño de escuela andaluza*, el análisis mediante TC ha determinado cuatro importantes nudos. Están situados en las dos piezas de madera principales, de anverso y reverso, que conforman el manto de la imagen, concretamente en la base del manto de la Virgen y del Niño y en el reverso del cuello de la Virgen. Especialmente los del cuello de la Virgen y del manto del Niño resultan de gran importancia debido a su tamaño y extensión (Fig. 456-457).

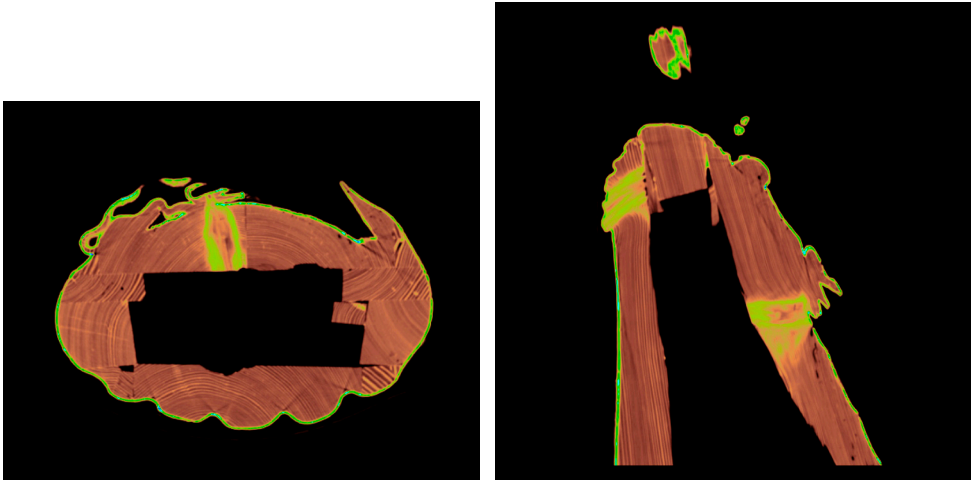


Figura 456-457.

A 311/455- S 269/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza los nudos que se proyectan en el cuello de la Virgen y en la base del manto del Niño. *Virgen con Niño de escuela andaluza*.

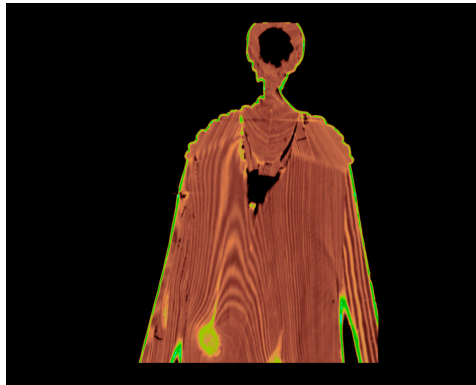


Figura 458.

C 410/512. Corte coronal en el que se observa los nudos de la base del manto de la Virgen. *Virgen con Niño de escuela andaluza*.

La imagen de *Santo Tomás* presenta dos nudos importantes. Estos se localizan en el bloque principal y en el reverso de una de las piezas añadidas en la configuración del volumen de la talla (Fig. 459).

Uno de los nudos se sitúa a una altura media de las piernas del santo y el otro en sus pies (Fig. 461).



Figura 459-460.

A 192/425- S 209/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza uno de los nudos que se sitúa a una altura media de las piernas del santo. *Santo Tomás*.



Figura 461.

C 227/512. Corte coronal en el que se observa el nudo que se localiza en los pies del santo. *Santo Tomás*.

Prácticamente la totalidad de las piezas de madera con las que está construido el soporte de la imagen de *Nuestra Señora de las Nieves* presentan nudos, en su mayoría de pequeñas dimensiones (Fig. 463). Tan solo hemos podido determinar a través del análisis tomográfico, dos nudos de mayor tamaño que se localizan en dos de las piezas del interior de la estructura a la altura del pecho de la imagen (Fig. 462).

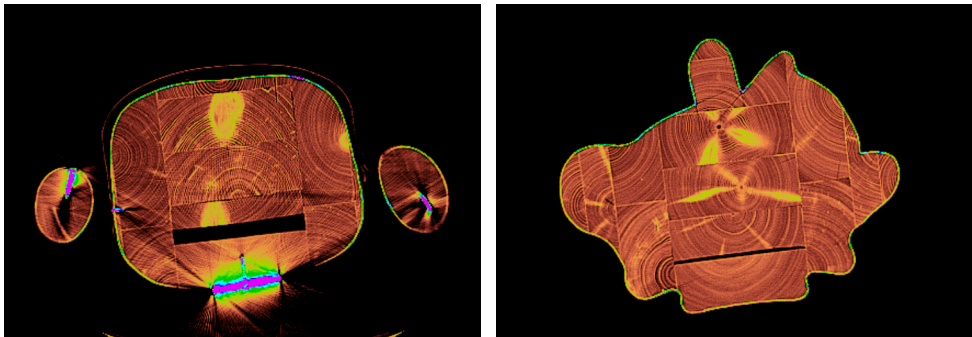


Figura 462-463.

A 53/151- A 109/151. Cortes axiales en los que se visualiza los diferentes nudos que se proyectan en las piezas de madera que conforman la estructura de la imagen de *Nuestra Señora de las Nieves*.

Desuniones en ensambles

En este caso no estaríamos hablando de una alteración propia de la madera como tal, sino de una alteración propia del sistema constructivo de las piezas escultóricas de madera, concretamente aquellas cuya configuración está realizada mediante el ensamble de varias piezas de madera. Nos referimos a las desuniones que se ocasionan entre la unión de dichas piezas.

Estas desuniones, en muchos de los casos, se reflejan a nivel externo de la pieza escultórica con importantes grietas en sentido longitudinal; de ahí la importancia de poder diferenciar cuándo una grieta está provocada por alteraciones en la propia madera o por desuniones en los ensambles. En ocasiones, dichas desuniones no son evidentes a nivel exterior, provocando un debilitamiento de la estructura a nivel interno. Es por ello, por lo que el estudio mediante TC resulta básico a la hora de valorar la estructura interna de una pieza escultórica.

De todas las esculturas seleccionadas en esta investigación, solo algunas están realizadas mediante el ensamble de varias piezas de madera y de ellas hablamos en este apartado.

En la imagen del *Ecce Homo de L'Olleria*, el análisis mediante TC ha determinado varias desuniones entre las piezas que conforman su estructura. Algunas se producen a nivel interno (pieza nº 4), pero en otras, aun siendo internas, su extensión se traslada hasta el exterior (pieza nº 2-3-4), quedando reflejada dicha desunión en el exterior de la talla en forma de grieta (Fig. 464-465-466).

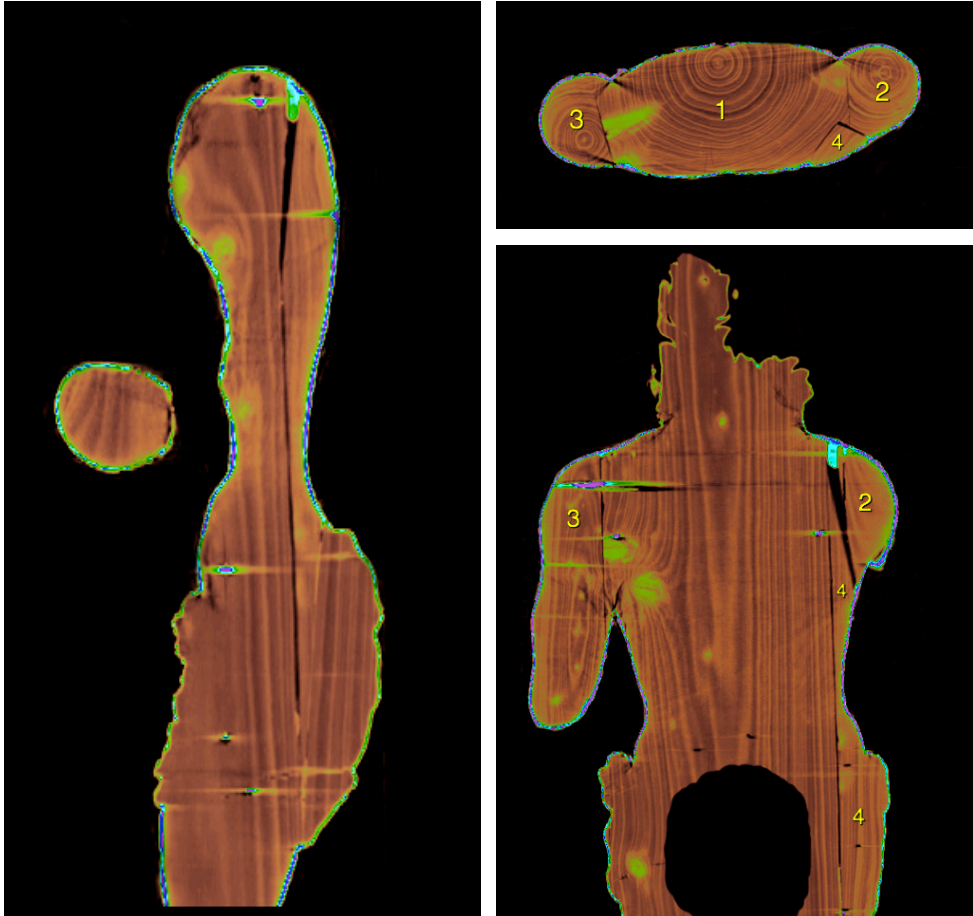


Figura 464-465-466

S 364/512 - A 356/786 - C 240/512. Corte sagital, axial y coronal en los que se visualiza la desunión entre piezas. *Ecce Homo de L'Olleria*.

En la pieza escultórica de *San Luis de Sellent*, el estudio mediante TC revela varias desuniones entre piezas. Dos desuniones principales se sitúan en el anverso (Fig. 469-470) y otras dos en los laterales de la imagen (Fig. 467-468). Estas cuatro desuniones quedan reflejadas en el exterior de la pieza escultórica a modo de grietas que recorren la pieza en sentido longitudinal.

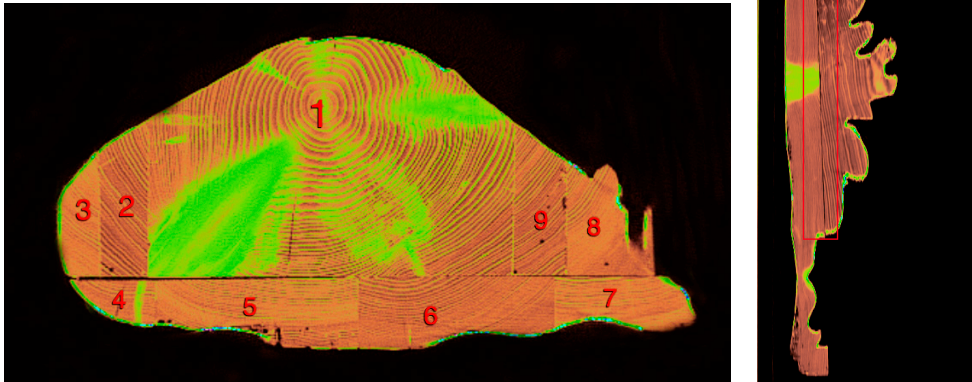


Figura 467-468.

A 278/831- S 410/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza la desunión entre piezas localizadas en los laterales de la talla. *San Luis de Sellent*.

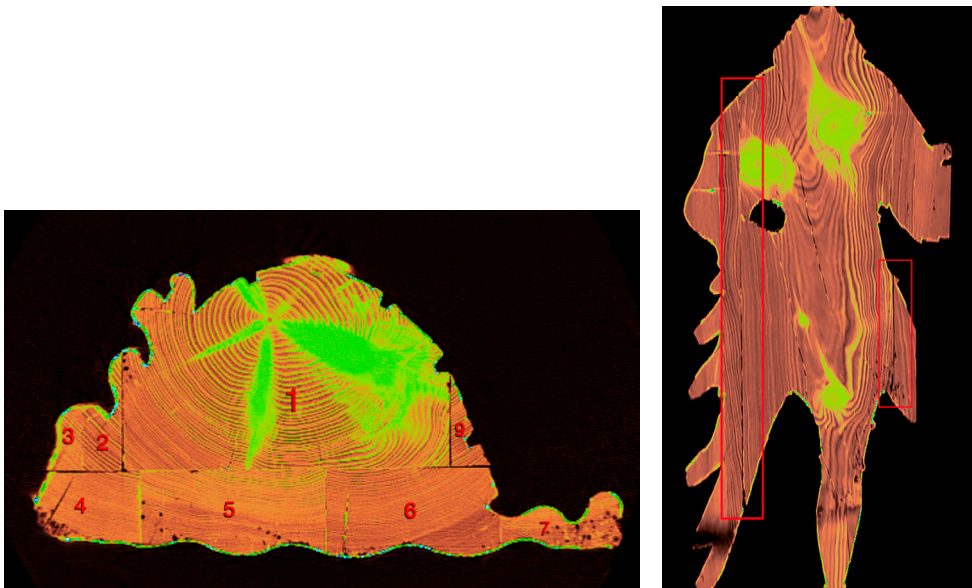


Figura 469-470.

A 436/831- C 310/512. Corte axial y coronal en los que se visualiza la desunión entre piezas localizadas en el anverso de la talla. *San Luis de Sellent*.

La imagen de la *Inmaculada Concepción de Granada* presenta multitud de desuniones entre las piezas de madera que conforman su estructura. Muchas están localizadas a nivel interno y otras, iniciándose en el interior, prolongan su extensión hasta el exterior (Fig. 471-472-433).

Tal y como queda reflejado en las imágenes tomográficas, la estructura de esta pieza escultórica no solo muestra un debilitamiento a nivel de soporte, con zonas donde las piezas de madera presentan un mínimo espesor, sino que además ese elevado número de piezas evidencia desuniones en sus ensambles. Todo esto hace que la estructura de la imagen resulte muy poco estable.

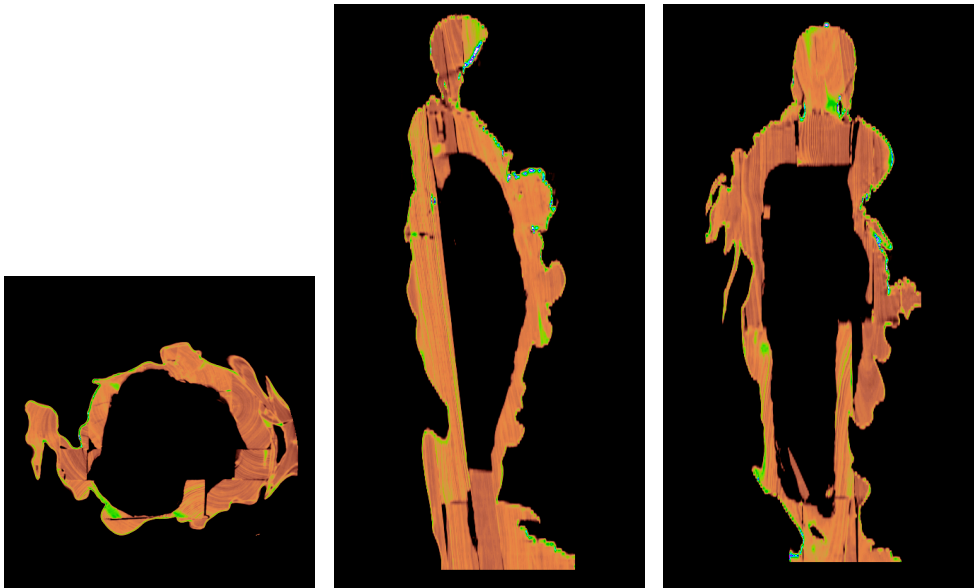


Figura 471-472-473.

A 111/182- S 313/512- C 294/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se visualiza la desunión entre piezas de la talla. *Inmaculada Concepción de Granada*.

La pieza escultórica de *Virgen con Niño de escuela andaluza*, a pesar de la compleja disposición de piezas ensambladas que conforman su estructura, no evidencia ninguna desunión.

A través del análisis tomográfico de la imagen de *Santo Tomás*, hemos podido definir que existen solo dos desuniones entre las diferentes piezas que se utilizan en la construcción de su estructura. Su emplazamiento se localiza en el ensamble de una de las piezas que se sitúa en el reverso de la talla y en el lateral derecho (Fig. 474-475-476). Las dos desuniones proyectan su extensión desde el interior hasta el exterior de la talla.

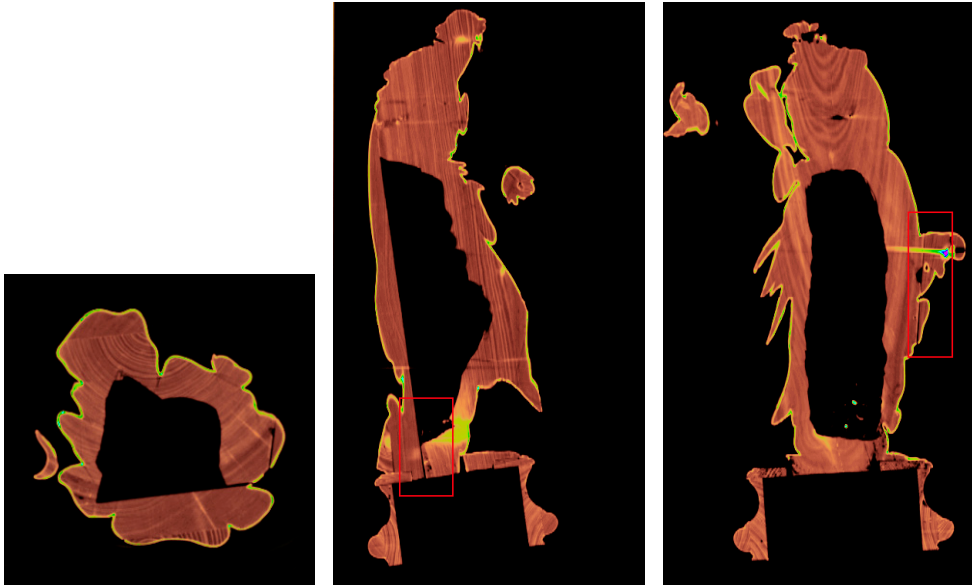


Figura 474-475-476.

A 196/426- S 276/512- C 258/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se visualiza la desunión entre piezas de la talla. *Santo Tomás*.

En la imagen de *Nuestra Señora de las Nieves*, el análisis tomográfico ha revelado que no existe ninguna desunión entre piezas que resulte de suma importancia. Tan solo se evidencia alguna desunión entre las piezas que se sitúan en el interior de la estructura de la talla a la altura de su cintura (Fig. 477).

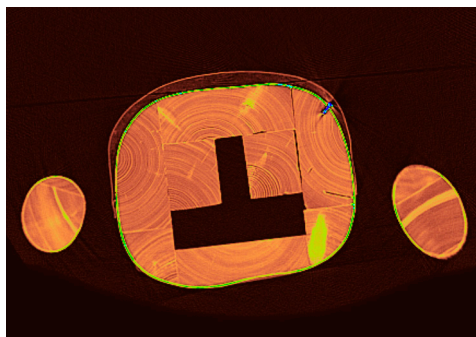


Figura 477.

A 47/151. Corte axial en el que se observa la desuniones entre algunas piezas que se localizan en el interior de la estructura de la talla. *Nuestra señora de las Nieves*.

Ataque de insecto xilófago

Ya no como una alteración propia de los soportes de madera, sino como una alteración provocada por un agente externo, en esta ocasión de tipo biótico, es el deterioro que ocasiona el ataque producido por insecto xilófago.

En este caso, el estudio mediante TC ha resultado una herramienta indispensable a la hora de determinar el alcance de este deterioro, ya que, a través del análisis de las imágenes tomográficas, se pueden localizar exactamente las áreas afectadas y su incidencia en la estabilidad de las diferentes piezas escultóricas estudiadas.

Dicho deterioro ya ha sido evidenciado en los casos de estudios principales. En este apartado analizamos el resto de piezas escultóricas seleccionadas en esta investigación que se ven afectadas por este deterioro. En la imagen de *Nuestra Señora de las Victorias o Batallas*, hemos podido determinar que el soporte original de la imagen presenta un importante y virulento ataque de insecto xilófago generalizado por toda su estructura, lo que hace que dicho soporte evidencie una gran inestabilidad (Fig. 478-479-480). Aquellas piezas que no se ven afectadas por dicho ataque son las nuevas que se añaden a la talla original para la configuración del rostro, las manos y la estructura de apoyo situada en el reverso de la imagen.

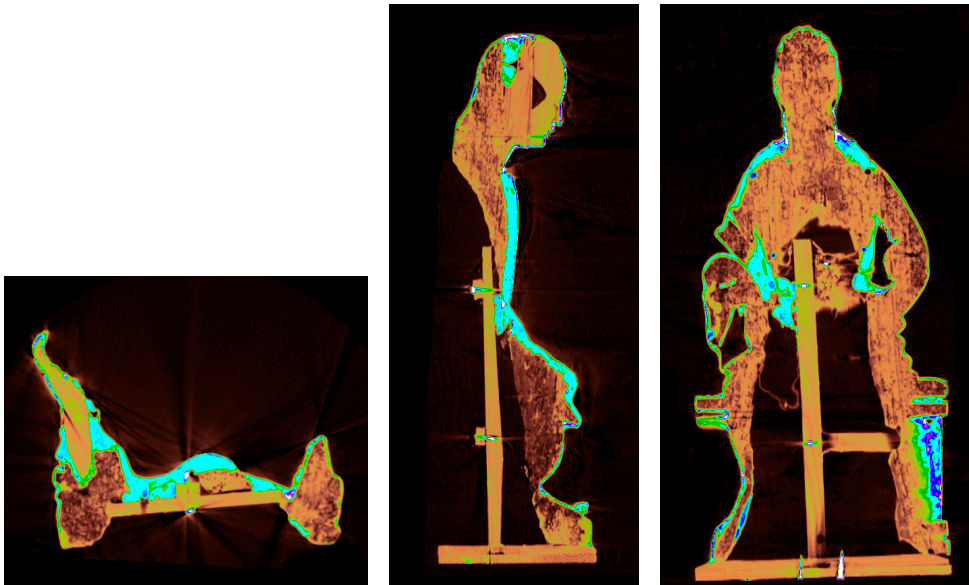


Figura 478-479-480.

A 214/435- S 306/512- C 210/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se visualiza el ataque de insecto xilófago. *Virgen de las Victorias o Batallas*.

En el caso de *Nuestra Señora de la Naranja*, el estudio mediante TC ha determinado la presencia de ataque de insecto xilófago, en mayor o menor medida, en todas las piezas que conforman su estructura. Dicho ataque evidencia mayor actividad hacia la zona del trono y la base de la imagen (Fig. 481-482-483).

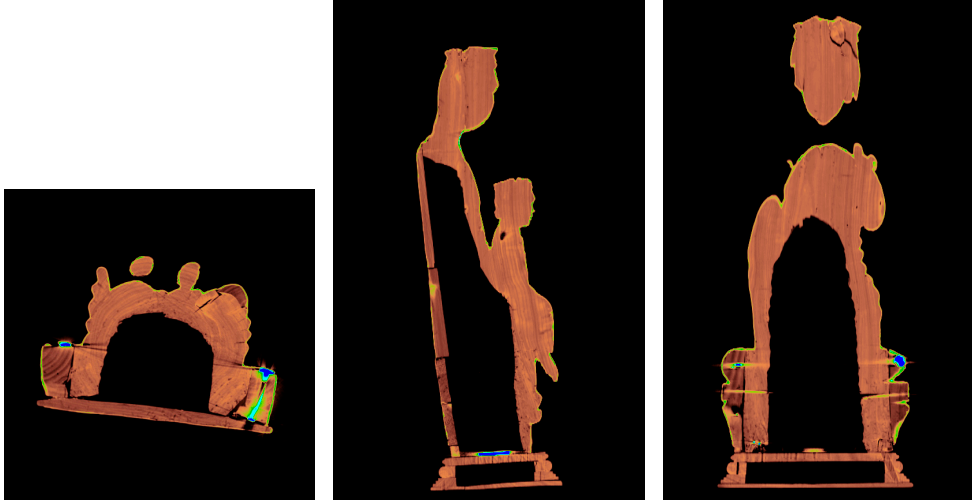


Figura 481-482-483.

A 726/974- S 252/512- C 288/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se visualiza el ataque de insecto xilófago, con mayor actividad en la zona del trono y base de la talla. *Nuestra Señora de la Naranja*.

En la imagen de *Virgen con Niño de Oliva*, el ataque de insecto xilófago se localiza a nivel superficial en todo el anverso de la talla, presentando mayor virulencia en la base, llegando en esta zona a abarcar la totalidad del volumen de la madera (Fig. 484-485).

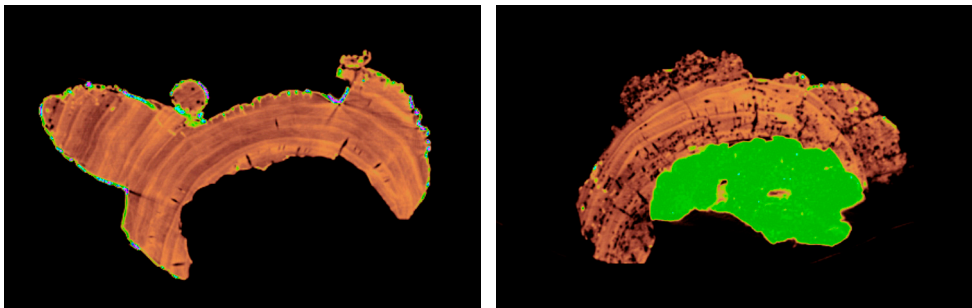


Figura 484-485.

A 286/859- A 796/859. Cortes axiales en los que se visualiza el ataque provocado por insecto xilófago a nivel superficial y en la base de la talla. *Virgen con Niño de Oliva*.

El análisis tomográfico de la talla de *San Luis de Sellent* refleja ataque de insecto xilófago principalmente en las piezas añadidas al bloque principal de la talla, concretamente en todas las piezas que conforman el reverso y en algunas de las que dan forma a los pliegues del lateral derecho de la túnica del santo (Fig. 486-487-488). Dicho ataque se va haciendo más agresivo a medida que nos acercamos a la base de la pieza escultórica.

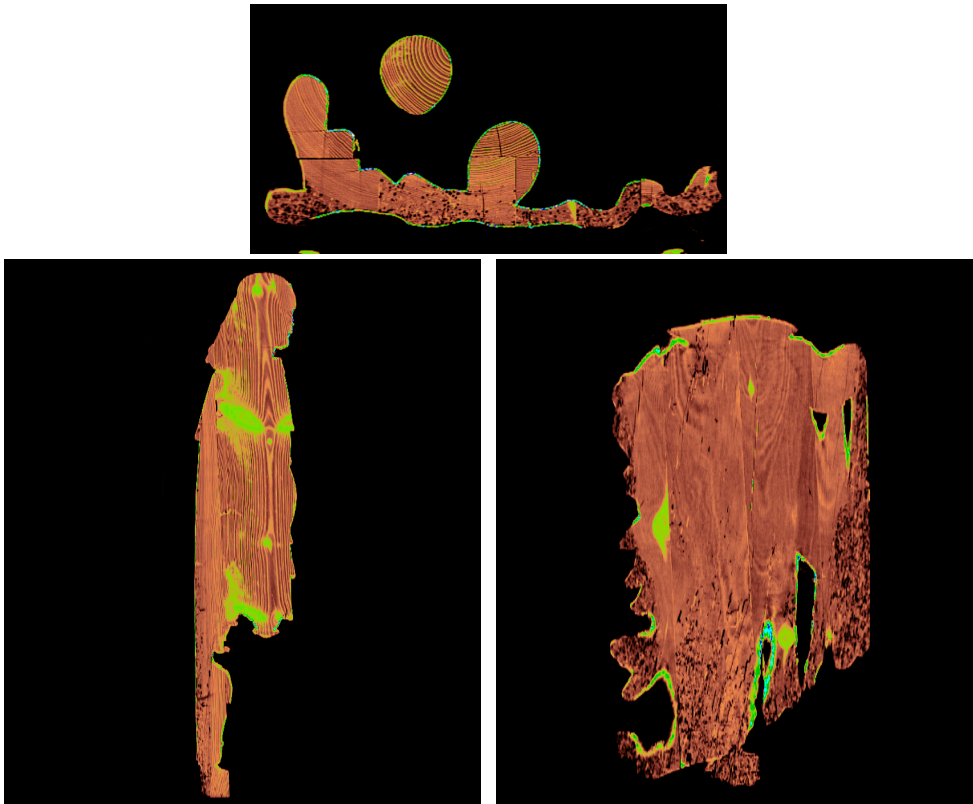


Figura 486-487-488.

A 642/831- S 272/512- C 349/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se visualiza el ataque de insecto xilófago, con mayor actividad en la pieza del reverso y en la base de la talla. *San Luis de Sellent*.

Leve ataque de insecto xilófago es el que presenta la *Virgen con Niño de escuela andaluza*. A través del análisis de las imágenes tomográficas, se ha podido observar que dicho ataque afecta a casi todas las piezas que conforman la estructura de la talla, pero con muy leve actividad. Este se hace más evidente en las piezas que conforman el anverso del manto de la Virgen y del Niño, y en el reverso del cuello y cabeza de la Virgen (Fig. 489-490).

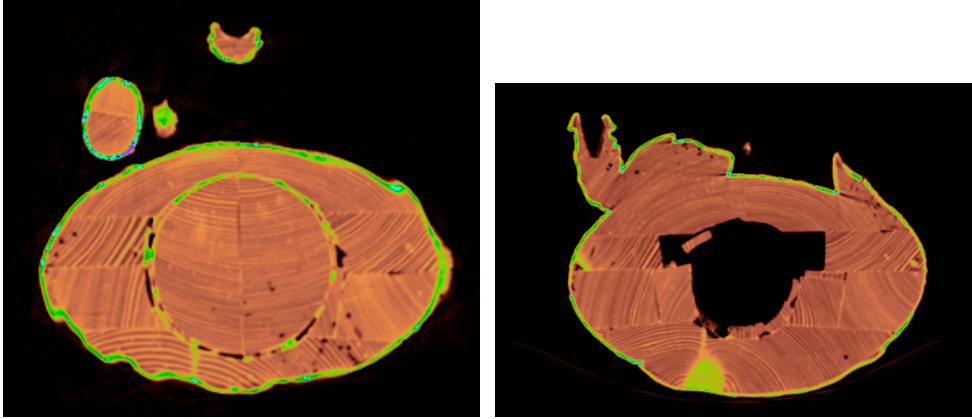


Figura 489-490.

A 162/454- A 216/454. Cortes axiales en los que se visualiza el leve ataque provocado por insecto xilófago. *Virgen con Niño de escuela andaluza*.

En la estructura de madera de la talla de *Santo Tomás*, hemos podido determinar la presencia de insecto xilófago en la base del bloque principal con el que se construye la imagen y en su peana (Fig. 491-492).

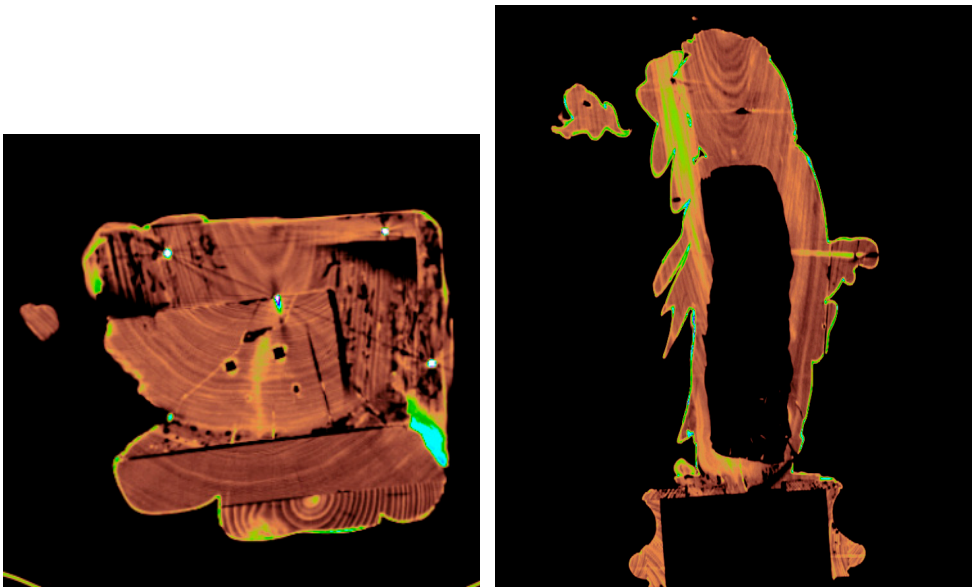


Figura 491-492.

A 325/426- C 265/512. Corte axial y coronal en los que se localiza el ataque provocado por insecto xilófago en la base de la talla del santo y en su peana. *Santo Tomás*.

En el caso de la imagen de *Santa Clara*, tenemos un importante ataque de insecto xilófago en dos de las tablillas que conforman la estructura que sustenta la cabeza y en la tablilla horizontal de la estructura del cuerpo (Fig. 493-494).

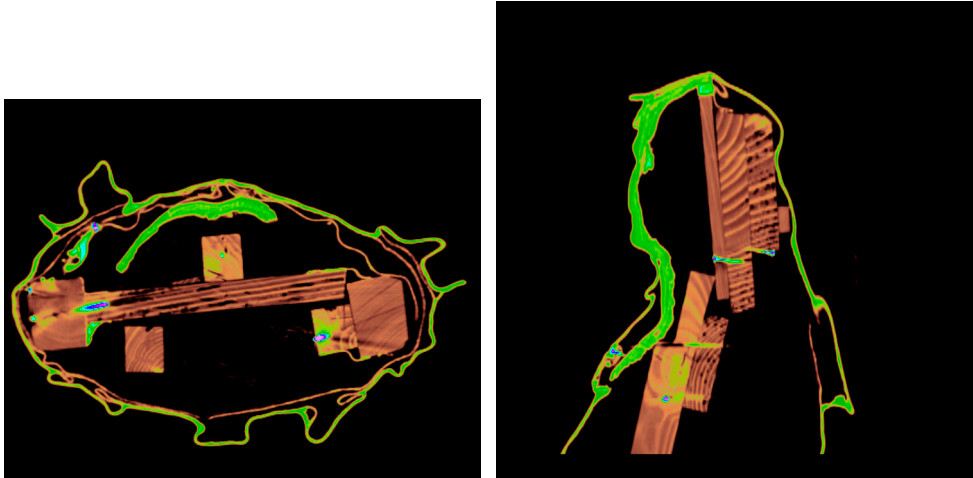


Figura 493-494.

A 166/213- S 200/512. Corte axial y sagital en los que se localiza el ataque provocado por insecto xilófago en la estructura interior realizada en madera de la imagen de *Santa Clara*.

De todos los análisis anteriormente expuestos, se puede concluir que, por el tipo de galerías y orificios, en este caso pequeños agujeros circulares de 1 a 2 mm⁶¹ que hemos visualizado en las diferentes imágenes tomográficas que se han generado en cada una de las piezas escultóricas, la especie de insecto xilófago con la que se ven afectadas estas piezas es el *anobium punctatum*⁶².

■ 4.II.4. Intervenciones de restauración

Como ya hemos dicho anteriormente en este trabajo, las piezas escultóricas que estudiamos son imágenes religiosas destinadas, o lo han sido en algún momento, al culto.

Esto hace que, además de la materia en la que están realizadas y sus distintos factores de alteración, sean los gustos y los cambios doctrinales acaecidos a lo largo de la historia, los que hayan determinado en su momento la conservación

61 Caneva, G.; Nugari, M. P. Salvadori, O. *La biología en la restauración*, p. 21.

62 Pequeño coleóptero que ataca indistintamente tanto maderas de coníferas como de frondosas. Caneva, G.; Nugari, M. P.; Salvadori, O. *La biología en la restauración*, pp. 21-22.

de dichas imágenes. Por esto son escasas las imágenes religiosas que han quedado a salvo de sucesivas intervenciones de restauración.

En este apartado pretendemos realizar un análisis de aquellas intervenciones de restauración que presentan las diferentes obras seleccionadas. Las intervenciones de restauración que evidencian estas imágenes no resultan determinantes como únicas intervenciones que se puedan encontrar en un pieza escultórica, pero sí nos proporcionan una visión generalizada de aquellas intervenciones de restauración que se dan comúnmente en las esculturas policromadas en madera, al margen de que estas sean o no de índole religiosa.

Ya hemos visto en los casos principales de estudio de esta investigación la existencia de una serie de intervenciones que se repiten en casi todas las piezas escultóricas analizadas: reconstrucciones de volumen, piezas añadidas, rellenos de grietas, desuniones y oquedades y repolicromados. Es por ello por lo que en este apartado analizaremos el resto de casos en función de dichas intervenciones de restauración.

A. Reconstrucciones de volumen

Las reconstrucciones de volúmenes se realizan principalmente para completar faltantes de talla. En multitud de ocasiones, dichas intervenciones quedan enmascaradas por la propia policromía y es en estos casos donde el análisis mediante TC resulta determinante a la hora de localizarlas.

Al igual que en los casos de estudio principales, en el resto de piezas escultóricas seleccionadas en esta investigación, se han identificado distintas reconstrucciones de volumen.

De todos los casos estudiados, es *Nuestra señora de las Victorias o Batallas* el que presenta mayor cantidad de intervenciones de restauración, prácticamente el 90% de su volumen. Tal y como evidencia el análisis de las imágenes tomográficas, estas reconstrucciones están realizadas mayoritariamente con algún tipo de estuco, y su espesor va variando en función de las zonas a reconstruir (Fig. 495-496).

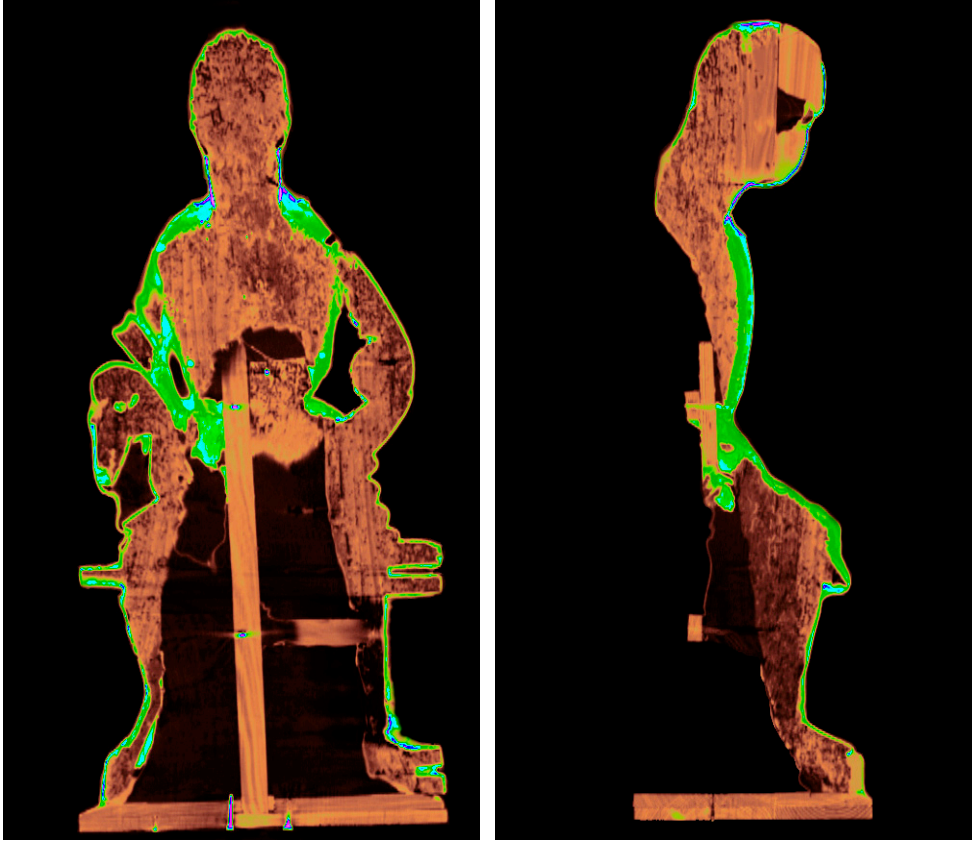


Figura 495-496.

C 257/512- S 262/512. Corte coronal y sagital en los que se visualiza diferentes zonas de la talla donde se han realizado reconstrucciones de volumen. *Virgen de las Victorias o Batallas*.

Es a partir del cuello donde empiezan a visualizarse dichas reconstrucciones, prolongando su extensión en todo el torso de la imagen. El punto máximo de espesor en dicha zona es de 2,12 cm (Fig. 497). La reconstrucción abarca también el volumen de la mano izquierda, observándose que en dicha zona el material de relleno, algún tipo de estuco, se ha utilizado con dos finalidades: a modo de reconstrucción del volumen y como sustento del antebrazo de la imagen (Fig. 498).

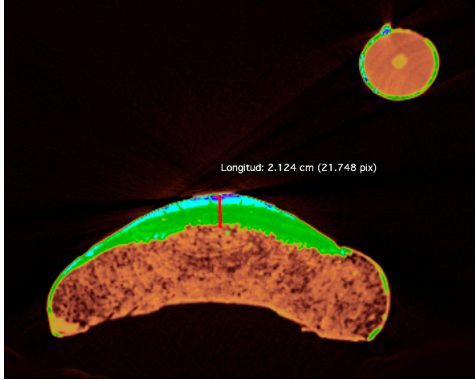


Figura 497.

A 127/435. Corte axial en el que se ha medido el espesor máximo de la reconstrucción del torso de la imagen.

Virgen de las Victorias o Batallas.

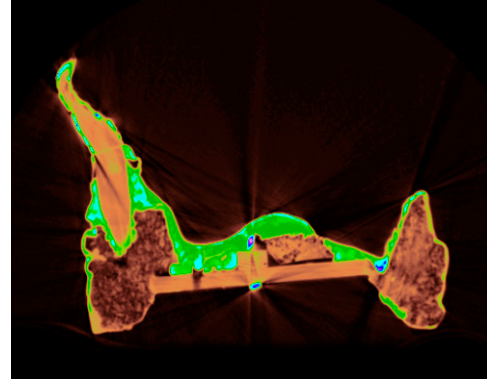


Figura 498.

A 214/435. Corte axial en el se visualiza la reconstrucción de volumen en la zona de la mano izquierda de la imagen.

Virgen de las Victorias o Batallas.

A la altura de la cintura de la talla se observa una importante reconstrucción, ya que en dicha zona existe una pérdida total del soporte de madera. Esta alcanza en su punto máximo un espesor de 4,82 cm (Fig. 499). La reconstrucción del volumen de la pieza escultórica continúa en los pliegues del manto, que se moldean en las piernas, localizándose el punto máximo de su espesor en la rodilla izquierda, con una medida de 5,82 cm (Fig. 500).

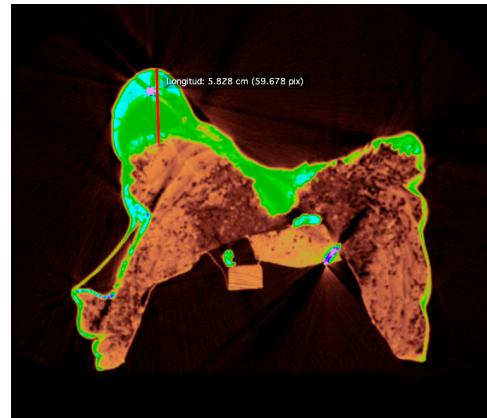
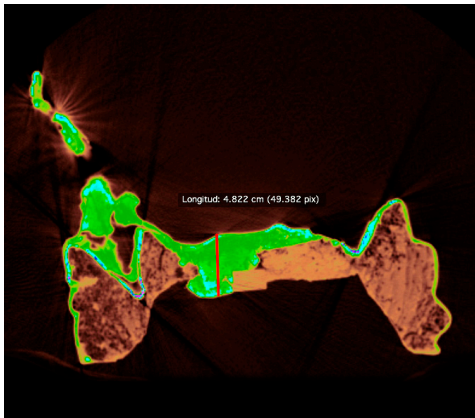


Figura 499-500.

A 229/435 – A 265/435. Cortes axiales en los que se ha medido el espesor en diferentes zonas de reconstrucción del volumen de la talla. *Virgen de las Victorias o Batallas.*

Es en la parte inferior de la pieza escultórica donde hemos observado nuevas reconstrucciones de volumen, concretamente en parte del pie izquierdo y el derecho y en la base de su peana. El análisis de las imágenes tomográficas evidencia, en el pie derecho y en la base de la peana, un material de relleno de diferente densidad que los anteriores, realizados con algún tipo de estuco, material identificado como una resina epoxídica (Fig. 501).

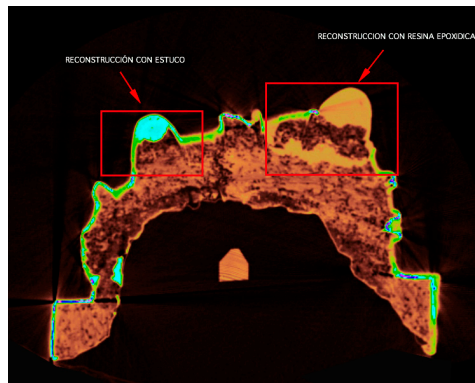


Figura 501.

A 385/435. Corte axial en el que se sitúan las reconstrucciones del pie derecho, el izquierdo y la base de la imagen. *Virgen de las Victorias o Batallas*.

Aparte de estos dos tipos de materiales de relleno, hemos podido visualizar un nuevo material, en este caso tela, que se ha utilizado en la reconstrucción de los pliegues del manto en la mano derecha (Fig. 502). A través de las imágenes tomográficas, hemos observado que dicha reconstrucción oculta parte del volumen original.

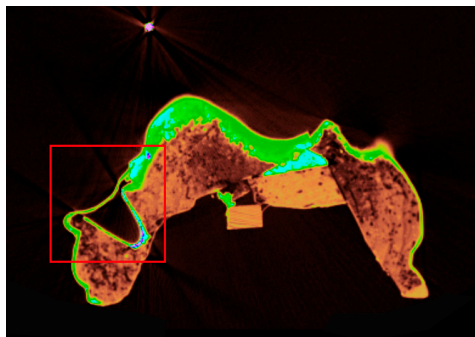


Figura 502.

A 254/435. Corte axial en el que se sitúa las reconstrucciones de volumen realizadas con tela de uno de los pliegues del manto. *Virgen de las Victorias o Batallas*.

En la reconstrucción 3D quedan evidentes los diferentes materiales que se han utilizado en la reconstrucción del volumen de la imagen (Fig. 503), predominando los realizados a base de algún tipo de estuco.

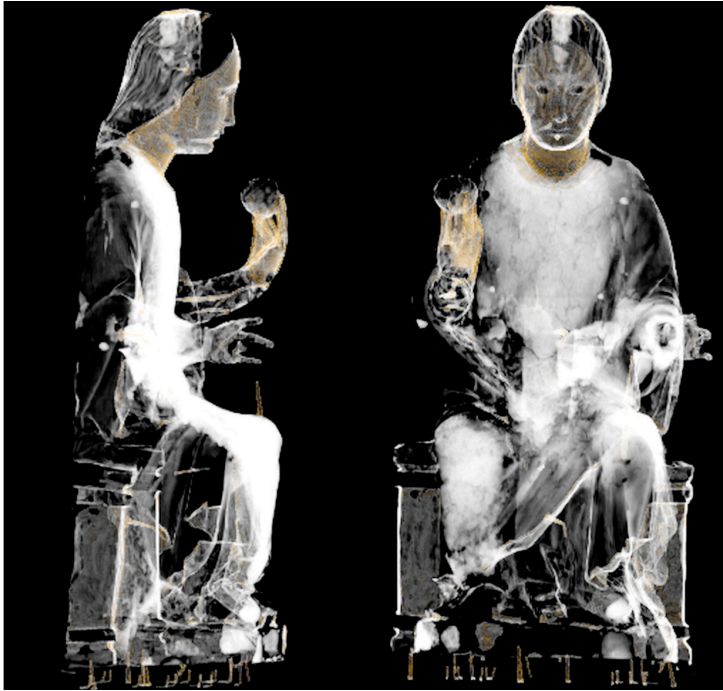


Figura 503.

3D *Clut-Bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) del lateral derecho y anverso, en los que se visualiza el volumen de reconstrucción que presenta la imagen. *Virgen de las Victorias o Batallas*.

En la imagen de *Nuestra señora de la Naranja*, se han determinado reconstrucciones de volumen en diferentes zonas. A través de las imágenes tomográficas, las hemos podido situar y medir su espesor. Estas están realizadas con algún tipo de estuco y se localizan en el brazo izquierdo, en los pliegues del manto de la Virgen (Fig. 504) y, ya casi en su base, en los dos laterales del trono (Fig. 505).

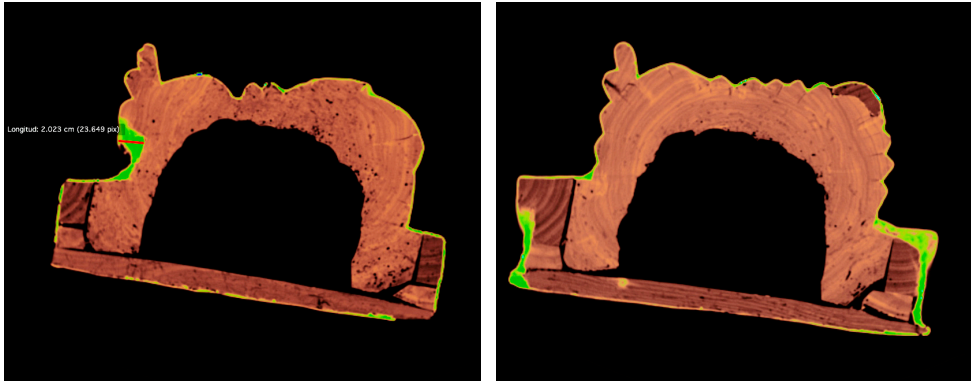


Figura 504-505.

A 748/974- A 846/974. Cortes axiales en los que se localiza las diferentes reconstrucciones de volumen en la imagen. *Nuestra señora de la Naranja*.

En el resto de imágenes seleccionadas en esta investigación, no se ha observado ningún tipo de reconstrucción de volumen.

B. Piezas añadidas

El añadido de nuevas piezas es una de las intervenciones que se repite en mayor medida en escultura policromada en madera. Entre las diferentes piezas que podemos encontrar añadidas, existen ciertas diferencias: por un lado, las que han sido añadidas a modo de reconstrucción de un faltante original, reconstrucciones de antiguas piezas originales y que en algún momento de la historia la obra perdió o fueron eliminados por alguna circunstancia y, por otro, las añadidas pero sin que originariamente existiera dicha pieza.

El estudio mediante TC permite diferenciar la densidad de las maderas, determinando en estos casos si existe una diferencia entre la madera original de la talla y la de las piezas añadidas.

El análisis tomográfico de la imagen del *Cristo de Sant Bult* revela que el volumen de este ha sido reconstruido en gran parte mediante nuevas piezas de madera, pudiéndose localizar a través de las imágenes tomográficas exactamente el alcance de dicha reconstrucción, que abarca casi el 70% del volumen de la talla (Fig. 506-507). Estas nuevas piezas dan forma al volumen original de la imagen en los brazos y en el cuerpo a partir de la cintura. Para la sujeción de las diferentes piezas, originales y nuevas, que conforman la talla del Cristo, se utilizan tres mechones de madera (Fig. 507).

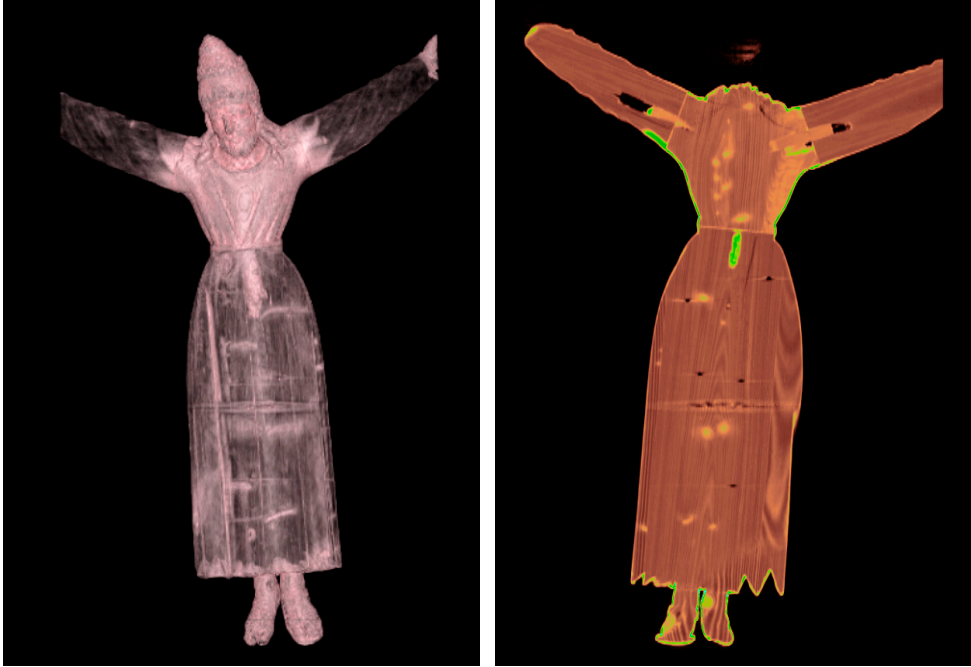


Figura 506-507.

3D *clut-endoscopy* - C 269/512. Reconstrucción volumétrica (3D) y corte coronal en los que se observan las nuevas piezas añadidas a la talla original. *Cristo de Sant Bult*.

Como ya hemos comentado anteriormente, la *Virgen de las Victorias o Batallas* resulta un claro ejemplo de pieza escultórica que muestra prácticamente la totalidad de las intervenciones de restauración que se pueden dar en una escultura policromada en madera.

Hemos podido analizar a través de las imágenes tomográficas diferentes piezas añadidas, unas a modo de reconstrucción de piezas originales y otras que no existían en origen. Dentro de las reconstrucciones de piezas originales, tendríamos las dos manos y el rostro de la Virgen. Concretamente la mano izquierda y el rostro de esta nada tienen que ver con el canon formal que tienen estas vírgenes sedentes, por lo que podríamos decir que estas reconstrucciones fueron realizadas en un periodo posterior al de la ejecución de la imagen original (Fig. 508). La mano derecha sí atiende al canon de estas vírgenes, que se representan sujetando un fruto en dicha mano, por lo que su realización resultaría algo más coetánea a la ejecución en origen de la imagen (Fig. 509).

En cuanto a las piezas añadidas no existentes en la ejecución original de la imagen, tendríamos: el sistema de refuerzo o soporte de la talla que se sitúa

en el ahuecado del reverso, la base donde se apoya la imagen y un tablero que recubre el reverso de la imagen (Fig. 508). En las imágenes tomográficas no se visualiza dicho tablero, ya que este fue retirado antes de realizarse el estudio TC de la imagen.

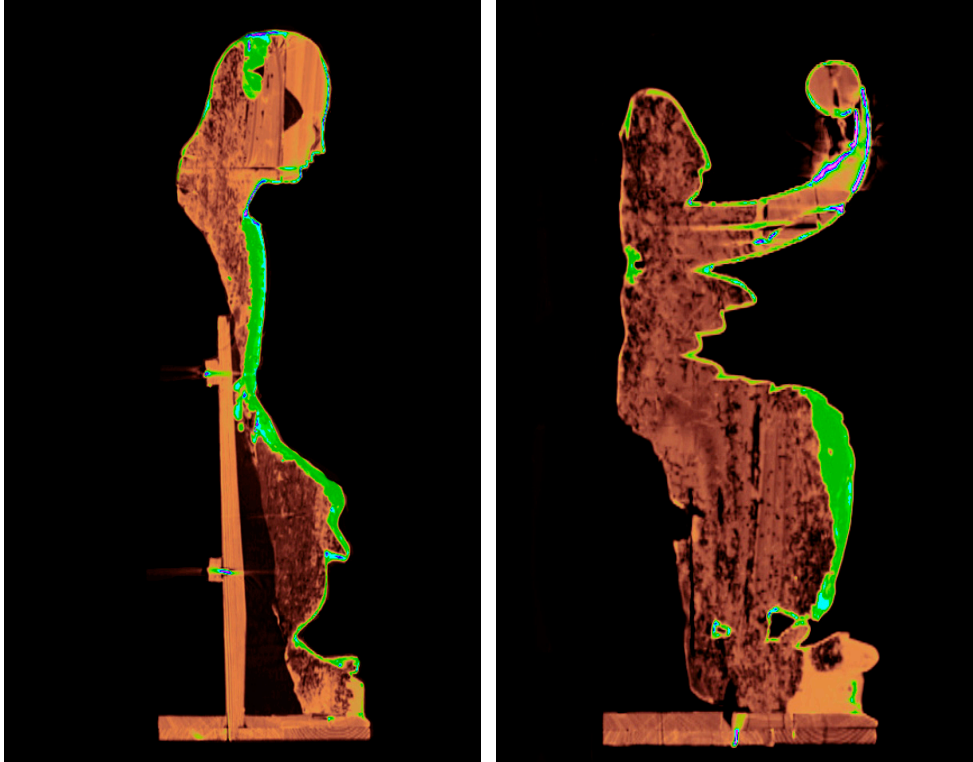


Figura 508-509.

S 251/512- S 125/512. Cortes sagitales en los que se visualizan las diferentes piezas añadidas. *Virgen de las Victorias o Batallas*.

En la imagen de *Nuestra Señora de la Naranja*, el análisis mediante TC ha revelado, al igual que en la imagen de *Nuestra Señora de las Victorias o Batallas*, una serie de piezas añadidas no originales. Unas piezas están añadidas a modo de reconstrucciones de originales, como son: el antebrazo y la mano derecha de la Virgen, los dos brazos del Niño, el pliegue derecho del manto de la Virgen (Fig. 511), los dos laterales del trono y la base sobre la que se apoya la talla original. Como pieza añadida no existente en la ejecución original de la imagen, tenemos el recubrimiento del reverso, realizado con cuatro tablillas (Fig. 510). Todas las piezas añadidas están realizadas con madera de diferente densidad a la de la talla principal.



Figura 510-511.

S 228/512- S 126/512. Cortes sagitales en los que se sitúan las diferentes piezas añadidas no originales. *Nuestra Señora de la Naranja*.

Otra de las imágenes que presenta piezas añadidas es la de *Nuestra Señora de la Leche*. El estudio tomográfico ha desvelado la existencia de nuevas piezas de madera que completan el volumen de la talla, localizadas en el antebrazo izquierdo y en el reverso del volumen de la cabeza del Niño (Fig. 512-513). El tipo de madera con la que fueron realizadas cada una de estas piezas presenta diferente densidad.

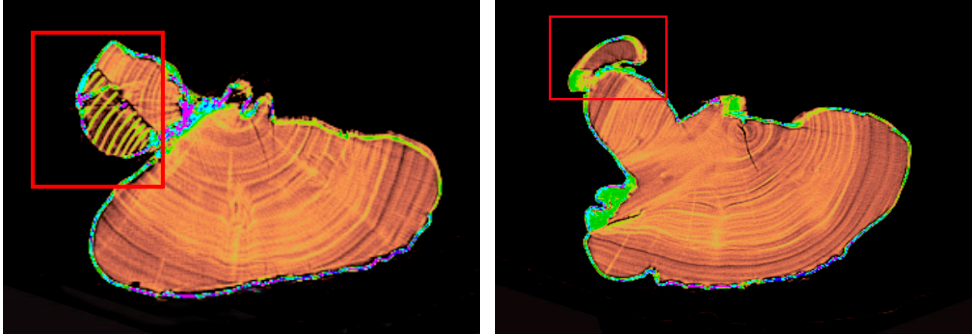


Figura 512-513.

A 29/90- A 36/90. Cortes axiales en los que se observa la diferente densidad de maderas de las dos piezas añadidas. *Nuestra Señora de la Leche*.

Otra de las piezas añadidas es la base sobre la que se apoya la imagen, que está realizada con una madera de densidad diferente a la de la talla principal. Como sistema de sujeción entre ambas piezas se utilizan dos mechones de madera.

La pieza escultórica del *Ecce Homo de L'Olleria* no presenta ninguna pieza añadida a modo de reconstrucción de volúmenes originales, pero no conserva su peana original. En su lugar, existe una nueva peana, posiblemente reutilizada de alguna otra pieza escultórica, tal vez una *Inmaculada Concepción*, por su forma de nube en la que se sitúan varias figuras de querubines (Fig. 514-515).

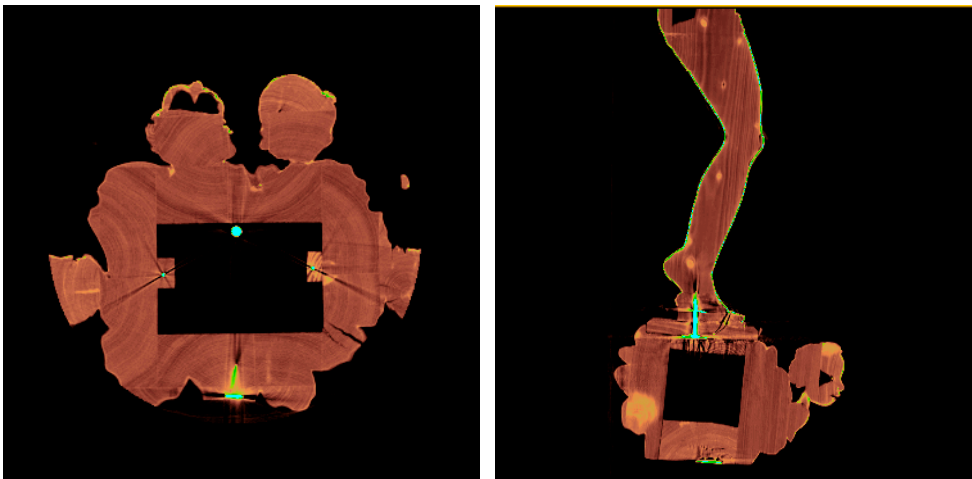


Figura 514-515.

A 714/915- S 316/512. Corte axial y sagital en los que se observan las estructura de la nueva peana y el sistema de sujeción. *Ecce Homo de L'Olleria*.

En el resto de imágenes seleccionadas en esta investigación, no se han observado piezas añadidas no originales.

C. Rellenos de grietas, desuniones y oquedades

Ya hemos visto en los casos principales de estudio la problemática que suscitan grietas y desuniones entre piezas de las esculturas realizadas en madera. De igual manera, también supone un problema importante las oquedades que se generan en los soportes de madera a causa de los nudos, por acción del hombre o por agentes de deterioro de tipo biótico como son los insectos xilófagos. Para subsanar dichas alteraciones se realizan diferentes intervenciones que, al igual que en las reconstrucciones de volúmenes o las nuevas piezas añadidas, en numerosas ocasiones quedan enmascaradas por la policromía. Es también en estos casos en los que el estudio mediante TC resulta determinante a la hora de localizar dichas intervenciones y diferenciar de los distintos materiales de relleno.

En la imagen del *Cristo de Sant Bult* hemos observado en varias zonas pequeñas grietas que han sido reparadas con distintos materiales de relleno. Estas se localizan en la cabeza de Cristo, en el reverso del torso y en el reverso de la túnica a la altura de las rodillas. Como materiales de relleno, se utiliza algún tipo de estuco, resina epoxídica o adhesivo. Estos rellenos se realizan en superficie; el análisis de las imágenes tomográficas desvela que las grietas no han sido reparadas en su totalidad (Fig. 516-517).

Se observan también zonas de relleno en desuniones entre piezas, como la que se sitúa en el brazo derecho del Cristo (Fig. 517), y rellenos de oquedades, como las localizadas en los huecos generados para la inserción de los mechones de madera que sustentan el cuerpo y los brazos del Cristo. En estos casos, el relleno presenta un mayor volumen y está realizado con algún tipo de estuco (Fig. 518).

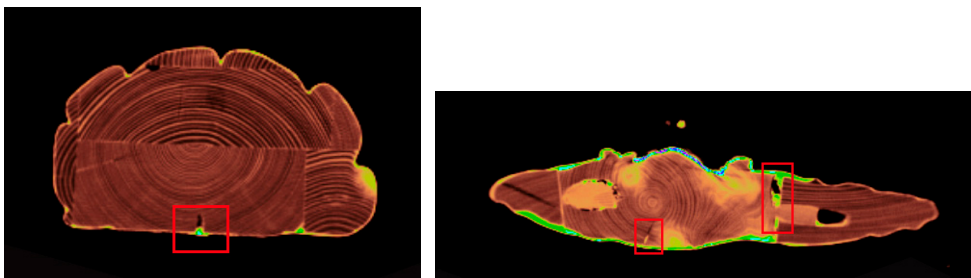


Figura 516-517.

A 329/416- A 86/512. Cortes axiales en los que se sitúan diferentes rellenos en grietas y en uniones de piezas. *Cristo de Sant Bult*.

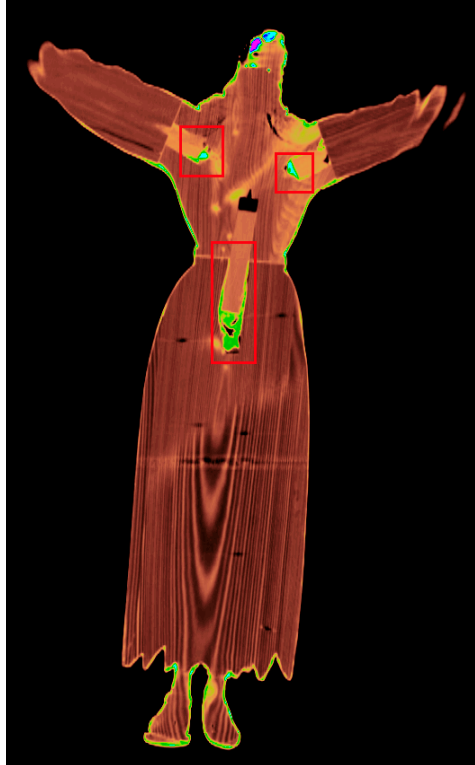


Figura 518.

S 310/512. Corte sagital en el que se observan los rellenos de oquedades en la zona de inserción de los mechones de madera. *Cristo de Sant Bult*.

La pieza escultórica de *Nuestra Señora de las Victorias o Batallas*, aun siendo de todas las obras seleccionadas la más intervenida, presenta pocas intervenciones de relleno de grietas, uniones de piezas y oquedades. Se localizan varias oquedades en la cabeza y en los hombros (Fig. 519-520), concretamente la de la cabeza realizada quizás intencionadamente para la inserción de algún tipo de corona. Estas dos oquedades han sido reparadas con algún tipo de estuco, tal y como queda reflejado en las imágenes tomográficas.

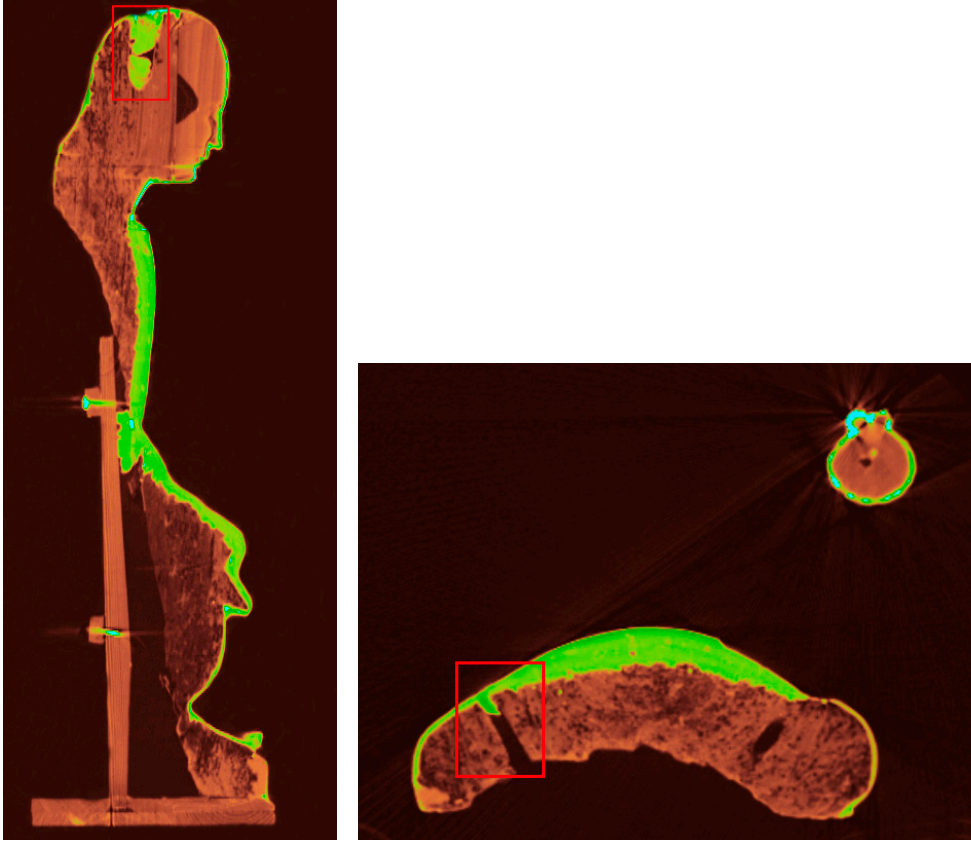


Figura 519-520.

S 255/512- A 132/435. Corte sagital y axial en los que se localizan los rellenos de oquedades en distintas zonas de la talla. *Nuestra Señora de las Victorias o Batallas*.

En el brazo izquierdo se aprecia una pequeña grieta que ha sido subsanada mediante un relleno de resina epoxídica. A su vez, también se han corregido diferentes desuniones entre piezas, concretamente en el brazo derecho de la Virgen, mediante el relleno con algún tipo de estuco (Fig. 521).

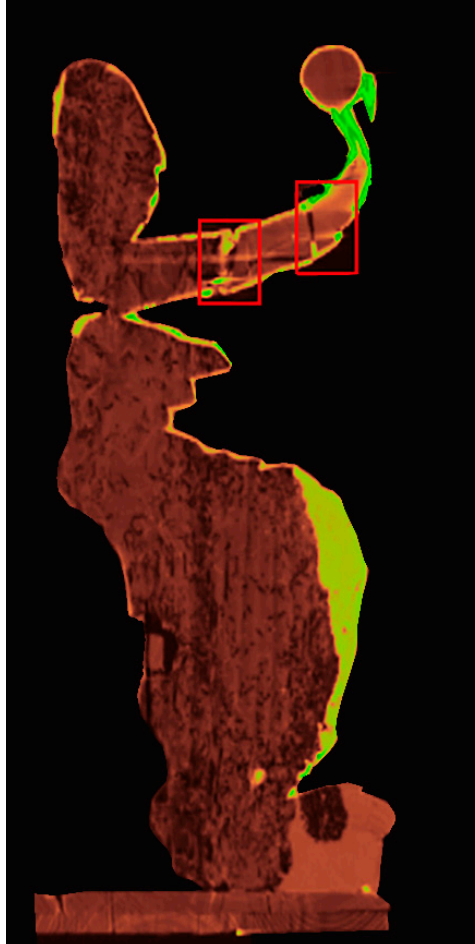


Figura 521.

S 134/512. Corte sagital en el que se localizan las zonas de relleno en el brazo derecho de la imagen. *Nuestra Señora de las Victorias o Batallas*.

En la imagen de *Nuestra Señora de la Naranja*, concretamente en su cabeza, se observan varias oquedades, dos de gran profundidad y otra de menor tamaño en los laterales. De estas oquedades de mayor profundidad, solo ha sido rellenada una de ellas. El análisis de las imágenes tomográficas ha revelado una oquedad de 23,95 cm de profundidad que tan solo ha sido reparada en su parte externa mediante un pequeño injerto de madera y un relleno de algún tipo de estuco (Fig. 523). La otra oquedad no presenta ningún tipo de relleno. El resto de oquedades de menor tamaño que también se sitúan en la cabeza han sido reparadas en su totalidad con algún tipo de estuco (Fig. 522).

Todas estas oquedades localizadas en la cabeza posiblemente fueron realizadas para la inserción de algún elemento que debió portar la imagen en dicha zona. En el resto de la pieza escultórica no se visualiza ningún otro relleno.

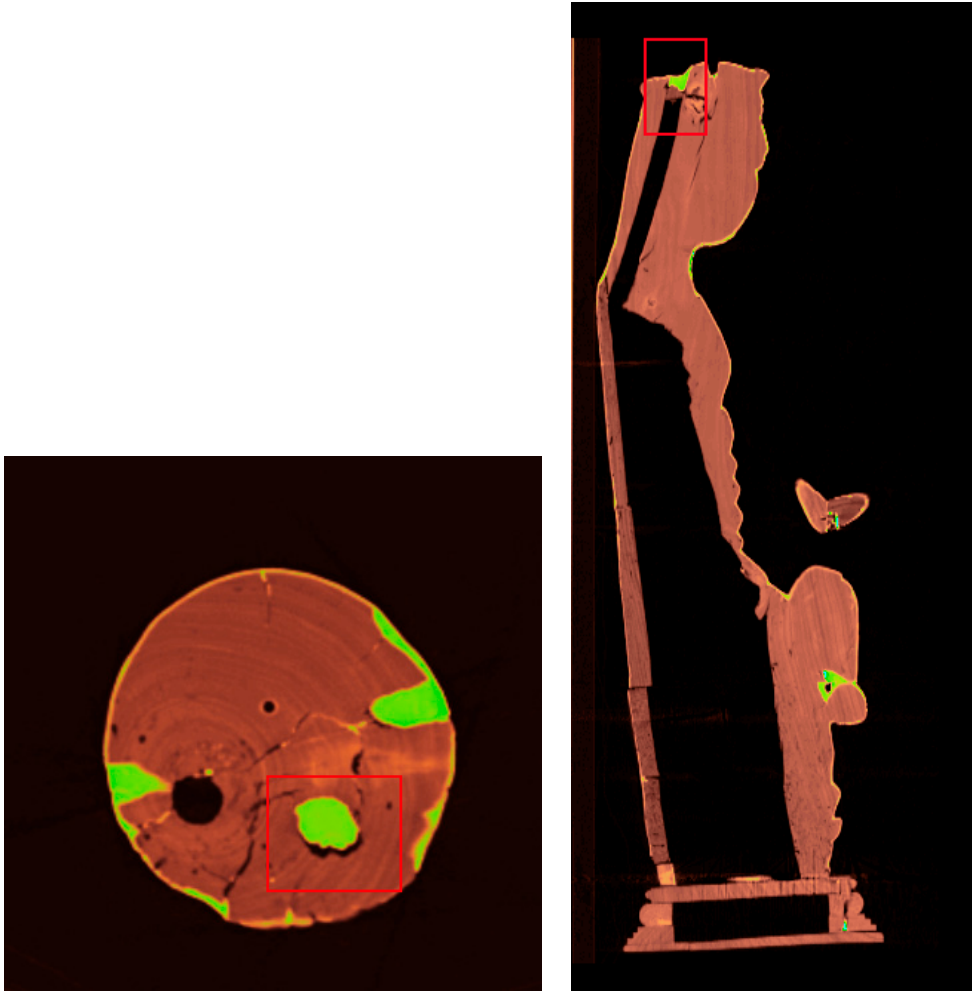


Figura 522-523.

A 50/974- S 214/512. Corte axial y sagital en los que se sitúa uno de los rellenos realizado en la cabeza de la Virgen. *Nuestra Señora de la Naranja*.

El estudio mediante TC de *Nuestra señora de la Leche* revela que en la cabeza (Fig. 524) y en los pliegues de la túnica en el anverso de la imagen (Fig. 525) existen varias grietas ocultas por el repolicromado que han sido rellenadas superficialmente con algún tipo de estuco.

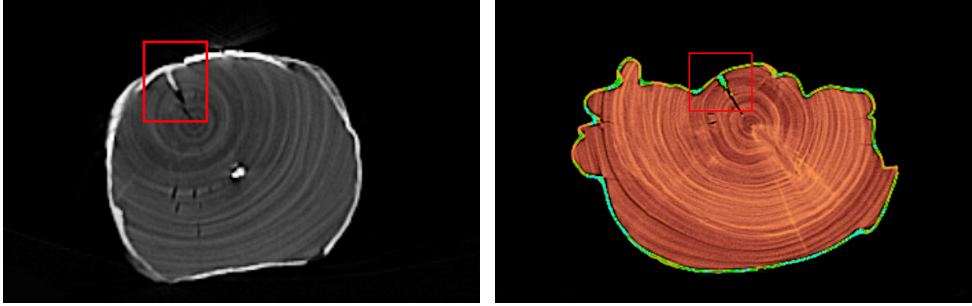


Figura 524-525.

A 10/90- A 51/90. Cortes axiales en los que se sitúan los rellenos de grietas de la cabeza y en los pliegues de la túnica de la Virgen. *Nuestra Señora de la Leche*.

En la *Virgen con Niño de Oliva*, el análisis tomográfico determina que muchas de las grietas que presenta en superficie y gran parte de las zonas que se ven afectadas por ataque de insecto xilófago han sido reparadas con algún tipo de estuco (Fig. 526). Es ahí donde el relleno presenta un fino espesor sin llegar a ocultar la pérdida de soporte (Fig. 527).

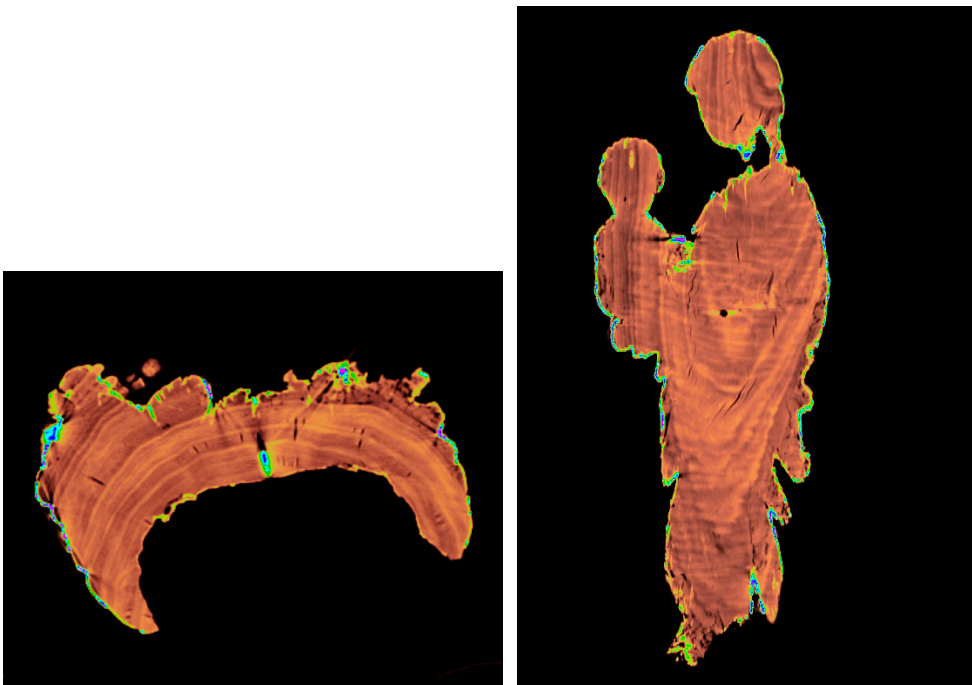


Figura 526-527.

A 358/859- C 199/512. Corte axial y coronal en los que se visualizan los rellenos en grietas y en aquellas zonas afectadas por ataque de insecto xilófago. *Virgen con Niño de Oliva*.

A través del estudio tomográfico del *Ecce Homo de L'Olleria*, hemos podido determinar diversos rellenos de grietas, desuniones y oquedades en los que se han utilizado diferentes materiales.

Se visualiza en el lateral izquierdo de la cabeza una importante grieta que ha sido reparada mediante algún tipo de estuco, rellenada en superficie sin llegar a abarcar la totalidad de su extensión (Fig. 528). En el resto de la imagen, hay pequeñas grietas superficiales reparadas con este mismo material de relleno.

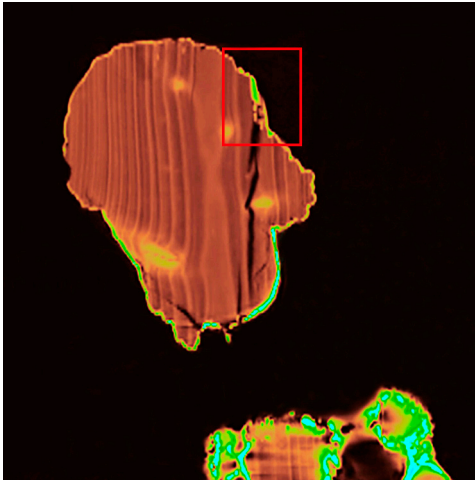


Figura 528.

C 172/512. Corte coronal en el que se sitúa el relleno superficial de la grieta de la cabeza. *Ecce Homo de L'Olleria*.

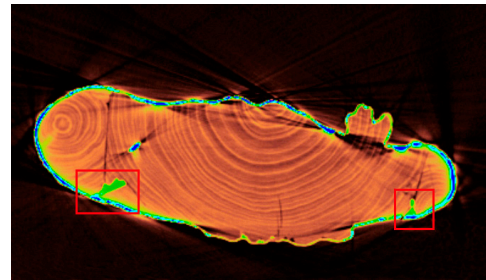


Figura 529.

A 186/786. Corte axial en el que se localizan diferentes rellenos en desuniones entre piezas. *Ecce Homo de L'Olleria*.

En las uniones entre las piezas de madera que configuran el volumen de la talla, se observan diversas desuniones que han sido reparadas también a nivel superficial y con el mismo material de relleno. Se localizan en la espalda (Fig. 529) y en el lateral izquierdo del paño de pureza.

También emplazadas en el paño de pureza, hay tres pequeñas oquedades, realizadas intencionadamente y que atraviesan el soporte en su totalidad que han sido rellenadas en superficie con resina epoxídica (Fig. 530).

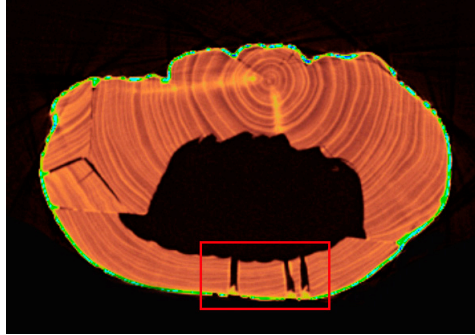


Figura 530.

A 206/786. Corte axial en el que se localizan rellenos de resina epoxídica en tres oquedades del reverso del paño de pureza. *Ecce Homo de L'Olleria*.

La imagen de la *Inmaculada Concepción de Granada* presenta numerosas desuniones entre las diferentes piezas con las que está configurada su estructura. Alguna de ellas a nivel de superficie evidencian pequeños rellenos enmascarados por el nuevo estrato de preparación y la repolicromía que recubre la totalidad de la imagen (Fig. 531).

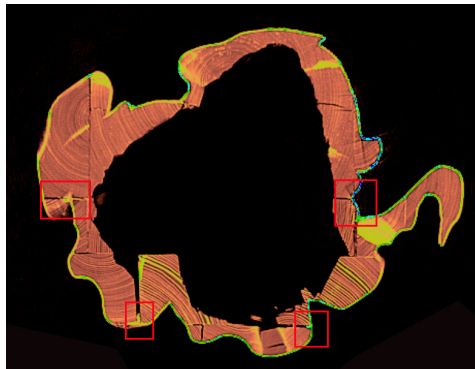


Figura 531.

A 122/183. Corte axial en el que se localizan pequeños rellenos de desuniones a nivel superficial. *Inmaculada Concepción de Granada*.

El estudio mediante TC de la imagen de *Santo Tomás* muestra una serie de grietas y oquedades que han sido rellenadas con algún tipo de estuco. Las grietas localizadas en el brazo izquierdo presentan un relleno a nivel superficial (Fig. 532); sin embargo, la que se localiza en los pliegues de la túnica, en la parte inferior del lado izquierdo, ha sido reparada en su totalidad.

Las oquedades que presenta el soporte de madera de dicha pieza escultórica se sitúan en la base, y han sido rellenadas por igual con algún tipo de estuco (Fig. 533).

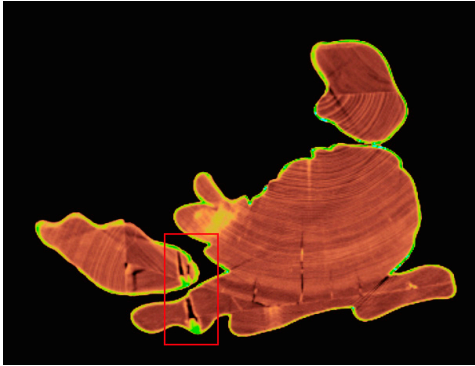


Figura 532.

A 114/426. Corte axial en el que se localiza el relleno en superficie realizado en el antebrazo izquierdo del santo. *Santo Tomás*.

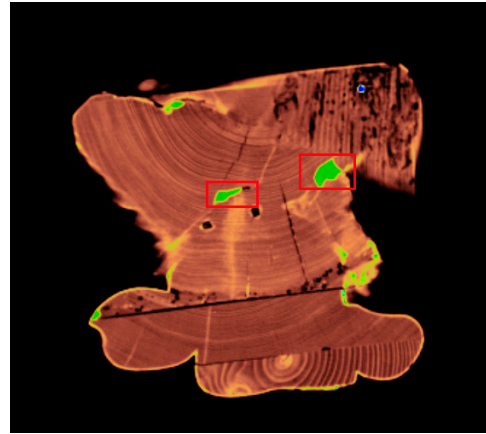


Figura 533.

A 322/426. Corte axial en el que se localiza el relleno de dos oquedades que se sitúan en la base de la talla. *Santo Tomás*.

En el resto de imágenes seleccionadas en esta investigación, no se ha observado ninguna intervención de relleno en grietas, desuniones y oquedades.

D. Repolicromías

Una de las intervenciones que mayormente se dan en escultura policromada en madera, junto con el añadido de piezas, son los repolicromados. Ya hemos aclarado anteriormente que no es posible mediante TC diferenciar los distintos estratos que presenta en su estructura una policromía. Solo es posible diferenciar densidades en capas de repolicromías que en su composición lleven pigmentos con alta densidad y peso molecular.

En los casos seleccionados para esta investigación, solo algunos evidencian repolicromados. Las piezas escultóricas a las que hacemos mención son: el *Cristo de Sant Bult*, la *Virgen de las Victorias o Batallas*, la *Virgen de la Leche*, la *Virgen con Niño de Oliva*, el *Ecce Homo de L'Olleria* y la *Inmaculada Concepción de Granada*. Algunas de estas piezas presentan repolicromados puntuales; sin embargo, otras evidencian un repolicromado en la totalidad de su superficie.

En la imagen del *Cristo de Sant Bult*, el análisis tomográfico ha revelado una diferencia de espesor de estrato policromo en aquellas zonas del torso y cabeza del Cristo con respecto al de la policromía realizada en las nuevas piezas (Fig. 535). Como ya analizamos anteriormente, esta es la única parte que se conserva de la talla original y que ha sido repolicromada de manera adecuada a la policromía que se ha realizado en las nuevas piezas. La TC ha determinado una diferencia de espesor y de densidad entre ambas policromías, como ha quedado reflejado en las imágenes tomográficas y la reconstrucción 3D (Fig. 534).



Figura 534-535.

3D clut-Gray Rainbow -A 78/416. Reconstrucción volumétrica (3D) y corte axial en los que se observa la diferencia de espesor y densidad en las zonas repolicromadas. *Cristo de Sant Bult*.

En la *Virgen de las Victorias o Batallas*, las imágenes tomográficas determinan que, en algunas zonas de la talla, ocultas por la reconstrucción volumétrica, se evidencian posibles zonas de policromía antigua. Así, se observa, bajo la espesa capa de estuco utilizada en la reconstrucción del volumen, una fina capa con una mayor densidad, lo que sugiere la posibilidad de que se trate de una antigua policromía.

Esta capa se localiza en diversas zonas de la imagen, en algunos casos oculta por la densa capa de estuco, y en otras por una fina capa posiblemente de tela.

En las diferentes imágenes tomográficas, se han localizado posibles restos de antiguas policromías en el cuello (Fig. 536), en la cintura, en la manga del brazo izquierdo (Fig. 537) y en los pliegues de la túnica de la Virgen (Fig. 538).

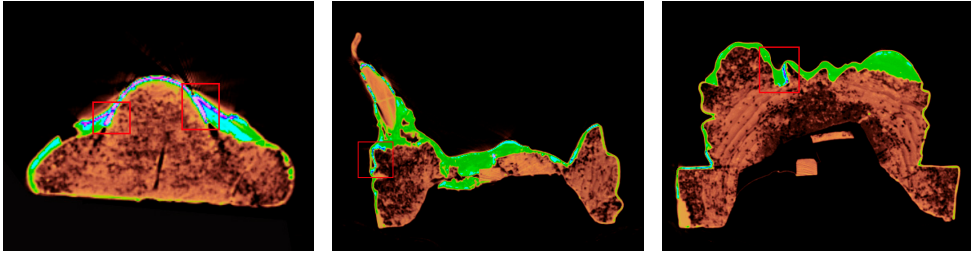


Figura 536-537-538.

A 107/435 -A 223/435- A 301/435. Cortes axiales en los que se sitúan las diferentes zonas con posibles restos de antigua policromía. *Virgen de las Victorias o Batallas*.

Bajo el brazo izquierdo de la imagen y oculta bajo una fina tela, se ha localizado también un posible resto de antigua policromía (Fig. 539-540).

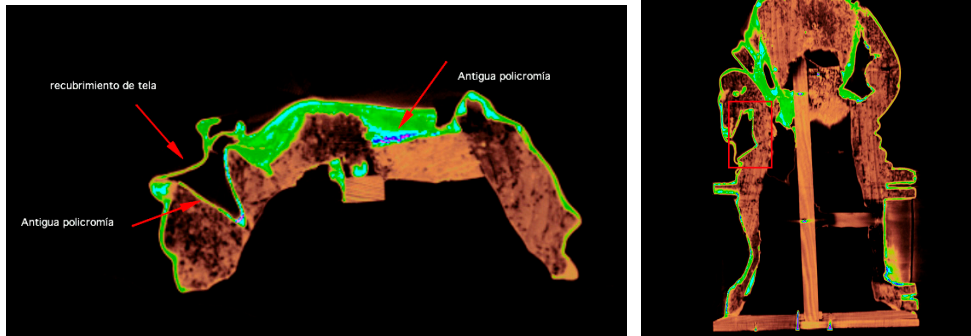


Figura 539-540.

A 247/435- C 257/512. Corte axial y coronal en los que se identifican posibles antiguas policromías y las zonas ocultas por la fina tela. *Virgen de las Victorias o Batallas*.

Nuestra Señora de la Leche presenta un repolicromado en la totalidad de su superficie. El estudio mediante TC no ha resultado determinante en la diferenciación entre el estrato de repolicromía y el original. Así lo hemos podido corroborar en las imágenes tomográficas, en las que se evidencia un único estrato policromo de igual espesor y densidad.

Como ya hemos comentado, la imagen de *Virgen con Niño de Oliva* se encuentra recubierta por una fina capa de algún tipo de estuco. A través del análisis de las imágenes tomográficas, hemos determinado la existencia de restos de antiguas policromías, ya que se observa una diferencia de densidades entre el estuco y la policromía subyacente. Estos se localizan en el rostro y en los laterales de la túnica de la Virgen (Fig. 542) y en el rostro del Niño (Fig. 541).

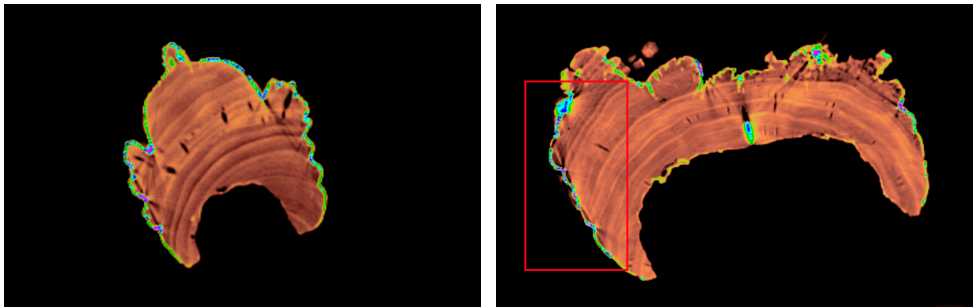


Figura 541-542.

A 140/859- A 364/859. Cortes axiales en los que se localizan posibles restos de antiguas policromías. *Virgen con Niño de Oliva*.

Otra de las imágenes que presenta un repolicromado en la totalidad de su superficie es la *Inmaculada Concepción de Granada*.

El estudio mediante TC tan solo ha podido determinar una diferencia de densidad en la policromía de las carnaciones y de la túnica de la Virgen, siendo estos de mayor espesor y diferente densidad al resto (Fig. 543-544).

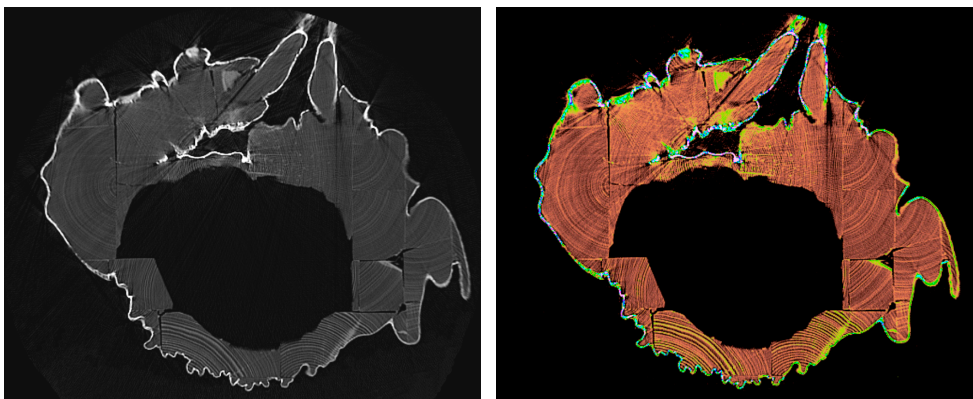


Figura 543-544.

A 61/183 *no-clut* y *clut-french*. Corte axial en el que se visualiza la diferencia de densidades de los estratos de policromía vistos con diferentes CLUTs. *Inmaculada Concepción de Granada*.

Después del análisis de estas piezas escultóricas que presentan intervenciones de repolicromados, podemos concluir que la tomografía computarizada no resulta determinante en la definición de los diferentes estratos que componen la estructura de una policromía, debido a la escasa resolución que tienen las imágenes tomográficas. Tan solo se podrán diferenciar densidades en policromías en cuya composición haya pigmentos con alta densidad y peso molecular.

Conclusiones

Sin lugar a dudas, la escultura en madera es una parte importante de nuestro patrimonio artístico y cultural. La mayor parte de la misma ha sufrido diversos grados de deterioro debido a su uso, lo que nos plantea el reto de saber más sobre la estructura interna de este tipo de imágenes para alcanzar el objetivo de una correcta intervención de restauración.

Hasta hace poco tiempo, el estudio interno de este tipo de esculturas se llevaba a cabo por medio de la radiografía considerada hoy como convencional que, si bien permite su análisis, plantea también una serie de inconvenientes, como la superposición de planos, que hacen que la información que obtenemos tenga un carácter limitado. Esta circunstancia nos ha llevado a un gran desconocimiento en cuanto a las técnicas de ejecución en la realización de esculturas policromadas de madera.

Como consecuencia de lo anterior, tenemos la necesidad de aplicar una nueva técnica que nos proporcione la máxima información al respecto. En la investigación que nos ocupa, hemos abordado el uso de la TC médica como herramienta en el estudio de piezas escultóricas policromadas en madera.

Como toda técnica, la TC presenta ventajas e inconvenientes. Las ventajas son varias e importantes: se trata de una técnica no invasiva en la que la obra de arte no necesita una preparación previa para su análisis; es inmediata, ya que el resultado es evidente en tan solo unos minutos, y, por último, y quizás más interesante, proporciona imágenes que permiten visualizar zonas de distintas densidades del interior de la pieza a analizar sin que exista superposición de planos.

En cuanto a inconveniente, tenemos que se trata de una técnica adaptada para su uso en medicina, lo que condiciona su aplicación al estudio de obras de

arte. A ello añadimos la complicación de que solo pueden analizarse objetos que presenten una densidad similar a la del cuerpo humano. Y por último, y también como consecuencia de no ser una técnica *ad hoc* para el análisis de objetos artísticos, tenemos el inconveniente de tener que trasladar las obras a analizar al centro médico que disponga de este tipo de equipos, con las consecuencias económicas que se derivan.

A lo largo de esta investigación hemos extraído una serie de conclusiones, tanto en la fase experimental por medio de la probeta patrón, como en el análisis de diferentes esculturas en madera policromada, que conforman la base de esta tesis doctoral.

En primer lugar y respecto a las capacidades y limitaciones de los equipos de TC que hemos utilizado, concluimos en que los tomógrafos presentan una serie de limitaciones importantes determinantes a la hora de analizar una escultura:

- El campo de visión (FOV) tiene un área máxima, por lo que a veces hay partes de la escultura que quedan fuera del mismo y no pueden ser analizadas.
- El diámetro de la garganta, o *gantry*, del tomógrafo también excluye esculturas de dimensiones mayores que el mismo.
- Todos los equipos tienen unos protocolos de estudio ya establecidos para el estudio clínico, pero que no resultan determinantes para el análisis de una escultura en madera.
- La existencia de elementos metálicos en el interior de las esculturas produce distorsiones en las imágenes tomográficas.

En segundo lugar, y respecto a la probeta patrón:

- En cuanto a los grosores de corte aplicados, observamos que los realizados con un grosor de 5 mm hacen que se pierda resolución e información, sobre todo a la hora de realizar reconstrucciones 3D, por lo que determinamos que el mejor análisis es el realizado con cortes de 2 mm.
- En los cortes axiales y reconstrucciones 3D existe una mejor resolución espacial en los estudios realizados con el equipo Siemens Somatom Definition Flash®.
- Tras la aplicación de tres tipos diferentes de filtros de reconstrucción, dos filtros *Shepp-logan* o estándar (30f-50f) y un filtro *Sharp* o de hueso (70f), podemos establecer que el filtrado más adecuado es el 50, ya que aporta una adecuada resolución espacial y de contraste con niveles de ruido aceptables, tanto en las imágenes tomográficas en su diferentes cortes, como en la reconstrucción 3D.

- Afirmamos que la TC es una técnica de diagnóstico que trabaja con total precisión a la hora de determinar medidas y la posición de diferentes elementos o irregularidades del objeto a analizar, lo cual resulta de suma importancia para analizar una pieza escultórica con vistas a su posterior restauración.
- Respecto del análisis de alguno de los materiales que podemos encontrar en una escultura, la TC nos permite determinar diferencias entre rellenos realizados con resinas, y entre estucos con diferentes tipos de cargas.
- En cuanto a poder definir las características principales de distintas especies de madera, la TC nos proporciona imágenes con diferencias en los anillos de crecimiento, pero no resulta definitiva para poder identificar la especie, debido a la escasa resolución de las mismas.

Respecto del visualizado y procesado de las imágenes:

- Las imágenes tomográficas que genera la TC (secciones transversales), junto con los avances en el cálculo numérico, los programas de reconstrucción de imágenes y los sistemas informáticos, nos han permitido obtener cortes en el plano coronal y en el sagital y reconstrucciones tridimensionales de las distintas piezas escultóricas sometidas a análisis.
- Hemos constatado que la reconstrucción 3D permite obtener de forma distinta y complementaria una valoración de los datos u objetos a analizar, lo que representa un gran avance en el estudio de las piezas escultóricas, ya que nos permite tener una visión real y precisa de la obra sin tener que utilizar ningún método de análisis invasivo.
- El análisis de las imágenes tomográficas desde nuestro propio ordenador, y con un programa de procesado de sencillo manejo (OsiriX), ha facilitado el estudio de las esculturas policromadas en madera, objeto de esta investigación, ya que nos ha permitido trabajar desde la perspectiva del propio técnico restaurador.
- Tras el estudio de las dieciséis piezas escultóricas objeto de esta investigación, concluimos en que la mejor metodología de trabajo para el análisis de las mismas se puede establecer en tres fases:
 1. Visualización de todas las imágenes para tener una idea inicial del estado de la cuestión.
 2. Análisis de todas las imágenes tomográficas, tanto en su corte axial como coronal y sagital.
 3. Comparativa de todos los datos obtenidos en la reconstrucción 3D.
- Hay que destacar que, aunque la metodología de trabajo utilizada para el análisis de las diferentes esculturas ha sido la misma, el resultado de los estudios es distinto para cada caso al presentar, cada pieza escultórica, unas

características constructivas diferentes y patologías de deterioro y alteración particulares.

- En cuanto a los protocolos de estudio, cabe concluir que, al menos, deben ser tres los necesarios para el estudio de una escultura policromada en madera:
 1. Un protocolo para la definición de elementos a analizar que nos va a permitir tener una visualización real en la reconstrucción 3D, tanto a nivel interno como en superficie, de diferentes puntos de colores de todos aquellos elementos de iguales características que hemos querido destacar en el análisis del interior de una escultura, facilitando el trabajo al técnico restaurador a la hora de analizar dichos elementos.
 2. Un segundo protocolo para la definición de un punto de origen desde el cual referenciar el resto de puntos que hayamos situado en el estudio de la pieza escultórica.
 3. Finalmente, un protocolo para determinar la orientación de elementos que nos permita establecer con exactitud las coordenadas espaciales de cualquiera de los situados en el interior de la estructura del objeto sujeto a estudio. Aunque, llegados a este punto, debemos aclarar, que mediante este sistema, obtenemos la orientación de un elemento en el interior de la pieza escultórica, pero con respecto a la longitud del mismo no resulta definitorio en algunos casos.

En cuanto a la particularidad de cada una de las piezas escultóricas estudiadas, extraemos también las siguientes conclusiones:

- La adaptación de la TC médica resulta una herramienta importante a la hora de realizar análisis históricos-artísticos a partir de la técnica de ejecución. La TC ha permitido identificar los distintos sistemas constructivos en madera utilizados en cada una de las épocas históricas, determinando así tres tipos de sistemas:
 - Un único bloque de madera desde el s. XIII al XV.
 - Un bloque principal al que se le añaden diferentes fragmentos de madera desde el siglo XVI al XVII.
 - Diferentes fragmentos de madera perfectamente definidos ensamblados en hueco a partir del siglo XVIII al XX.

Se puede concluir que en todas las piezas escultóricas se repiten, en mayor o menor medida, una serie de alteraciones:

1. Grietas: En los soportes de madera se ocasionan diversidad de grietas o fendas. La TC nos ha permitido identificar los distintos tipos de grietas que se originan en los soportes de madera y el alcance de las mismas.

2. Nudos: Este tipo de alteración se repite en gran medida en los soportes de madera. En infinidad de ocasiones son menores y no revierten problema, pero es importante tener constancia de su localización y extensión. La TC ha resultado una herramienta indispensable a la hora de su localización y su nivel de alcance.
3. Desuniones en ensambles: No son una alteración propia de la madera, sino una variación del sistema constructivo realizado mediante ensambles de diferentes piezas. La TC nos ha permitido diferenciar grietas provocadas por alteraciones en la propia madera o por desuniones entre ensambles de piezas.
4. Ataque de insecto xilófago: El deterioro que ocasionan los insectos xilófagos resulta un grave problema. En este caso, la TC resulta determinante a la hora de establecer el alcance de dicho deterioro, pudiéndose localizar exactamente las áreas afectadas y su incidencia en la estabilidad de la pieza escultórica.

Respecto a las intervenciones de restauración a las que se han visto sometidas las piezas escultóricas que hemos estudiado, encontramos una serie de similitudes:

1. Reconstrucciones de volumen que se realizan principalmente para completar faltantes de soporte. La TC es concluyente a la hora de localizar y diferenciar distintos tipos de rellenos utilizados.
2. Piezas añadidas. El añadido de nuevas piezas es una de las intervenciones que se repite en mayor medida en una escultura en madera. La TC permite distinguir densidades de maderas, pudiéndose establecer diferencias entre la madera original de la talla y la de la pieza añadida.
3. Rellenos de grietas y desuniones. Al igual que en las reconstrucciones de volumen, la TC resulta útil a la hora de localizar y diferenciar los distintos tipos de rellenos con los que se han subsanado dichas alteraciones.
4. Repolicromías. Mediante la TC, no resulta posible analizar los diferentes estratos que componen una policromía, pero sí identificar la diferencia de densidad en aquellos pigmentos con alta densidad y peso molecular, dando como resultado una diferencia entre la policromía, la preparación y el soporte.

Además, la TC ayuda a establecer pautas de conservación preventiva. Concretamente, en el estudio de la *Inmaculada Concepción de Granada* se han definido una serie de pautas conservativas a raíz del análisis mediante TC. Al presentar zonas del soporte una gran fragilidad, se marcaron controles de temperatura y humedad y una serie de cuestiones para la manipulación de la obra.

Por todo lo anteriormente expuesto, fruto de la investigación realizada para esta tesis, insistimos en la conclusión de la importancia de la TC como herramienta de trabajo del restaurador a la hora de conocer el interior de una escultura y concluir sobre su técnica de ejecución, las condiciones de conservación y planificar procesos de restauración y de conservación preventiva.

Por último, y tras los diversos estudios y análisis realizados, consideramos importante exponer una serie de cuestiones que, si bien no eran objeto principal de esta tesis, surgen al hilo de la misma y abren futuras líneas de investigación.

- La nueva generación de equipos tomográficos, que utilizan la técnica de Doble energía, está abriendo nuevas líneas de estudio, concretamente, la reducción de la distorsión que produce la presencia de elementos metálicos y que tanto problema suscita a la hora de analizar esculturas en madera. Esta cuestión solo era viable hasta ahora mediante métodos de ajuste en el pos-procesado de las mismas; estos mejoran la calidad de la imagen, pero no son capaces de recuperar detalles en la zona que rodea el objeto metálico. Mediante la técnica de Doble energía con la que trabajan algunos equipos, concretamente el Siemens Somatom Definition Flash[®], se reduce el artefacto provocado por cualquier elemento metálico que se encuentre en el interior de una escultura de madera, abriendo así una nueva línea de estudio.
- Vimos cómo el análisis con TC no resultaba definitorio a la hora de determinar la especie de madera con la que estaba hecha la escultura, ya que, si bien determinaba la existencia de diferencias entre los distintos tipos de madera, no permitía definir la especie concreta. Ahora bien, si conjuntamente con el análisis tomográfico realizamos un estudio en el que se establezcan patrones de especies, realizando, a su vez, un análisis comparativo, tal vez se puedan definir las características identificativas de cada tipo de especie de madera.
- Si bien a día de hoy sigue siendo la TC médica el medio más accesible para el estudio de obras de arte, debemos abrir otras posibilidades de trabajo, como sería la utilización de equipos de TC industriales que nos permitieran trabajar con otros materiales de mayor densidad como la piedra y el metal, aunque, dada la poca accesibilidad a dichos equipos, su uso para el estudio de Bienes Culturales se encuentra claramente limitado.

A lo largo de esta investigación y con los resultados obtenidos y analizados en cada uno de los ejemplos utilizados en la misma, estamos en disposición de afirmar que la tomografía computarizada (TC) médica resulta una poderosa herramienta de análisis y estudio, una técnica científica, innovadora y de gran utilidad e impacto en la protección y conservación del patrimonio cultural, especialmente para el estudio de escultura policromada en madera.

Relación de tablas e ilustraciones

TABLAS

Tabla 1.

Características y especificaciones técnicas de los equipos. Tabla: David Juanes Barber.

Tabla 2.

Características y medidas de las diferentes piezas de madera seleccionadas. Tabla: M^a F. Sarrió Martín.

Tabla 3.

Medidas orificios pieza nº 12. Tabla: M^a F. Sarrió Martín.

Tabla 4.

Medidas de los elementos de sujeción. Tabla: M^a F. Sarrió Martín.

Tabla 5.

Sistema de sujeción entre piezas. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 6.

Orificios de la pieza nº 12 medidos en la probeta y en la TC. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 7.

Pieza nº 15 medidas en la probeta y en la TC. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 8.

Coordenadas espaciales y esféricas de la grieta localizada en la pieza nº 16. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 9.

Posición de las diferentes piezas en la probeta y en la TC a través de sus coordenadas espaciales. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 10.

Coordenadas espaciales y esféricas del tornillo situado en la pieza nº 16. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 11.

Definición de los elementos a analizar por colores. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 12.

Coordenadas espaciales del punto de inicio y final del clavo nº 5. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 13.

Coordenadas espaciales y esféricas del clavo nº 5. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 14.

Esculturas seleccionadas como base de investigación de esta tesis. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 15.

Equipos tomográficos y protocolos médicos aplicados al análisis de las esculturas. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 16.

Estructura interior de la peana. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 17.

Estructura exterior de la peana. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 18.

Coordenadas espaciales y esféricas del clavo nº 1 y clavo nº 2. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 19.

Coordenadas espaciales y esféricas del clavo nº 3. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 20.

Medidas piezas nº 5 y 6. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 21.

Áreas de las piezas utilizadas en la construcción de la talla. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 22.

Coordenadas espaciales y esféricas de la grieta del lateral derecho de la cabeza del Cristo. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 23.

Medidas y coordenadas espaciales de las distintas grietas analizadas en la estructura de la talla del Cristo. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 24.

Coordenadas espaciales y esféricas de los clavos situados en la cabeza de la Virgen. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 25.

Coordenadas espaciales y esféricas, y diámetro de los nudos. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 26.

Coordenadas espaciales y esféricas del clavo nº 5. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 27.

Medidas de las piezas nº 1-2 añadidas al trono. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 28.

Coordenadas espaciales y esféricas de los clavos. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 29.

Medidas de la pieza de soporte de la base de la cabeza. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 30.

Medidas de diámetros de la pieza de soporte de la base de la cabeza. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 31.

Medidas del listón horizontal de la estructura de soporte del cuerpo. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 32.

Medidas de los dos listones verticales de la estructura de soporte del cuerpo. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 33.

Coordenadas espaciales en las que se sitúan las tres tablas que configuran la estructura de soporte del anclaje de las alas. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 34.

Medidas de las tres tablas que configuran la estructura de soporte del anclaje de las alas. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

Tabla 35.

Coordenadas espaciales y esféricas de la grieta de la estructura de soporte del cuerpo. Tabla: M^a. F. Sarrió Martín.

ILUSTRACIONES

Imágenes cubierta.

C 229/512. Corte coronal. *Ecce Homo de L'Olleria*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

3D Clut- Bones. Reconstrucción volumétrica (3D). *Ecce Homo de L'Olleria*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 1.

Estudio mediante TC. *Tjentmutengebtju*, momia egipcia de la 22^a dinastía (945-715 ac) del Brithis Museum analizada en el St Tomas' Hospital de Londres. Fuente: Baldock Et al⁶³.

Figura 2.

Realización del análisis mediante TC de la imagen de *San Miguel Arcángel*. Equipo Siemens Somatom Definition Flash[®], Servicio de Radiodiagnóstico del Consorcio Hospitalario Provincial de Castellón. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 3.

Equipo TC de primera generación. (1) Movimiento de traslación del tubo de rayos X y del (3) detector; (2) Colimador del tubo de rayos X; (4) El primer equipo contaba con un solo detector ; (5) Una vez terminada la adquisición el sistema tubo-detector, realiza una rotación para obtener el perfil de la próxima proyección; (6) Haz de rayos X único y altamente colimado. Fuente: García⁶⁴.

Figura 4.

Equipo TC de segunda generación. (1) Movimientos de traslación del tubo de rayos X y de los (2) detectores; (3) Colimador del tubo de rayos X; (4) En esta generación se montan 30 detectores; (5) Una vez terminada la adquisición, el sistema tubo-detector realiza una rotación para obtener el perfil de la próxima proyección; (6) Haces de rayos X múltiples, cada uno de los cuales incide en un único detector. Fuente: García⁶⁵.

Figura 5.

Equipo TC de tercera generación. (1) Conjunto de detectores que forman un arco móvil que recibe un haz de rayos X en forma de abanico; (2) Tubo de rayos X; (3-4) Rotación completa del sistema tubo-detectores. Fuente: García⁶⁶.

63 Baldock, C.; Hughes, S.W.; Whittaker, D.K.; Taylor, J.; Davis, R.; Spencer, A.J.; Tonge, K.; Sofat, A. "3-D Reconstrucción of an Ancient Egyptian Mummy Using X-ray Computer Tomography", p. 807. Consultado el 15 de marzo de 2014 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1295009/pdf/jrsocmed00078-0096.pdf>.

64 García, P. *Principios técnicos de la tomografía axial computarizada*, p. 7.

65 Ibid.

66 Ibid, p. 8.

Figura 6.

Equipo TC de cuarta generación. Fuente: García⁶⁷.

Figura 7.

Equipo TC espiral o helicoidal. Al rotar el tubo de rayos X de forma ininterrumpida unido al movimiento de la mesa provoca una hélice o espiral. Fuente: García⁶⁸.

Figura 8.

El equipo TC helicoidal multicorte (B) en relación al monocorte (A), por cada rotación estudia un mayor volumen con un aumento de la velocidad de rotación, lo que disminuye los tiempos de exposición. (1) Tubo de rayos X; (2) Colimador del tubo de rayos X; (3) Colimador del Slice. En los equipos multicortes existen tantos colimadores del Slice en el eje Z como cantidad de filas de detectores posee el equipo; (4) Colimador de los detectores. En los equipos multicortes existen tantos colimadores del detector en el eje Z como cantidad de filas de detectores posee el equipo. Fuente: García⁶⁹.

Figura 9.

Equipo TC con doble energía. Fuente: Técnicos radiólogos⁷⁰.

Figura 10.

Esquema de la atenuación del haz de fotones al atravesar un espesor de material. Gráfico: David Juanes Barber.

Figura 11.

Coefficiente de atenuación en función de la energía del fotón incidente para el tejido adiposo. Fuente: Hubbell Et al⁷¹.

Figura 12.

Coefficiente de atenuación en función de la energía del fotón incidente para el hueso cortical. Fuente: Hubbell Et al⁷².

Figura 13.

Sección transversal del torso con un ancho de ventana que corresponde al tejido blando (izquierda) donde se potencia los tejidos de menor densidad, perdiendo información del tejido denso. La misma imagen con un filtro de hueso (derecha) donde se potencia los tejidos de alta densidad. Fuente: Juanes⁷³.

67 *Ibid*, p. 9.

68 *Ibid*, p. 11

69 *Ibid*, p. 13.

70 http://www.tecnicosradiologia.com/2013_07_01_archive.html. Consultado el 15 de enero de 2015.

71 "Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients" (versión 1.4). Consultado el 10 de agosto de 2014. <http://physics.nist.gov/xaamdi>.

72 *Ibid*.

73 "La tomografía axial computerizada. Estudio de escultura de madera", p. 36

Figura 14.

Interior de un TC. El tubo de rayos X (T) y los detectores (D) están montados en un anillo que gira en el sentido (R) alrededor de la garganta⁷⁴.

Figura 15.

Giro del tubo de rayos X y de los detectores alrededor del objeto para obtener las distintas proyecciones alrededor del anillo. Fuente: Juanes⁷⁵.

Figura 16.

Esquema de la toma de datos y el proceso de reconstrucción de imagen utilizando la retroproyección simple. Fuente: Juanes⁷⁶.

Figura 17.

Esquema de la toma de datos y el proceso de reconstrucción de imagen utilizando una retroproyección filtrada. Fuente: Juanes⁷⁷.

Figura 18.

Ajuste de las medidas de la escultura de la *Virgen de las Victorias o Batallas* al campo de visión (FOV). Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 19.

Estructura de un tronco⁷⁸.

Figura 20.

Imposibilidad de introducir la pena de la imagen de la *Inmaculada Concepción de Granada* en la garganta del equipo TC. Foto: Pilar Juárez Sánchez.

Figura 21.

Imágenes renderizadas de las diferentes piezas de madera seleccionadas. Fotos: M^a Ángeles de Córdoba, *Play Your Project*.

Figura 22.

Vista de alzado y planta de la pieza nº 12. Grafico: M^a Ángeles de Córdoba, *Play Your Project*.

Figura 23.

Imagen visible de la pieza nº 12. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 24.

Punto de origen. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

74 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ct-internals.jpg>. Consultado el 15 de enero de 2015.

75 *Ibid*, p. 34.

76 *Ibid*, p. 35.

77 *Ibid*.

78 <http://es.slideshare.net/yinnaalejandralopezb/arquitectura-de-los-arboles-esposicion>. Consultado el 15 de enero de 2015.

Figura 25.

Primera secuencia fase de construcción de la probeta. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 26.

Segunda secuencia fase de construcción de la probeta. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 27.

Tercera secuencia fase de construcción de la probeta. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 28.

Fase final de la construcción de la probeta. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 29.

Fase previa a la introducción de la probeta patrón en el equipo Siemens Somatom Definition Flash[®]. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 30-31.

Topograma frontal y lateral de la probeta. Fotos: Daniel Ahicart Safont

Figura 32.

A 155/ 563. Corte axial realizado con equipo Siemens Somatom Definition Flash[®]. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 33.

3D *clut-french* . Reconstrucción volumétrica (3D) con equipo Siemens Somatom Definition Flash[®]. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 34.

A 59/ 305. Corte axial realizado con equipo Siemens Somatom Sensation 16[®]. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 35.

3D *clut-french* . Reconstrucción volumétrica (3D) con equipo Siemens Somatom Sensation 16[®]. Foto: M^a. F. Sarrió Martín..

Figura 36-37-38.

A 367/563. Cortes axiales con filtro *Shepp-logan* o estándar 30f, 50f y *Sharp* o de hueso70f. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 39-40-41.

3D *clut-french* . Reconstrucción volumétrica 3D con filtro *Shepp-logan* o estándar 30f, 50f y *Sharp* o de hueso 70f. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 42-43.

C 108/512. Corte coronal en el que se sitúan las diferentes medidas de la pieza nº 12. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 44.

Vistas (alzado y planta) de la pieza nº 12 en la que han sido acotadas sus medidas. Grafico: M^a Ángeles de Córdoba, *Play Your Project*.

Figura 45.

C 283/512. Corte coronal en el que se han situado las diferentes medidas de la pieza nº 15. Foto: M^a. F. Sarrió Martín

Figura 46.

Vistas (planta, alzado y perfil) de la pieza nº 15 en la que se han acotado sus medidas. Grafico: M^a Ángeles de Córdoba, *Play Your Project*.

Figura 47-48.

C 247/512- S 145/512. Corte coronal y sagital en los que se han situado las diferentes medidas de la pieza nº 16. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín

Figura 49.

Vistas (planta y alzado) de la pieza nº 16 en la que se han acotado sus medidas. Grafico: M^a Ángeles de Córdoba, *Play Your Project*.

Figura 50.

S 145/512. Corte sagital en el que se han situado los puntos de inicio y final de la grieta de la pieza nº 16. Foto: M^a. F. Sarrió Martín

Figura 51.

C 276/512. Corte coronal en el que se sitúa el punto de origen. Foto: M^a. F. Sarrió Martín

Figura 52.

C 276/512. Coordenadas espaciales de la pieza nº 15 y 16. Foto: M^a. F. Sarrió Martín

Figura 53.

C 127/512. Coordenadas espaciales de la pieza nº 12. Foto: M^a. F. Sarrió Martín

Figura 54.

A 347/563. Coordenadas espaciales del punto de inicio y final del tornillo situado en la pieza nº 16. Foto: M^a. F. Sarrió Martín

Figura 55.

C 127/512. Coordenadas espaciales del tornillo situado en la pieza nº 16. Foto: M^a. F. Sarrió Martín

Figura 56-57.

A 102/563- A 366/563. Cortes axiales en los que se observa el relleno realizado con Araldit[®] SV 427 y con Balsite[®]. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín

Figura 58-59.

A 393/563- A 432/563. Cortes axiales en los que se observa el relleno realizado con carbonato cálcico y con yeso. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín

Figura 60-61.

A 371/563- A 490/563. Cortes axiales en los que se observa la diferencia entre los anillos de crecimiento de las distintas especies de madera. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín

Figura 62-63.

S 401/512 e imagen visible. Comparativa de la imagen TC con la visible de la pieza nº 11. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín

Figura 64.

A 283/563 . Corte axial realizado sin la técnica de energía dual. Foto: M^a. F. Sarrió Martín

Figura 65.

A 283/563 . Corte axial realizado con TC de energía dual (DECT). Foto: M^a. F. Sarrió Martín

Figura 66.

Esquema de los diferentes planos corporales⁷⁹.

Figura 67.

Reconstrucción multiplanar 2D de la pieza escultórica *Virgen con Niño de Oliva*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 68.

Reconstrucción multiplanar 3D en dirección perpendicular al eje de la pieza escultórica *Inmaculada Concepción de Granada*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 69.

Reconstrucción multiplanar 3D en dirección oblicua al eje de la pieza escultórica *Inmaculada Concepción de Granada*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 70.

Reconstrucción de superficie 3D de la pieza escultórica *Santa María de Carlet*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 71.

Reconstrucción volumétrica 3D *clut-VR Muscles-Bones* con opacidad de la pieza escultórica *Virgen con Niño de Oliva*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

79 <http://biologicalaguia.blogspot.com.es/2011/09/tipo-de-simetria.html>. Consultado el 15 de enero de 2015.

Figura 72.

Reconstrucción volumétrica 3D *clut-VR Muscles-Bones* con transparencia de la pieza escultórica *Virgen con Niño de Oliva*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 73.

Reconstrucción endoscópica 3D de la pieza escultórica *San Miguel Arcángel*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 74.

A 276/435. Diferentes zonas de interés de la pieza escultórica *Virgen de las Victorias o Batallas* en las que se han determinado medidas de ancho y largo. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 75.

S 256/512. Medida en altura de la estructura de sujeción interna de la imagen *Virgen de las Victorias o Batallas*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 76.

A 218/831. Situación de un punto en el inicio de uno de los clavos internos de la imagen de *San Luis de Sellent*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 77.

A 49/183. Delimitación del área de dos de los tablones con los que está construida la imagen de la *Inmaculada Concepción de Granada*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 78.

A 295/731. Angulo con el que se han situado las diferentes piezas de madera que conforman la peana de la imagen de *Santa María de Carlet*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 79.

Reconstrucción volumétrica 3D de la cabeza del *San Miguel Arcángel*, en la que se ha practicado un recorte del lateral izquierdo, pudiéndose visualizar la estructura interna de la imagen. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 80.

Reconstrucción volumétrica 3D de la cabeza de la *Virgen con Niño de escuela castellana*, en la que se han aislado los clavos que se sitúan en la corona de la imagen. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 81.

Reconstrucción volumétrica 3D del torso del *San Miguel Arcángel* en la que se ha girado la imagen permitiéndonos tener una visión de la estructura interior desde su parte inferior. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 82-83.

A 282/731- A 240/731. Cortes axiales en los que se sitúa el punto de inicio y final del clavo nº 5 de la imagen de *Santa María de Carlet*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 84-85.

A 282/731-A 240/731. Imágenes axiales en las que se observa la localización del punto interno y el punto externo del clavo nº 5 de la imagen de *Santa María de Carlet*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 86-87.

Reconstrucción volumétrica 3D *Clut-endoscopy* en la que se visualizan los puntos internos y externos que nos posicionan el clavo nº 5 del antebrazo de la imagen de *Santa María de Carlet*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 88-89.

Reconstrucción volumétrica 3D *Clut-bones* y corte axial en los que se sitúa el punto de origen en la imagen del *Cristo de la Santísima Sangre de Denia*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 90.

Coordenadas esféricas y ejes cartesianos⁸⁰.

Figura 91.

Reconstrucción de superficie 3D de la cabeza de la Virgen en la que se localiza el clavo nº 4. Foto: David Juanes Barber.

Figura 92.

Reconstrucción 3D del clavo nº 4. Gráfico: David Juanes Barber.

Figura 93.

Imagen visible anverso de *Virgen con Niño de escuela castellana*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 94.

Imagen visible reverso de *Virgen con Niño de escuela castellana*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 95.

A 968/1031. Corte axial en el que se observa la situación del punto de origen y el sistema de ejes cartesianos tal y como se define en TC y que va a determinar la coordenadas espaciales de los distintos ROIs de punto situados en la Imagen de la *Virgen con Niño de escuela castellana*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

80 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coordenadas_esf%C3%A9ricas_figura.svg. Consultado el 15 de enero de 2015

https://es.wiki2.org/wiki/Coordenadas_esf%C3%A9ricas#/media/File:File:Spherical_with_grid.svg. Consultado el 15 de enero de 2015

Figura 96.

A 968/1031. Corte axial en el que se sitúa el punto de origen y su posición con respecto a las esquinas de la pieza frontal de la peana. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 97-98.

S 198/512. Corte sagital en el que se observa la situación del punto de origen y su posición con respecto a la altura de la pieza frontal de la peana. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 99-100-101-102.

3D *no-clut*. Reconstrucción volumétrica (3D) en las que observamos la posición de los diferentes ROIs de punto utilizados en el análisis de los elementos internos de la pieza escultórica. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 103-104.

A 406/1031 - C 387/512. Corte axial y coronal en los que se observa un único volumen de talla principal y la envergadura del vaciado de la escultura. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 105-106-107.

A 974/1031- S 256/512- C 109/512. Corte axial, sagital y coronal de la peana en los que se visualiza el sistema constructivo. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 108-109.

A 975/1031- C 166 /512. Corte axial y coronal de la peana o base. Medidas. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 110.

A 974/1031. Corte axial. Largo de los listones de madera internos. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 111.

S 109/512. Corte sagital. Altura de los listones frontales de la estructura interna y externa. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 112-113-114-115.

3D *no-clut*. Reconstrucción volumétrica (3D) de los clavos de forja que se localizan en la peana. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 116-117-118.

A 152/1031- S 318/512 - C 424/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se observa la extensión y magnitud de las grietas de la cabeza y cuello de la Virgen. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 119-120.

C 460/512-C 405/512. Cortes coronales de la cabeza y cuello de la Virgen. Medidas de las diferentes grietas que se localizan en estas zonas. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 121-122.

A 130/1031- C 460/512. Corte axial y coronal en los que se observan las cuñas de madera y su sujeción mediante clavos metálicos. Y la situación espacial de las grietas. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 123-124.

3D *clut-endoscopy*. Reconstrucción volumétrica (3D) de la cabeza de la Virgen en la que se aprecian los clavos que se localizan en dicha zona. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 125.

S 270/512. Corte sagital de la cabeza de la Virgen en el que se observa la grieta de la nariz. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 126-127.

C 339/512- A 328/1031. Corte coronal y axial del tórax de la Virgen. Localización de la grieta. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 128-129-130-131.

A 410/1031- A 646/1031- A 878/1031- A 998/1031. Diferentes cortes axiales en los que se aprecia el ataque de insecto xilófago. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 132-133.

C 155/512- S 396/512. Corte coronal y sagital en los que se observa el ataque de insecto xilófago, siendo este más virulento en la base. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 134-135.

A 368/1031- S 318/512. Corte axial y sagital en los que se observan la talla de la mano derecha del Niño con diferente densidad de madera y su sujeción mediante un clavo metálico. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 136-137.

A 386/1031 – S 124/512. Corte axial y sagital en los que se observan la talla de la mano derecha con una madera de densidad diferente a la talla de la Virgen. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 138-139.

S 105/512. Corte sagital en el que se observa la inserción del clavo nº 3. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 140-141.

A 710/1031- A 770/1031. Cortes axiales en los que se observan en el lateral derecho incompletas las dos piezas empleadas en la construcción del trono y uno de los clavos de sujeción de estas piezas. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 142-143.

A 28/1031- A 34/1031. Cortes axiales en los que se observan la piezas de madera añadida y la disposición de los clavos. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 144-145-146.

A 180/1031- S 276/512- C 339/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se observa la situación de la pieza de madera añadida en la barbilla (pieza nº 4). Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 147-148.

A 180/1031- S 276/512. Corte axial y sagital en los que se sitúan las medidas de la pieza nº 4. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 149-150.

S 347/ 512- C 137/512. Corte sagital y coronal en los que se observan las dos piezas de madera añadidas. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 151-152.

A 376/1031- A 391/ 512. Cortes axiales en los que se observa la situación y medidas de las pieza nº 5 y 6 en los pliegues del manto de la Virgen. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 153-154.

A 856/1031- A 878/1031. Cortes axiales en los que se observa la situación de la pieza nº 7 de madera añadidas en los pliegues del manto y la sujeción de esta mediante clavos. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 155-156-157.

A 946/1031-S 430/512-C 440/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se visualizan las piezas nº 8 y 9. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 158-159-160-161.

3D *clut-endoscopy*. Reconstrucción volumétrica (3D) en la que se visualizan todos los clavos. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 162-163.

A 276/1031- S 311/512. Corte axial y sagital en los que se observa el material de relleno utilizado en la gran fisura que recorre la talla de la Virgen desde la base de la cabeza hasta el pecho. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 164-165.

A 48/1031- C 408/512. Corte axial y coronal en los que se observa la situación y espesor del material de relleno. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 166-167.

A 534/1031- C 255/512. Corte axial y coronal en los que se observa el espesor del material de relleno de oquedades o fisuras. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 168-169.

A 696/1031- S 321/512. Corte axial y sagital en los que se observa la situación de la pieza de madera añadida y el material de relleno. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 170.

A 936/1031. Corte axial en el que se observan los rellenos en la zona de la base de la imagen realizados con resina epoxídica. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 171.

Sección estratigráfica de micromuestra de la mano izquierda del Niño analizada mediante microscopía óptica con luz visible, 20x. Enumeración de los diferentes estratos: 1.Preparación a base de yeso y cola animal, 2.Policromía blanca de albayalde, 3.Barniz, 4.Policromía de tonalidad rosada a base de albayalde y un poco de bermellón, 5.Barniz que se entremezcla con yeso y un poco de negro vegetal, 6.Fino estrato de policromía de tonalidad rojiza a base de bermellón y un poco de albayalde, 7.Policromía de tonalidad rosada-anaranjado a base de albayalde y minio, 8.Policromía de tonalidad rosada a base de albayalde y un poco de pigmento ocre. Foto: Livio Ferrazza y David Juanes Barber.

Figura 172.

Sección estratigráfica de micromuestra de la mejilla izquierda de la Virgen analizada mediante microscopía óptica con luz visible, 20x. Enumeración de los diferentes estratos: 1.Preparación a base de yeso y cola animal, 2. Capa aislante de cola animal, 3.Policromía blanca de albayalde, 4.Barniz, 5.Policromía de tonalidad rosada a base de albayalde y un poco de bermellón, 6.Barniz, 7.Policromía de tonalidad rosada-anaranjada a base de albayalde y minio, 8.Policromía de tonalidad rosada a base de albayalde y un poco de pigmento ocre. Foto: Livio Ferrazza y David Juanes Barber.

Figura 173-174.

A 108/1031 *no-clut* y A 108/1031 *Clut-flow*. Corte axial con diferentes *cluts* en los que se observa la diferencia de densidad. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 175.

3D *Clut-hotmetal*. Reconstrucción volumétrica (3D) en las que observamos una mayor densidad en las carnaciones. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 176.

S 329/512 *Clut-flow*. Corte sagital en el que observamos la diferencia de densidades y la similitud de la policromía con blanco de plomo y los elementos metálicos. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 177-178.

A 972/1031- S 193/512. Corte axial y sagital en los que se observa un estrato de policromía o de preparación en la superficie de la estructura interior de la peana. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 179-180.

Imagen visible, anverso y reverso, del *Cristo de la Santísima Sangre de Denia*. Fotos: M^a Dolores Vilella Villar.

Figura 181.

A 573/1312. Corte axial en el que se localiza el punto de origen y el sistema de ejes cartesianos tal y como se define en TC y que va a determinar la coordenadas espaciales de los distintos ROIs de punto situados en la imagen del *Cristo de la Santísima Sangre de Denia*. Foto y gráfico: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 182-183.

3D *clut-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D), anverso y lateral derecho, en las que observamos la posición de los diferentes ROIs de punto utilizados en el análisis de los elementos internos de la pieza escultórica. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 184-185.

3D *clut-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D), reverso y lateral izquierdo, en las que observamos la posición de los diferentes ROIs de punto utilizados en el análisis de los elementos internos de la pieza escultórica. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 186-187.

A 194/1312 – C 255/512. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 188-189.

A 264/1312- C 255/512. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 190-191.

A 612/1312- C 255/512. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 192-193.

A 720/1312- C 255/512. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 194-195.

A 1290/1312-C 255/512. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 196-197.

A 306/1312- A 1232/1312. Cortes axiales en los que se ha medido el área de las diferentes piezas de madera utilizadas en la construcción de la imagen. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 198-199.

A 194/1312- A 813/1312. Cortes axiales en los que se sitúan los clavos utilizados como sistema de sujeción de piezas. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 200-201-202.

A 74/1312- A 130/1312- A 204/1312-. Diferentes cortes axiales en los que se observan la envergadura de la grieta que se localiza en el lateral derecho de la cabeza del Cristo. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 203.

3D *clut-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) de la cabeza del cristo en la que se observa la proyección longitudinal de la grieta. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 204.

A 156/1312. Extensión transversal, abertura de la grieta del lateral derecho de la cabeza del Cristo. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 205-206.

A 588/1312. Corte axial en el que se ha medido el ancho y el largo de la grieta que se sitúa en la mano derecha del Cristo. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 207-208.

A 555/1312. Cortes axiales en los que se ha medido el ancho y el largo de la grieta que se sitúa en el antebrazo izquierdo del Cristo. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 209-210.

A 231/1312- A 780/1312. Cortes axiales desde donde se observa el inicio y final de la desunión de las piezas nº 1-2. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 211-212.

A 486/1312- A 771/1312. Cortes axiales desde donde se observa el inicio y final de la desunión de las piezas nº 2-3. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 213-214.

A 585/1312 y 3D *clut-bones*. Corte axial en el que se observa la desunión de las piezas nº 3-4 y nº 4-5. Reconstrucción volumétrica (3D) en vista posterior en la que se observan los estucos aplicados en las desuniones. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 215.

A 669/1312. Corte axial en el que se localizan los estucos de relleno de las desuniones y fendas. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 216-217-218.

S 361/512- A 502/1312- C 307/512. Corte sagital, axial y coronal en los que se observa un nudo de importancia. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 219.

C 256/512. Corte coronal en los que se observa la diversidad de nudos. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 220.

A 741/1312. Corte Axial en el que se observa la envergadura del núcleo de resina que se localiza en la pieza nº 3. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 221.

Sección estratigráfica de micromuestra del brazo izquierdo del Cristo analizada mediante microscopía óptica con luz visible, 10×. Enumeración de los diferentes estratos: 1.Preparación a base de yeso y cola animal, 2. Segunda capa de preparación a base de yeso y cola animal, 3.Policromía blanca a base de blanco de plomo y con presencia de bermellón y esmalte. Foto: Livio Ferrazza y David Juanes Barber.

Figura 222.

Espectro EDX del estrato nº 3 en el que se detectan los elementos químicos del blanco de plomo. Foto y grafica : Livio Ferrazza y David Juanes Barber.

Figura 223-224.

A 168/1312 – S 275/512 *clut-flow*. Corte axial y sagital en los que se observa la diferencia de densidad entre las distintas tonalidades de policromías. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 225-226.

Imagen visible, anverso y reverso, de *Santa María de Carlet*. Fotos: Rogelio Martínez Alemany.

Figura 227.

A 72/731. Corte axial en el que se localiza el punto de origen y el sistema de ejes cartesianos tal y como se define en TC y que va a determinar la coordenadas espaciales de los distintos ROIs de punto situados en la imagen de *Santa María de Carlet*. Foto y gráfico: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 228-229-230-231.

3D *clut-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) en las que observamos la posición de los diferentes ROIs de punto utilizados en el análisis de los elementos internos de la pieza escultórica. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 232-233.

S 258/512 - C 241/512. Corte sagital y coronal en los que se observa un único volumen de talla principal y la envergadura del vaciado de la pieza escultórica. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 234-235.

A 142/731- C 260/512. Corte axial y coronal en los que se observa la disposición en zig-zag de la grieta en sentido transversal y las tres grietas que proyecta en sentido longitudinal. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 236.

Reconstrucción de superficie 3D de la cabeza de la Virgen en la que se localiza el clavo nº 4. Foto: David Juanes Barber.

Figura 237.

Reconstrucción 3D del clavo nº 4. Gráfico: David Juanes Barber.

Figura 238-239.

C 259/512- S 260/512. Corte coronal y sagital en los que se localizan los nudos. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 240.

A 200/731. Corte axial en el que se ha medido el diámetro del nudo nº 1. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 241.

A 474/731. Corte axial en el que se ha medido el diámetro del nudo nº 2. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 242-243-244.

A 522/731- C 420/512- A 598/731. Cortes axiales y coronal en los que se observa el nivel de ataque de insecto xilófago que presenta la imagen. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 245-246.

S 258/512 – S 270/512. Corte sagital en los que se observa el antebrazo de la Virgen y su sujeción a al talla principal mediante el clavo nº 5. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 247-248.

S 146/512 - A 284/731. Corte sagital y axial en los que se observa la reconstrucción de la mano derecha de la Virgen. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 249-250.

A 260/731- S 306/512. Corte axial y sagital en los que se observa la reconstrucción del brazo y mano derecha del Niño. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 251-252.

S 309/512- A 200/731. Corte sagital y axial en los que se localizan las piezas de madera con las que está construido el panel trasero que recubre el dorso de la imagen. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 253-254.

3D *clut-french* - A 420/731. Reconstrucción volumétrica (3D) en la que se observa la estructura completa de panel trasero y corte axial en el que se evidencia el ataque de insecto xilófago y la grieta de la pieza nº 3. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 255-256.

C 352/512- C 355/512. Cortes coronales en los que se observa las dos piezas añadidas al trono y sus medidas. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 257-258.

A 576/731- A 590/731. Cortes axiales en los que se observa la construcción de la peana. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 259-260.

A 694/731- C 250/512. Corte axial y coronal en los que se observa la construcción de la peana. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 261.

3D *clut-french*. Reconstrucción volumétrica (3D) en las que se visualizan los clavos utilizados en la construcción de la peana. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 262-263.

A 382/731- A 540/731. Cortes axiales en los que se observa el espesor de los estucos que se han aplicado en la zona del trono. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 264.

A 284/731. Corte axial en el que se observa el estucado en la zona de inserción de la mano y el antebrazo de la Virgen. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 265.

A 224/731. Corte axial en el que se observa el estucado entre dos de las piezas que conforman el panel trasero. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 266.

A 174/731. Corte axial en el que se observa el estucado aplicado en la zona del nudo nº 1. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 267.

A 78/731. Corte axial en el que se observa el estucado aplicado en una de las grietas de la cabeza de la Virgen. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 268.

Sección estratigráfica de micromuestra del rostro de la Virgen analizada mediante microscopía óptica con luz visible, 10x. Enumeración de los diferentes estratos: 1.Preparación a base de yeso y cola animal. Se detectan pequeños cantidades de pigmentos tierra, 2. Capa aislante de cola animal, 3.Policromía blanca elaborada con albayalde y un poco de minio, 4.Barniz, 5.Policromía blanca elaborada con albayalde, un poco de bermellón y minio, 6.Barniz oxidado con suciedad, 7.Estrato de tonalidad parda. Se detecta material orgánico, pigmentos tierras y albayalde, 8.Estrato de tonalidad parda. Se detecta material orgánico, pigmentos tierras y albayalde, 9.Policromía rosada elaborada con albayalde, una pequeña cantidad de bermellón y pigmentos tierras, 10.Barniz oxidado con suciedad. Los análisis han detectado la presencia de compuestos terrosos, fosfatos, albayalde y yeso. Foto: Livio Ferrazza y David Juanes Barber.

Figura 269-270.

A 112/731- A 198/731. Cortes axiales en los que se observa la diferencia de densidad en la policromía de carnaciones así como en aquella de tonalidad blanca como la del manto de la Virgen. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 271.

Detalle de la nueva pieza añadida (pieza nº 2) en el lateral izquierdo después de haber sido eliminados los repolicromados y estucos de relleno. Foto: Rogelio Martínez Alemany.

Figura 272.

C 352/512. Corte coronal en el que se observa las dos piezas añadidas al trono. Foto: M^a. F. Sarrió Martín

Figura 273.

Detalle de la nueva piezas añadida (pieza nº 1) en el lateral derecho después de haber sido eliminados los repolicromados y estucos de relleno. Foto: Rogelio Martínez Alemany.

Figura 274.

3D *clut-muscle-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) en la que se sitúan las tres piezas que conforman el panel trasero. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 275.

Pieza nº 3 del panel trasero una vez retirada del reverso de la imagen de *Santa María de Carlet*. Foto: Rogelio Martínez Alemany.

Figura 276.

Reverso de la imagen una vez retiradas las piezas nº 2 y 3 del panel trasero y las piezas nº 1 y 2 de los laterales del trono. Foto: Rogelio Martínez Alemany.

Figura 277-278-279.

Imágenes secuenciales en las que se visualizan las diferentes fases de eliminación del repolicromado del rostro de la Virgen. Fotos: Rogelio Martínez Alemany.

Figura 280-281.

Proceso de reconstrucción volumétrica del soporte y estucado de pérdidas en el reverso de la imagen. Fotos: Rogelio Martínez Alemany.

Figura 282-283.

Estado final del anverso y reverso de la imagen de *Santa María de Carlet*. Fotos: Rogelio Martínez Alemany.

Figura 284.

Imagen visible de *San Miguel Arcángel*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 285.

Medida del campo de visión del tomógrafo en anchura. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 286-287.

A 98/951 – S 285/512. Corte axial y sagital en los que se sitúa el punto de origen y el sistema de ejes cartesianos tal y como se define en TC y que va a determinar la coordenadas espaciales de los distintos ROIs de punto situados en la imagen de *San Miguel Arcángel*. Fotos y gráfico: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 288-289-290-291.

3D *No-clut*. Reconstrucción volumétrica (3D) en las que observamos la posición de los diferentes ROIs de punto utilizados en el análisis de los elementos internos. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 292.

A 190/951. Corte axial en el que se determinan las coordenadas espaciales que sitúan a la estructura de apoyo de la cabeza. Foto: M^a. F. Sarrió Martín

Figura 293-294.

3D *clut-french* y *clut-flow*. Diferentes reconstrucciones volumétricas (3D) con recorte en el lateral izquierdo en las que se visualiza la estructura de soporte de la cabeza. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 295.

Estudio mediante video endoscopia en el que se observa que la pieza que se sitúa en el cuello del *San Miguel Arcángel* está realizada en corcho. Foto: Juan Pérez Miralles.

Figura 296-297.

A 240/951 C 293/512. Corte axial y coronal en los que se observa las lenticelas o poros característicos del corcho. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 298-299-300.

A 196/951- A 200/951- S 256/512. Cortes axiales y sagital en los que se observa los clavos y tornillos de sujeción de la pieza de soporte de la base de la cabeza. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 301-302.

3D *clut-french*. Reconstrucción volumétrica (3D) con recorte del anverso y la parte superior, en las que se visualiza la estructura de la pieza de soporte de la base de la cabeza. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 303-304.

3D *clut-french* y *clut-VR muscles-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) con recorte del lateral derecho y lateral izquierdo, en las que se visualiza la estructura de la pieza de soporte de la base de la cabeza. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 305-306.

S 294/512- C310/512. Corte Sagital y coronal en el que se determinan las medidas del soporte de la base de la cabeza. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 307-308.

A 182/951- A 254/951. Cortes axiales en los que se mide los diferentes diámetros de la zona superior e inferior del soporte de la base de la cabeza. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 309-310-311.

3D *clut-endoscopy*. Reconstrucción volumétrica (3D): lateral derecho, anverso y lateral izquierdo, en las que se visualiza la estructura de soporte del cuerpo del *San Miguel Arcángel*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 312-313.

A 324/951- S199/512. Corte axial y sagital en los que se sitúan las medidas del listón de madera horizontal de la estructura de soporte del cuerpo. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 314.

A 330/951. Corte axial en el que se sitúan las coordenadas de inicio de los listones verticales de la estructura de soporte del cuerpo. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 315.

Detalle del interior de la peana en la que se observa el sistema de sujeción de los listones verticales a la estructura de madera de la peana. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 316.

Zona de medida hasta la que ha podido analizar el tomógrafo. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 317-318.

A 324/951-C 285/512. Corte axial y sagital en los que se ha medido los dos listones verticales. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 319-320-321.

3D *clut-french*. Reconstrucción volumétrica (3D) con recorte desde el lateral derecho-anverso, anverso y lateral izquierdo-anverso, en las que se visualiza la estructura de soporte del cuerpo del *San Miguel Arcángel*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 322-323.

Diferentes vistas de la renderización de la estructura de soporte del cuerpo del *San Miguel Arcángel*. Fotos: M^a Ángeles de Córdoba, *Play Your Project*.

Figura 324-325.

3D *clut-VR muscle-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) en la que se visualiza la pieza metálica exterior de anclaje de las alas del *San Miguel Arcángel*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 326.

A 326/951. Corte axial en el que se visualiza la situación de la estructura de soporte del anclaje de las alas. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 327-328.

3D *clut-french*. Reconstrucción volumétrica (3D) con recorte desde diferentes posiciones (lateral derecho e izquierdo). Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 329-330-331.

A 342/951-A 344/951- S 310/512. Cortes axiales y sagital en los que se ha determinado las medidas de las tres tablas. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 332.

A 470/951. Corte axial en el que se visualiza la mano y el antebrazo realizados en madera. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 333-334.

3D *clut-french*. Reconstrucciones volumétricas (3D) de recorte en las que se visualiza la estructura de madera de la mano y el antebrazo izquierdo. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 335.

3D *clut-french*. Reconstrucción volumétrica (3D) con recorte en la que se visualiza la mano derecha realizada en madera y su sujeción mediante clavos. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 336-337.

3D *clut-french*- C 236/512. Reconstrucción volumétrica (3D) con recorte en el lateral derecho y corte coronal en los que se visualiza la pieza. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 338.

A 532/951. Corte axial en el que se ha medido la pieza situada en el lateral izquierdo de la base de la armadura. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 339-340.

A 938/951- A 658/951. Cortes axiales en los que se observa el relleno aplicado en estas zonas. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 341-342.

S 271/512- A 184/951. Corte sagital y axial en los que se observa el relleno en la zona del rostro y su punto de mayor porcentaje que se localiza en la barbilla del *San Miguel Arcángel*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 343-344.

A 72/951- A 604/951. Cortes axiales en los que se han medido diferentes zonas del soporte de cartón piedra. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 345.

3D *clut-VR muscle-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) en la que se observa el espesor del soporte en el rostro y el modelado del cabello en el interior de la cabeza. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 346-347-348.

3D *clut-VR muscle-bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) desde diferentes posiciones en las que se visualizan aquellos elementos mas cercanos en la escala Hounsfield al metal. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 349-350.

3D *clut-french*. Reconstrucción volumétrica (3D) con recorte en la que se localizan las diferentes grietas y el ataque de insecto xilófago que afecta a la estructura de soporte del cuerpo. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 351.

A 356/951. Corte axial en el que se observa el ataque de insecto xilófago, en las tablillas de soporte del anclaje de las alas y en los dos listones verticales. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 352-353.

A 111/951-C 262/512. Corte axial y coronal en los que se observa una diferencia de densidad coincidiendo con la policromía de carnaciones (rostro y cuello). Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 354-355.

Imagen visible, anverso y reverso , del *Cristo de Sant Bult*. Fotos: Pascual Mercé Martínez.

Figura 356-357-358.

Imagen visible, anverso y reverso, de la *Virgen de las Victorias o Batallas*. Fotos: Pascual Mercé Martínez.

Figura 359-360.

Imagen visible, anverso y reverso , de *Nuestra Señora de la Naranja*. Fotos: Pascual Mercé Martínez.

Figura 361-362.

Imagen visible, anverso y reverso, de *Nuestra Señora de la Leche*. Fotos: Pascual Mercé Martínez.

Figura 363-364.

Imagen visible, anverso y reverso, de la *Virgen con Niño de Oliva*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 365-366.

Imagen visible, anverso y reverso, del *Ecce Homo de L 'Olleria*. Fotos: Pascual Mercé Martínez.

Figura 367-368.

Imagen visible, anverso y reverso, de *San Luis de Sellent*. Fotos: Pascual Mercé Martínez.

Figura 369-370.

Imagen visible, anverso y reverso, de la *Inmaculada Concepción de Granada*. Fotos: Pascual Mercé Martínez.

Figura 371-372.

Imagen visible, anverso y reverso, de la *Virgen con Niño de escuela andaluza*. Fotos: Isabel Alonso González.

Figura 373-374.

Imagen visible, anverso y reverso, de *Santo Tomás*. Fotos: Greta García Hernández.

Figura 375-376.

Imagen visible , anverso y reverso, de *Santa Clara*. Fotos: Pascual Mercé Martínez.

Figura 377-378.

Imagen visible, anverso y reverso, de *Nuestra Señora de las Nieves*. Fotos: Pascual Mercé Martínez.

Figura 379-380.

A 291/435- S 233/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza el sistema constructivo de la Imagen de *Nuestra Señora de las Victorias o Batallas*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 381-382.

A 313/974- S 241/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza el sistema constructivo de la Imagen de *Nuestra Señora de la Naranja*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 383-384.

A 256/974- S 142/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza la mano de la Virgen y del Niño realizadas con diferente madera. *Nuestra Señora de la Naranja*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 385-386.

A 180/435- S 127/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza la mano de la Virgen realizadas con diferente madera. *Virgen de las Victorias o Batallas*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 387-388.

A 198/859- S 235/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza un único bloque de madera para la configuración de la imagen de *la Virgen con Niño de Oliva*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 389-390.

A 166/430- A 168/430. Cortes axiales en los que se visualiza el encastre y sujeción de la mano derecha de *la Virgen con Niño de Oliva*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 391-392.

A 50/90- A 36/90. Cortes axiales en los que se visualiza el sistema constructivo de un único bloque de madera y la mano del Niño como pieza añadida a la talla. *Nuestra Señora de la Leche*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 393-394.

C 312/512- C 258/512. Cortes coronales en los que se visualiza la peana no original de *Nuestra señora de la Naranja y Virgen de las Victorias o Batallas*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 395-396.

A 76/413- C 264/512. Corte axial y coronal en los que se visualiza el sistema constructivo de la Imagen del *Cristo de Sant Bult*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 397-398.

A 340/915- C 231/512. Corte axial y coronal en los que se sitúan las piezas que conforman el volumen de la talla del *Ecce Homo de L'Olleria*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 399.

3D *Clut- Bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) en la que se observan los clavos utilizados en la construcción del volumen de la talla. *Ecce Homo de L'Olleria*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 400.

A 308/831. Corte axial en el que se visualiza la multitud de piezas de madera que conforman la talla de *San Luis de Sellent*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 401.

A 48/183. Corte axial en el que se visualiza la multitud de piezas de madera que conforman la talla de *la Inmaculada Concepción de Granada*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 402.

A 90/183. Corte axial en el que se visualiza el ahuecado del interior de la pieza escultórica. *Inmaculada Concepción de Granada*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 403-404.

S 256/512- S 301/512. Cortes sagitales en los que se observa las zonas del soporte que presentan mayor fragilidad. *Inmaculada Concepción de Granada*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 405.

A 21/183. Corte axial en el que se observa el desbaste de la mascarilla y los ojos de vidrio. *Inmaculada Concepción de Granada*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 406.

A 63/183. Corte axial en el que se observa el encastre de las manos en la talla. *Inmaculada Concepción de Granada*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 407-408.

A 179/455- S 207/512. Corte axial y sagital en los que se observa el sistema constructivo de la cabeza de la Virgen. *Virgen con Niño de escuela andaluza*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 409.

A 436/455. Corte axial en el que se observa el ensamble en hueco y el desbaste de las piezas que conforman el volumen de la talla. *Virgen con Niño de escuela andaluza*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 410.

A 152/455. Corte axial en el que se observa el sistema de sujeción mediante clavos y adhesivo. *Virgen con Niño de escuela andaluza*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 411.

C 244/512. Corte coronal en el que se observa el hueco donde se insertan las manos de la Virgen y el Niño. *Virgen con Niño de escuela andaluza*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 412-413.

A 109/426- A 316/426. Cortes axiales en los que se observa las diferentes piezas añadidas al bloque principal para configurar el volumen de la talla. *Santo Tomás*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 414-415.

S 273/512- C 293/512. Cortes sagitales en los que se observa el desbaste del interior de la talla en el cuerpo y el rostro. *Santo Tomás*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 416-417.

3D *no-clut*. Reconstrucción volumétrica (3D) en la que se observa la multitud de clavos utilizados en el sistema constructivo de la talla. *Santo Tomás*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 418-419.

A 69/151- S 266/512. Corte axial y sagital en los que se observa el sistema constructivo de bloques de madera ensamblados en hueco. *Nuestra Señora de las Nieves*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 420.

A 16/151. Corte axial en el que se visualiza el vaciado de la máscara del rostro para la inserción de los ojos de vidrio. *Nuestra Señora de las Nieves*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 421-422.

A 60/151- A 35/151. Cortes axiales en los que se visualiza la construcción de los brazos y el sistema de articulación mediante tornillos. *Nuestra Señora de las Nieves*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 423.

A 143/151. Corte axial en el que se visualiza la construcción mediante diferentes piezas de madera de la nube y el sistema de sujeción de los querubines. *Nuestra Señora de las Nieves*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 424-425.

S 216/512- C 270/512. Corte sagital y coronal en los que se observa la construcción, mediante diferentes piezas de madera, de la estructura interior de soporte de la pieza escultórica. *Santa Clara*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 426-427-428.

A 31/213- A 39/213- A 73/213. Diferentes cortes axiales en los que se observa el sistema constructivo de la cabeza de la imagen. *Santa Clara*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 429-430.

A 159/213- A 212/213. Cortes axiales en los que se visualiza la construcción mediante diferentes piezas de madera de la estructura que da soporte al cuerpo de la imagen. *Santa Clara*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 431-432.

A 79/416- A 190/416. Cortes axiales en los que se localizan las diferentes grietas que presenta el soporte de la talla del *Cristo de Sant Bult*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 433-434.

A 112/974- S 253/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza los diferentes tipos de grietas que se proyectan en la talla de *Nuestra Señora de la Naranja*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 435-436.

A 76/90- A 288/859. Corte axial y sagital en los que se visualiza grietas superficiales y de mayor envergadura. *Nuestra Señora de la Leche y Virgen con Niño de Oliva*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 437.

A 148/786. Corte axial en el que se visualiza una grieta de gran envergadura en el rostro del *Ecce Homo de L'Olleria*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 438.

A 358/831. Corte axial en el que se visualiza la diversidad de grietas que proyectan en la talla de *San Luis de sellent*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 439.

A 370/ 455. Corte axial en el que se sitúa la grieta que se proyecta en el anverso de la talla de *Virgen con Niño de escuela andaluza*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 440.

A 103/426. Corte axial en el que se visualiza diversas grietas en el bloque principal de la talla de *Santo Tomás*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 441.

A 97/151. Corte axial en el que se aprecias grietas en alguno de los bloques que conforman la estructura de soporte de la talla de *Nuestra Señora de las Nieves*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 442-443-444.

A 95/416- S 259/512- C 246/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se observa la infinidad que nudos que presenta la estructura de madera del *Cristo de Sant Bult*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 445-446.

A 25/90- A 38/90. Cortes axiales en los que se visualiza el tono oscuro de los denominados *nudos muertos*. *Nuestra Señora de la Leche*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 447.

A 388/786. Corte axial en el que se visualiza los diferentes nudos que presenta la estructura de la talla. *Ecce Homo de L'Olleria*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 448-449.

S 264/512- C 320/512. Corte sagital y coronal en los que se visualiza los diferentes nudos que presenta la estructura de la talla. *Ecce Homo de L'Olleria*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 450-451-452.

A 284/831- S 260/512- C 263/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se visualiza los diferentes nudos que presenta la estructura de la talla. *San Luis de Sellent*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 453-454-455.

A 68/183- S 256/512- C 123/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se visualiza el nudo que se proyecta en las manos de la pieza escultórica. *Inmaculada Concepción de Granada*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 456-457.

A 311/455- S 269/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza los nudos que se proyectan en el cuello de la Virgen y en la base del manto del Niño. *Virgen con Niño de escuela andaluza*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 458.

C 410/512. Corte coronal en el que se observa los nudos de la base del manto de la Virgen. *Virgen con Niño de escuela andaluza*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 459-460.

A 192/425- S 209/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza uno de los nudos que se sitúa a una altura media de las piernas del santo. *Santo Tomás*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 461.

C 227/512. Corte coronal en el que se observa el nudo que se localiza en los pies del santo. *Santo Tomás*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 462-463.

A 53/151- A 109/151. Cortes axiales en los que se visualiza los diferentes nudos que se proyectan en las piezas de madera que conforman la estructura de la imagen de *Nuestra Señora de las Nieves*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 464-465-466

S 364/512 - A 356/786 - C 240/512. Corte sagital, axial y coronal en los que se visualiza la desunión entre piezas. *Ecce Homo de L'Olleria*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 467-468.

A 278/831- S 410/512. Corte axial y sagital en los que se visualiza la desunión entre piezas localizadas en los laterales de la talla. *San Luis de Sellent*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 469-470

A 436/831- C 310/512. Corte axial y coronal en los que se visualiza la desunión entre piezas localizadas en el anverso de la talla. *San Luis de Sellent*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 471-472-473.

A 111/182- S 313/512- C 294/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se visualiza la desunión entre piezas de la talla. *Inmaculada Concepción de Granada*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 474-475-476.

A 196/426- S 276/512- C 258/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se visualiza la desunión entre piezas de la talla. *Santo Tomás*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 477.

A 47/151. Corte axial en el que se observa la desuniones entre algunas piezas que se localizan en el interior de la estructura de la talla. *Nuestra señora de las Nieves*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 478-479-480.

A 214/435- S 306/512- C 210/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se visualiza el ataque de insecto xilófago. *Virgen de las Victorias o Batallas*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 481-482-483.

A 726/974- S 252/512- C 288/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se visualiza el ataque de insecto xilófago con mayor actividad en la zona de tronco y base de la talla. *Nuestra Señora de la Naranja*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 484-485.

A 286/859- A 796/859. Cortes axiales en los que se visualiza el ataque provocado por insecto xilófago a nivel superficial y en la base de la talla. *Virgen con Niño de Oliva*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 486-487-488.

A 642/831- S 272/512- C 349/512. Corte axial, sagital y coronal en los que se visualiza el ataque de insecto xilófago con mayor actividad en la pieza del reverso y en la base de la talla. *San Luis de Sellent*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 489-490.

A 162/454- A 216/454. Cortes axiales en los que se visualiza el leve ataque provocado por insecto xilófago. *Virgen con Niño de escuela andaluza*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 491-492.

A 325/426- C 265/512. Corte axial y coronal en los que se localiza el ataque provocado por insecto xilófago en la base de la talla del santo y en su pena. *Santo Tomás*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 493-494.

A 166/213- S 200/512. Corte axial y sagital en los que se localiza el ataque provocado por insecto xilófago en la estructura interior realizada en madera de la imagen de *Santa Clara*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 495-496.

C 257/512- S 262/512. Corte coronal y sagital en los que se visualiza diferentes zonas de la talla donde se han realizado reconstrucciones de volumen. *Virgen de las Victorias o Batallas*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 497.

A 127/435. Corte axial en el que se ha medido el espesor máximo de la reconstrucción del torso de la imagen. *Virgen de las Victorias o Batallas*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 498.

A 214/435. Corte axial en el que se visualiza la reconstrucción de volumen en la zona de la mano izquierda de la imagen. *Virgen de las Victorias o Batallas*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 499-500.

A 229/435 – A 265/435. Cortes axiales en los que se ha medido en espesor en diferentes zonas de reconstrucción del volumen de la talla. *Virgen de las Victorias o Batallas*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 501.

A 385/435. Corte axial en el que se sitúan las reconstrucciones del pie derecho, el izquierdo y la base de la imagen. *Virgen de las Victorias o Batallas*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 502.

A 254/435. Corte axial en el que se sitúa las reconstrucciones de volumen realizada con tela de uno de los pliegues del manto. *Virgen de las Victorias o Batallas*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 503.

3D *Clut-Bones*. Reconstrucción volumétrica (3D) del lateral derecho y anverso, en los que se visualiza el volumen de reconstrucción que presenta la imagen. *Virgen de las Victorias o Batallas*. Foto: David Juanes Barber.

Figura 504-505.

A 748/974- A 846/974. Cortes axiales en los que se localiza las diferentes reconstrucciones de volumen en la imagen. *Nuestra señora de la Naranja*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 506-507.

3D *clut-endoscopy* - C 269/512. Reconstrucción volumétrica (3D) y corte coronal en los que se observan las nuevas piezas añadidas la talla original. *Cristo de Sant Bult*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 508-509.

S 251/512- S 125/512 Cortes sagital en los que se visualizan las diferentes piezas añadidas. *Virgen de las Victorias o Batallas*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 510-511.

S 228/512- S 126/512. Cortes sagitales en los que se sitúan las diferentes piezas añadidas no originales. *Nuestra Señora de la Naranja*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 512-513.

A 29/90- A 36/90. Cortes axiales en los que se observa la diferente densidad de maderas de las dos piezas añadidas. *Nuestra Señora de la Leche*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 514-515.

A 714/915- S 316/512. Corte axial y sagital en los que se observan las estructura de la nueva peana y el sistema de sujeción. *Ecce Homo de L'Olleria*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 516-517.

A 329/416- A 86/512. Cortes axiales en los que se sitúan diferentes rellenos en grietas y en uniones de piezas. *Cristo de Sant Bult*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 518.

S 310/512. Corte sagital en los que se observan los relleno de oquedades en la zona de inserción de los mechones de madera. *Cristo de Sant Bult*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 519-520.

S 255/512- A 132/435. Corte sagital y axial en los que se localizan los rellenos de oquedades en distintas zonas la talla. *Nuestra Señora de las Victorias o Batallas*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 521.

S 134/512. Corte sagital en el que se localizan las zonas de relleno en el brazo derecho de la imagen. *Nuestra Señora de las Victorias o Batallas*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 522-523.

A 50/974- S 214/512. Corte axial y sagital en el que se sitúa uno de los rellenos realizado en la cabeza de la Virgen. *Nuestra Señora de la Naranja*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 524-525.

A 10/90- A 51/90. Cortes axiales en los que se sitúan los rellenos de grietas de la cabeza y en los pliegues de la túnica de la Virgen. *Nuestra Señora de la Leche*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 526-527.

A 358/859- S 199/512. Corte axial y coronal en los que se visualizan los rellenos en grietas y en aquellas zonas afectadas por ataque de insecto xilófago. *Virgen con Niño de Oliva*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 528.

C 172/512. Corte coronal en el que se sitúa el relleno superficial de la grieta de la cabeza. *Ecce Homo de L'Olleria*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 529.

A 186/786. Corte axial en el que se localizan diferentes rellenos en desuniones entre piezas. *Ecce Homo de L'Olleria*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 530.

A 206/786. Corte axial en el que se localizan rellenos de resina epoxídica en tres oquedades del reverso del paño de pureza. *Ecce Homo de L'Olleria*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 531.

A 122/183. Corte axial en el que se localizan pequeños rellenos de desuniones a nivel superficial. *Inmaculada Concepción de Granada*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 532.

A 114/426. Corte axial en el que se localizan el relleno en superficie realizado en el antebrazo izquierdo del santo. *Santo Tomás*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 533.

A 322/426. Corte axial en el que se localizan el relleno de dos oquedades que se sitúan en la base de la talla. *Santo Tomás*. Foto: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 534-535.

3D *Gray Rainbow* -A 78/416. Reconstrucción volumétrica (3D) y corte axial en los que se observa la diferencia de espesor y densidad en las zonas repolicromadas. *Cristo de Sant Bult*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 536-537-538.

A 107/435 -A 223/435- A 301/435. Corte axiales en los que se sitúan las diferentes zonas con posibles restos de antigua policromía. *Virgen de las Victorias o Batallas*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 539-540.

A 247/435- C 257/512. Corte axial y coronal en los que se identifican posibles antiguas policromías y las zonas ocultas por la fina tela. *Virgen de las Victorias o Batallas*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 541-542.

A 140/859- A 364/859. Cortes axiales en los que se localizan posibles restos de antiguas policromías. *Virgen con Niño de Oliva*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Figura 543-544.

A 61/183 *no-clut* y *clut-french*. Corte axial en el que se visualiza la diferencia de densidades de los estratos de policromía vistos con diferentes CLUTs. *Inmaculada Concepción de Granada*. Fotos: M^a. F. Sarrió Martín.

Bibliografía

- Amich, C. *Manual del dorado sobre madera*. Palma de Mallorca: Sintés, 1969.
- Antelo, T.; Bueso, M.; Gabaldón, A.; Martín, A. *Técnicas radiográficas en los metales históricos*. Madrid: Ministerio de Cultura. Secretaria General Técnica. Subdirección General de Publicaciones, Información y Documentación, 2010.
- Badde, A.; Illerhaus, B. "Three Dimensional Computerized Microtomography in the Analysis of Sculpture". *Scanning* 30, nº 1 (enero-febrero 2008), pp.16-26.
- Badde, A.; Illerhaus, B. "3D- μ CT Reveals the Work Processes of Cast Plaster Statues, their Internal Structures, Damages, and restorations". En actas, *The SPIE (International Society for Optics and Photonics) Optical Methods for Arts and Archeology 5857*. Ed: Renzo Salimbeni y Luca Pezzati, 2005, pp. 100-108. Consultado el 10 de agosto de 2015.
- <http://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.611820>.
- Bagnoni, A. (ed y coord). *Scultura Dipinta. Maestri di legname e pittori a Siena 1250-1450*. Florencia: Centre Di della Edifimi srl, 1987.
- Baldock, C.; Hughes, S. W.; Whittaker, D. K.; Taylor, J.; Davis, R.; Spencer A. J.; Tonge, K.; Sofat, A. "3-D Reconstrucción of an Ancient Egyptian Mummy Using X-ray Computer Tomography". *Journal of de Royal Society of Medicine*, 87 (diciembre 1994), pp. 806-808. Consultado el 15 de marzo de 2014.
- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1295009/pdf/jrsoc-med00078-0096.pdf>.
- Bamberg, F.; Dierks, A.; Nikolaou, K.; Becker, C.; Johnson, T.; Reiser, M. "Metal Artifact Redution by Dual Energy Computed tomography Using Monoenergetic

- Extrapolation". *European Radiology*. 21, nº 7 (julio 2011), pp.1424-1429. Consultado el 10 de enero de 2015.
<http://rd.springer.com/article/10.1007%2Fs00330-011-2062-1>.
- Barret, J. F.; Keat, N. "Artifacts in CT: Recognition and Avoidance". *Radiographics*, 24, nº 6 (noviembre-diciembre 2004), p.1679. Consultado el 2 de septiembre de 2015.
<http://dx.doi.org/10.1148/rg.246045065>.
- Bermúdez, C. *La escultura en madera policromada. Degradaciones causadas por la inadecuada ejecución de la técnica, defectos e incompatibilidad de materiales*. Granada: Departamento de escultura. Facultad de Bellas Artes. Universidad de Granada, 2001.
- Betuzzi, M.; Casali, F.; Morigi, M. P.; Brancaccio, R.; Carson, D.; Chiari, G.; Maish, J. "Computed Tomography of a Medium Size Roman Bronze Statue of Cupid". *Applied Physics A. Material Science and Processing*, 118, nº 4 (marzo 2015), pp.1161-1169. Consultado el 17 de abril de 2015.
<http://rd.springer.com/article/10.1007/s00339-014-8799-z>
- Bruce, I.; Reiner, E.; Siegel, L.; Khan, S. "Evolution of the Digital Revolution: a Radiologist Perspective". *Journal of Digital Imaging*, 16, nº4 (diciembre 2003), pp. 324-330.
- Brusquetas, R. *Técnicas y materiales de la pintura española en los siglo de oro*. Madrid: Fundación de Apoyo a la Historia del Arte Hispánico, 2002.
- Calvo, A. *Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos De la A a la Z*. Barcelona: Del Serbal, 2003.
- Calzado, A.; Geleijns, J. "Tomografía computarizada. Evolución, principios técnicos y aplicaciones". *Revista de Física Médica*, 11, nº 3 (diciembre 2010), pp.163-180.
- Caneva, G.; Nugari, M. P, Salvadori, O. *La biología en la restauración*. Hondarribia: Nerea, 2000.
- Cañizares, L. «Antecedentes históricos en la investigación de las esculturas ligeras en cartapesta y papelón. Conservación, restauración y puesta en valor del Cristo crucificado de la ermita de Santa Ana. En Caudete. Albacete». Tesis de master, 2013. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2014. Consultado el 12 de septiembre de 2014.
<http://hdl.handle.net/10251/37591>.
- Carlton, R.; Adler, A. *Principles of Radiographic Imaging: an Art and a Scienci*. New York: Delmar, Cengage Learning, 2013.
- Carreras, R. *Cómo conocer la estructura de la madera*. Manual teórico-práctico. Valencia: Martín editores, 1998.

- Carretero, J. M.; García, R.; Juez, L.; Rodríguez, L.; Santos, E. "La tomografía axial computarizada (TAC) y su utilidad para el estudio, conservación y difusión del Patrimonio Paleontológico. Algunos ejemplos de la Sierra de Atapuerca". En, *La Ciencia y el Arte II. Ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico*. Madrid: Ministerio de Cultura. Secretaria General Técnica. Subdirección General de Publicaciones, Información y Documentación, 2010, pp.196-204.
- Cennini, C. *El Libro del Arte*. Valladolid: Maxtor, 2008.
- Corbo, D. "Tomografía axial computada" En actas, *XIII Seminario de ingeniería biomédica, Facultad de medicina e ingeniería*. Universidad de la República Oriental del Uruguay, 2004. Consultado el 10 de septiembre 2014.
<http://www.nib.fmed.edu.uy/Corbo.pdf>.
- Coulam, C. M.; Erickson, J. J.; Rollo, F. D.; James, A. E. *The Physical Basis of Medical Imaging*. New York: Appleton-Century-Crofts, 1981.
- Delgado, C.; Martínez, C.; Trinidad, C. "La tomografía computarizada de doble energía: ¿para que la quiero?". *Radiología*, 55, nº 4 (julio-agosto 2013), pp. 346-352. Consultado el 20 de septiembre de 2014.
<http://www.elsevier.es/es-revista-radiologia-119-articulo-la-tomografia-computarizada-doble-energia-90208015>.
- Doerner, M. *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*. Barcelona: Reverté, 1991.
- Egido, M del.; Juanes, D.; Bueso, M. "Consideraciones en torno a los estudios científicos aplicados a la conservación del patrimonio Cultural". En, *La Ciencia y el Arte IV. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio*. Madrid: Ministerio de Cultura. Secretaria General Técnica. Subdirección General de Publicaciones, Información y Documentación, 2013, pp.7-23.
- Esteban, M.; Arriaga, F.; Íñiguez, G.; Bobadilla, I.; Mateo, R. "Influencia de las fendas en la resistencia de la madera estructural". *Materiales de construcción*, 60, nº 299 (julio-septiembre 2010), pp. 115-132. Consultado 10 de enero de 2015.
<http://materconstrucc.revista.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/213/259>.
- Ferraza, L.; Juanes, D.; Orihuel, M. "A Case Study: the Virgin of the Immaculate Conception". En actas, *Polychrome Sculpture: Artistic Tradition and Construction Techniques*, Glasgow 13-14 de abril de 2012. Glasgow: K. Seymour, ICOM-CC, 2012, pp. 113-119.
- García, L.; Guindeo, A.; Peraza, C.; De Palacios, P. *La anatomía de la madera. Anomalías y defectos, estructura microscópica de coníferas y frondosas, identificación de maderas, descripción de especies y pared celular*. Madrid: Mundi-Prensa, 2003.

- García, P. *Principios técnicos de la tomografía axial computerizada*. La Habana: Ciencias Médicas, 2008.
- García, R. *La historia y las generaciones de la Tomografía computerizada*. Lima : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2014. Consultado el 17 de septiembre de 2014.
http://issuu.com/ivangz/docs/la_historia_de_la_tomografia_y_sus_generaciones.
- Gaurico, P. *Sobre la escultura*. Madrid: Akal, 1989.
- Gómez, M. L. *La restauración. Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*. Madrid: Cátedra, 2000.
- Gómez, M. ; Gómez, T. "Diagnóstico y metodología de la restauración en la escultura policromada". *Arbor*, 169, nº 667-668 (julio-agosto 2001), pp. 613-644.
- González, J. *Manual práctico de tomografía*. Ed. Javier González Vásquez, 2011. Consultado el 14 de octubre de 2014.
http://www.academia.edu/10780497/Manual_practico_de_tomografia.
- González, M. J. "Metodología de estudio y criterios de intervención en escultura policromada en el IAPH (II)". *PH*, 12, (septiembre 1995), pp. 44-49.
- Gordillo, I.; Matute, J. A. "TC helicoidal-3D y endoscopia virtual en la patología de la vía aérea pediátrica". *Anales de la pediatría continuada*, 3, nº 4 (julio 2005), pp. 262-265. Consultado 5 de mayo 2014.
http://apps.elsevier.es/watermark/ctl_servlet?_f=10&pident_articulo=80000140&pident_usuario=0&pcontactid=&pident_revista=51&ty=13&accion=L&origen=apccontinuada&web=www.apcontinuada.com&lan=es&fichero=v3n4a140pdf001.pdf.
- Grañán, C. *Técnicas y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*. Sevilla: Universidad de Sevilla. Secretariado de publicaciones, 1999.
- Guerola, V. "Tomografía axial computerizada aplicada al análisis de escultura". En *actas, XV Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*, Murcia 21-24 de octubre de 2004. Murcia: Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Consejería de Educación y Cultura, 2006, pp. 995-1000.
- Guerola, V.; Gironés, I.; Esteban, E. "Tomografía axial computerizada (TAC) y de multicorte (TCM) como sistema analítico aplicado a la exploración de obras de arte". En *actas, 16Th International Meeting on Heritage Conservation*, Valencia 2-4 de noviembre de 2006. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2006, pp. 499-513.

- Hernández, C. «El MDF como material escultórico. Estudio analítico, técnico, estructural y comparativo del conglomerado de madera de fibras de densidad media». Tesis doctoral, 2012. Granada: Universidad de Granada, 2013. Consultado el 2 de enero de 2015.
<http://hdl.handle.net/10481/23991>.
- Hofer, M. *Manual práctico de TC. Introducción a la TC*. Madrid: Panamericana, 2015.
- Hubell, J. H.; Seltzer, S. M. "Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients" (versión 1.4). *NIST Standard Reference Database, 126* (julio 2004). Consultado el 10 de agosto de 2014.
<http://physics.nist.gov/xaamdi>.
- Illerhaus, B.; Staude, A, Meinel, D. "Non Destructive Insights into Composition of the Sculpture of Egyptian Queen Nefertiti with CT and the Dependence of Objets Surface from Image Processing". Consultado el 15 de abril de 2015.
<http://www.ndt.net/article/ndtnet/2009/illerhaus.pdf>.
- Juanes, D. "La tomografía axial computerizada. Estudio de escultura de madera". En, *La Ciencia y el Arte II. Ciencias experimentales y conservación del Patrimonio Histórico*. Madrid: Ministerio de Cultura. Secretaria General Técnica. Subdirección General de Publicaciones, Información y Documentación, 2010, pp. 32-43.
- Juanes, D.; Ferraza, L. "Computed Tomography Studies Applied to Polychromed Sculpture: The Making Process in Three Different Times". En, Ioannides, M.; Frisch, D.; Leissner, J.; Davies, R.; Remondino, F.; Caffo, R. *Progress in Cultural Heritage Preservation*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012, pp. 884-893.
- Juanes, D.; Ferraza, L. "Estudio de objetos de patrimonio mediante tomografía axial computerizada". En actas, *VIII Congreso Internacional. ARPA 2012. Innovación en el patrimonio*, Valladolid 24-27 mayo 2012. Valladolid: Junta de Castilla y León. Consejería de Cultura y Turismo, 2013, pp. 150-162.
- Juanes, D.; Ferraza, L.; Ahicart, D. "La tomografía axial computerizada aplicada al estudio de escultura de madera policromada". *Revista AEND*, nº 63 (2º trimestre 2013), pp. 16-25.
- Juanes, D.; Ferraza, L.; Ahicart, D. "Estudio mediante tomografía computerizada aplicada a la intervención y conservación de la *Virgen del Llosar*." *Revista AEND*, nº 68 (3er trimestre 2014), pp. 22-29.
- Juanes, D.; Juárez, P. "Aplicaciones de los estudios TC a la recuperación de la talla original y la antigua policromía de la *Virgen de las Batallas*". En, *La Ciencia y el arte III. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio*. Madrid:

- Ministerio de Cultura. Secretaria General Técnica. Subdirección General de Publicaciones, Información y Documentación, 2011, pp. 239-252.
- Juanes, D.; Martínez, R.; Ferrazza, L.; Sarrió, F. "Estudio mediante TC aplicado a la intervención de la Virgen *Santa María de Carlet*". En actas, *13º Congreso Nacional de Ensayos No Destructivos*, editado por J. M. Gallardo, Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla, Sevilla 6-8 de mayo de 2015. Sevilla: Asociación Española de Ensayos No Destructivos, 2015, pp. 711-719.
- Lang, J.; Middleton, A. "Radiography of Cultural Material". *Studies in Conservation*, 45, nº 2 (2000), pp. 141-143. Consultado el 6 de mayo de 2014.
<http://www.jstor.org/stable/1506673>
- Ledo, A.; González, Y. "Módulo de reconstrucción multiplanar para estudios de tomografía axial computarizada". En actas, *IX Congreso Internacional de Informática en Salud*. La Habana 18-22 de marzo de 2013. Consultado 5 de mayo de 2014.
<http://www.informatica2013.sld.cu/index.php/informaticasalud/2013/paper/viewFile/242/128>.
- Llagostera, E. "Estudio radiológico de las momias egipcias del Museo arqueológico Nacional de Madrid". En, *La Ciencia y el Arte IV. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio*. Madrid: Ministerio de Cultura. Secretaria General Técnica. Subdirección General de Publicaciones, 2012, pp. 26-47.
- Maltese, C. *Las técnicas artísticas*. Madrid: Cátedra, 2006.
- Marcos, J. A. «Escultura policromada y su técnica en Castilla: siglos XVI-XVII». Tesis doctoral, 1999. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2003. Consultado 11 de enero de 2015.
<http://eprints.ucm.es/tesis/19972000/H/1/H1013701>.
- Mayer, R. *Materiales y técnicas del arte*. Madrid: Tursen/Hermann Blume, 1993.
- Mercier, E. "The Artisan Carver's Materials and Practices: Studying 13th 14th Century Mosan Sculptures". En actas, *Polychrome Sculpture: Tool Marks and Construction Techniques*, Maastricht 24-25 de octubre de 2010. Maastrich: Kate Seymour, ICOM-CC, 2010, pp. 14-26.
- Molina, C de. «Corrección del artefacto de endurecimiento de haz (beam hardening) para imágenes obtenidas con tomógrafo de rayos X de pequeños animales». Proyecto fin de carrera, 2012. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, 2012. Consultado el 20 de febrero de 2015.
<http://hdl.handle.net/10486/9637>.

- Mucchi, L.; Bertuzzi, A. *Nella Profondità Dei Dipinti. La Radiografia nell'indagine pittorica*. Milano: Electa, 1983.
- Pacheco, F. *El Arte de la Pintura*. Madrid: Cátedra, 2001.
- Peraza, F.; Arriaga, F.; Guindeo, A.; Garca L.; Kasner C.; Medina, G.; De Palacios P.; Touza, M. *Especies de maderas para carpintería, construcción y mobiliario*. Madrid: Palermo gráficas, 2004.
- Pianykh, O. *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)*. Berlín: Springer, 2012.
- Plowman, J. *Enciclopedia de las técnicas escultóricas*. Barcelona: Acanto, 1995.
- Remache, A. *Tecnología del corcho*. Madrid: Visión net, 2008.
- Rodríguez, F.; Broto, M.; Lizarralde, I. "Densidad normal de la madera de las principales especies forestales de castilla". Área I+D+i de Cesefor. Consultado el 10 de agosto de 2014.
http://www.researchgate.net/publication/242251164_Densidad_normal_de_la_madera_de_las_principales_especies_forestales_de_Castilla_y_Leon
- Rodríguez, L. "Los procedimientos técnicos en la escultura en madera policromada granadina," *Cuadernos de Arte. Universidad de Granada*, 40 (noviembre 2009), pp. 457-479.
- Rosset, A.; Spadola, L.; Ratib, O. "Osirix: an Open-Source Software for Navigating in Multidimensional DICOM Images". *Journal of Digital Imaging*, 17, nº 3 (septiembre 2004), pp. 205-216.
- Ruiz de Arcuete, E. "On the Trail of Select Group of Central European Reliquary Busts: Using Construction Typology for Authorship Attribution". En actas, *Polychrome Sculpture: Artistic Tradition and Construction Techniques*, Glasgow 13-14 de abril de 2012. Glasgow: Kate Seymour, ICOM-CC, 2012, pp. 86-93.
- Sierra, E.; Cienfuegos, R.; Fernández, G. "OsiriX, visor DICOM útil para procesar imágenes tomográficas de fracturas faciales". *Cirugía y cirujanos*, 77, nº 2 (marzo-abril 2009), pp. 95-99.
- Strouhal, E.; Kvalca, V.; Vyhanank, L. "Computed tomography of a Series Egyptian Mummified Heads". En *Science in Egiptology*. Manchester: Ann Rosalie David, 1986, pp. 123-140. Consultado el 20 de marzo de 2014.
https://books.google.es/books?id=jSTEAAAIAAJ&pg=PA123&lpg=PA123&dq=Computed+tomography+of+a+series+Egyptian+mummified+heads%E2%80%9D&source=bl&ots=qr65offA_s&sig=_19ylv6ZQfP39Zd_haZ85j442fE&hl=es&sa=X&ved=0CDYQ6AEwAmoVChMlxZ3Oq93bxwIVhG0UCh3vAvq#v=onepage&q=Computed%20tomography%20of%20a%20series%20Egyptian%20mummified%20heads%E2%80%9D&f=false

Travieso, J. M. "Escultura de papelón. Un recurso para el simulacro". *Atticus*, nº 4 (mayo 2011), pp. 9-30. Consultado el 10 de febrero de 2015.

<http://www.revistaatticus.es>.

Van Hauwermeiren, C. "The Technical Study of Romanesque and Gothic Sedes Sapientae from the Pyrenees-Orientales (France): a Methodological Approach". En *actas, Polychrome Sculpture: Tool Marks and Construcción Techniques*, Maastricht 24-25 de octubre de 2010. Maastrich: Kate Seymour, ICOM-CC, 2010, pp. 27-33.

Ugarte, J. C. *Manual de tomografía axial computarizada multicorte*. La Habana: CIMEQ, 2006. Consultado el 10 de mayo de 2014.

<http://es.slideshare.net/EduardoR5/manual-tomografia-axial-multicorte>.

Wittkower, R. *La escultura: procesos y principios*. Madrid: Alianza forma, 2010.

Zonneveld, F. W.; Spoor, C. F.; Wind, J. "The Use of the CT in the Study of the Internal Morphology of Hominid Fossils". *Medical Mundi*, 34, nº 3 (marzo 1989), pp. 117-128. Consultado 15 de marzo de 2014.

<http://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1364932>.

Tratados antiguos de interés para los restauradores de obras de arte. Recopilación y publicación en pagina web por Antonio Sánchez-Barriga. Consultado el 6 de septiembre de 2015.

<http://rd.springer.com/article/10.1007%2Fs00330-011-2062-1>.

Normas españolas para madera aserrada. Consultado el 10 de enero de 2015.

http://www.informadera.net/uploads/articulos/archivo_570_16457.pdf.

Coordenadas polares en el plano. Coordenadas cilíndricas y esféricas en el espacio. Consultado el 3 de septiembre de 2015.

<http://ocw.unican.es/ciencias-experimentales/analisis-de-varias-variables-reales/material-de-clase-2/coordenadas-w.pdf>.

Enlaces web

http://www.tecnicosradiologia.com/2013_07_01_archive.html. Consultado el 15 de enero de 2015.

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ct-internals.jpg>. Consultado el 15 de enero de 2015.

<http://es.slideshare.net/yinnaalejandralopezb/arquitectura-de-los-arboles-exposicion>. Consultado el 15 de enero de 2015.

<http://biologicalaguia.blogspot.com.es/2011/09/tipo-de-simetria.html>. Consultado el 15 de enero de 2015.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coordenadas_esf%C3%A9ricas_figura.svg. Consultado el 15 de enero de 2015

https://es.wiki2.org/wiki/Coordenadas_esf%C3%A9ricas#/media/File:File:Spherical_with_grid.svg. Consultado el 15 de enero de 2015



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



departamento
Conservación
Restauración
Bienes
Culturales



CULTURARTS
IVC+R



Servei de Conservació i Restauració
de Béns Culturals Diputació de Castelló



Consorcio Hospitalario
Provincial de Castellón