

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
MÁSTER EN CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BIENES CULTURALES**

**NUEVOS MÉTODOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE
FALTANTES CERÁMICOS. EL USO DE MATERIALES
ANÁLOGOS Y TECNOLOGÍA 3D PARA SU APLICACIÓN**

JULIO 2021

Alumna:

LEONOR LARA BONIFACIO SÁNCHEZ

Tutora:

DRA. ESTHER NEBOT DÍAZ

Tutor experimental:

RAÚL LEÓN MENDOZA



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

C R B C departamento
Conservación
Restauración
Bienes
Culturales

TRABAJO FIN DE MÁSTER
MÁSTER EN CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BIENES CULTURALES
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

NUEVOS MÉTODOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE FALTANTES
CERÁMICOS. EL USO DE MATERIALES ANÁLOGOS Y
TECNOLOGÍA 3D PARA SU APLICACIÓN

JULIO 2021

Alumna: LEONOR LARA BONIFACIO SÁNCHEZ

Tutora: DRA. ESTHER NEBOT DÍAZ

Tutor experimental: RAÚL LEÓN MENDOZA

RESUMEN

El presente Trabajo Final de Máster estudia la reintegración volumétrica mediante la tecnología de escaneo, modelado e impresión 3D en objetos artísticos y patrimoniales de cerámica. El objeto de estudio es un plato de mancerina de la Real Fábrica de Alcora perteneciente al estilo decorativo del Ramito, serie popular de finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, propiedad de una colección particular. Se realiza un breve repaso histórico y estilístico de la pieza, así como su caracterización; y se analiza el uso actual de las tecnologías 3D en la conservación y restauración del patrimonio.

Este trabajo de investigación se centra en la experimentación de distintos materiales, en los que las tecnologías 3D conforma un pilar fundamental para obtener la reconstrucción de faltantes cerámicos, con el fin de conseguir una reintegración volumétrica menos invasiva en su ejecución. Los materiales de estudio se han determinado según diversos criterios y se establece una comparativa en función de la viabilidad, la compatibilidad, el coste económico, la mínima manipulación del objeto intervenido y la responsabilidad medioambiental del proceso y del material empleado.

Los materiales seleccionados son: filamento de impresión 3D de ácido poliláctico (PLA), resina cerámica de impresión 3D y pasta cerámica de baja cocción con fórmula estipulada.

Para concluir, se establece un protocolo de ejecución que facilite la reproducción de esta metodología en futuras reintegraciones volumétricas de objetos cerámicos.

Palabras clave: *Conservación, restauración, reintegración volumétrica, cerámica, tecnología 3D*

RESUM

El present Treball Fin de Màster estudia la reintegració volumètrica mitjançant la tecnologia d'escaneig, modelatge i impressió 3D en objectes artístics i patrimonials de ceràmica. L'objecte d'estudi és un plat de mancerina de la Real Fàbrica de l'Alcora pertanyent a l'estil decoratiu "del Ramito", sèrie popular de finals del segle XVIII i principis del segle XIX, propietat d'una col·lecció particular. Es realitza un breu repàs històric i estilístic de la peça, així com la seua caracterització; i s'analitza l'ús actual de les tecnologies 3D en la conservació i restauració del patrimoni.

Aquest treball de recerca se centra en l'experimentació de diferents materials, en els quals les tecnologies 3D conformen un pilar fonamental per a obtindre la reconstrucció de faltants ceràmics, amb la finalitat d'aconseguir una reintegració volumètrica menys invasiva en la seua execució. Els materials d'estudi s'han determinat segons diversos criteris i s'estableix una comparativa en funció de la viabilitat, la compatibilitat, el cost econòmic, la mínima manipulació de l'objecte intervingut i la responsabilitat mediambiental del procés i del material emprat.

Els materials seleccionats són: filament d'impressió 3D d'àcid polilàctic (PLA), resina ceràmica d'impressió 3D i pasta ceràmica de baixa cocció amb fórmula estipulada.

Per a concloure, s'estableix un protocol d'execució que facilite la reproducció d'aquesta metodologia en futures reintegracions volumètriques d'objectes ceràmics.

Paraules clau: Conservació, restauració, reintegració volumètrica, ceràmica, tecnologia 3D

ABSTRACT

This Master's Thesis studies volumetric reintegration through scanning, modeling and 3D printing technology in artistic and patrimonial ceramic objects. The object of study is a mancerina plate from the Real Fábrica de Alcora belonging to the Ramito decorative style, a popular series from the late 18th and early 19th centuries, owned by a private collection. A brief historical and stylistic review of the piece is carried out, as well as its characterization; and the current use of 3D technologies in the conservation and restoration of heritage is analyzed.

This research work focuses on the experimentation of different materials, in which 3D technologies form a fundamental pillar to obtain the reconstruction of missing ceramics, in order to achieve a less invasive volumetric reintegration in their execution.

The study materials have been determined according to various criteria and a comparison is established based on viability, compatibility, economic cost, minimal manipulation of the intervened object and the environmental responsibility of the process and the material used. The selected materials are: polylactic acid (PLA) 3D printing filament, 3D printing ceramic resin and low-firing ceramic paste with a stipulated formula.

To conclude, an execution protocol is established to facilitate the reproduction of this methodology in future volumetric reintegrations of ceramic objects.

Keywords: *Conservation, restoration, volumetric reintegration, ceramics, 3D technology*

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVOS	7
METODOLOGÍA	8
CORPUS TEÓRICO	10
Capítulo I. Contexto histórico y estilístico	11
1.1. Introducción	11
1.2. Centro de producción: Real Fábrica de Alcora	11
1.3. Materias primas: Arcillas y pastas cerámicas	12
1.4. Análisis estilístico; De Ramito	13
Capítulo II. Criterios y protocolos actuales de intervención en piezas cerámicas	16
2.1. El contexto de las cerámicas artísticas como objetos de interés patrimonial	16
2.2. Criterios de intervención generales en piezas cerámicas contemporáneas	16
2.3. Anastilosis y reintegraciones volumétricas. Estado actual	17
2.3.1. Anastilosis	17
2.3.2. Reintegraciones volumétricas	17
Capítulo III. El apoyo de la tecnología 3D en la Conservación y Restauración	19
3.1. La inclusión de las tecnologías 3D en la conservación del patrimonio	19
3.2. Tecnologías 3D y su uso en Conservación y Restauración	19
3.2.1. Técnicas de digitalización para la documentación geométrica	19
3.2.2. El modelado 3D	22
3.2.3. La impresión 3D	24
CORPUS EXPERIMENTAL	26
Capítulo IV Reintegración volumétrica virtual	27
4.1. Documentación geométrica y modelado 3D	27
4.1.1. El escáner: funcionamiento y configuración	28
4.1.2. Escaneado de la mancerina	29
4.1.3. El software de modelado 3D Blender	31
4.1.4. Conformado de la reintegración volumétrica virtual	32
Capítulo V reintegración volumétrica material	34
5.1. Materiales experimentales de reconstrucción: descripción, composición y cambios dimensionales	34
5.1.1. Descripción de los materiales y composición	35
5.1.1.1. Resina de impresión 3D- Ceramic Resin de la marca Formlabs	35
5.1.1.2. Pasta cerámica para modelado -PA de la casa Sio-2	37
5.1.1.3. Filamento de impresión 3D PLA E.P de la casa SmartMaterials3D	38
5.1.1.4. Pasta original de la mancerina	39
5.1.2. Exámenes de cambios dimensionales: deformación y contracción	39
5.1.2.1. Exámenes de deformación en la resina de impresión 3D Ceramic Resin	39
5.1.2.2. Exámenes de contracción de la pasta cerámica PA	44
5.2. Conformado de las reintegraciones volumétricas matéricas	46
5.2.1. Las impresoras 3D empleadas en la reproducción del faltante	46
5.2.1.1. Impresión 3D por estereolitografía o SLA: Form 2	46
5.2.1.2. Impresión 3D por deposición fundida o FDM: Ender 3 Pro	47
5.2.2. Reintegración volumétrica con resina Ceramic Resin; Impresión 3D y cocción en horno	48
5.2.3. Reintegración volumétrica en filamento PLA E.P. Impresión 3D	51

5.2.4. Reintegración volumétrica en pasta cerámica PA. Impresión 3D, molde y cocción en horno	53
5.3. Resultados y discusión	54
5.3.1. Reintegración volumétrica en resina de impresión 3D Ceramic Resin	54
5.3.2. Reintegración volumétrica en filamento de impresión PLA E.P.	56
5.3.3. Reintegración volumétrica en pasta cerámica PA	58
Capítulo VI Redacción del protocolo	61
6. Protocolo de actuación para la realización de reintegración volumétrica de faltantes cerámicos	61
CONCLUSIONES	62
GLOSARIO	63
BIBLIOGRAFÍA	64
INDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICOS	67
ANEXOS	71

INTRODUCCIÓN

Las investigaciones realizadas en materia de conservación y restauración del patrimonio han proporcionado numerosas mejoras en la aplicación de los criterios de intervención. La mínima intervención, la compatibilidad con el material original y los procesos no invasivos son pilares fundamentales de la restauración moderna.

Las reintegraciones volumétricas son intervenciones que aportan estabilidad y unificación a piezas artísticas con faltantes. Actualmente, a pesar de los avances en los estudios de compatibilidad de materiales, estas intervenciones siguen siendo invasivas, si tenemos en cuenta las nuevas posibilidades.

Las nuevas tecnologías de escaneado, modelado e impresión 3D nos abren nuevos caminos en los que trabajar con modelos virtuales de los objetos a restaurar y experimentar con la aplicación de nuevos materiales, compatibles y aplicados con procesos no invasivos, en las restauraciones volumétricas.

En este trabajo se realiza un seguimiento de la intervención sobre una mancerina cerámica de la Real Fábrica de Alcora usando las nuevas tecnologías 3D; además se elabora un protocolo que sirva de guía en futuras intervenciones, se estudian nuevos materiales con el objetivo de encontrar aquél que nos permita una restauración menos invasiva de la pieza.

OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es establecer un protocolo para llevar a cabo la reintegración volumétrica de faltantes en una pieza cerámica mediante el uso de las tecnologías de escaneado, modelado e impresión 3D, empleando materiales análogos y compatibles, de manera que planteemos un proceso que pueda ser utilizado en otras reconstrucciones con características semejantes.

Los objetivos específicos de la investigación han sido:

- Definir los criterios de intervención actuales aplicados a piezas cerámicas.
- Estudiar el marco histórico y estilístico de nuestra mancerina cerámica como pieza de intervención.
- Recopilar y analizar el estado actual de intervenciones realizadas con apoyo de las tecnologías 3D.
- Generar una reintegración volumétrica no invasiva con el apoyo de las tecnologías de escaneo, modelado e impresión 3D.
- Definir los materiales empleados en la investigación con la ayuda de análisis fisicoquímicos complementarios y examinar sus respuestas dimensionales.
- Reproducir los modelos de reintegración volumétrica con los materiales experimentales y realizar una comparativa de éstos.
- Establecer las pautas para el seguimiento del protocolo generado tras la investigación.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este Trabajo Fin de Máster se ha programado una metodología que ha diseñado y acotado el contenido del estudio en función de los objetivos iniciales planteados. Se ha tenido en cuenta el alcance de la investigación, así como la carga lectiva que ocupa el desarrollo del Trabajo Fin de Máster en el plan de estudios.

Se han distinguido dos partes de estudio:

1. Corpus teórico:

La metodología del corpus teórico se ha sustentado por el estudio y el análisis de los diversos recursos bibliográficos y fuentes de información, por lo que se han establecido tres bloques principales:

- Se ha estudiado histórica y estilísticamente la pieza a intervenir. Se ha realizado una revisión histórica de la cerámica valenciana del siglo XVIII, especialmente la cerámica realizada en Alcora, provincia de Castellón. Se ha profundizado en el estudio histórico y evolución de uno de los objetos de menaje más característicos de Alcora, las mancerinas y en la serie estilística del ramito.

- Se han revisado y compilado los criterios actuales empleados en la restauración de piezas de loza decorada coetáneas al objeto de estudio y el estado actual de las intervenciones realizadas en materia de reintegración volumétrica. Esta recopilación se ha extraído de las distintas Cartas de conservación y restauración, la legislación vigente y las recomendaciones actuales del tema abordado.

- Se ha analizado el estado actual de las intervenciones realizadas con el apoyo de las tecnologías 3D para la reconstrucción de volúmenes faltantes en piezas patrimoniales, obtenidas de las últimas investigaciones y publicaciones.

2. Corpus experimental:

En la investigación experimental se han establecido cuatro fases de trabajo, basadas en la hipótesis planteada para obtener una reintegración volumétrica no invasiva durante su proceso de ejecución.

- Reintegración volumétrica virtual de la pieza.

En primer lugar, se han ejecutado las tareas que comprenden la reintegración volumétrica virtual de la pieza a intervenir. Para ello ha sido necesario obtener una digitalización del objeto, que se ha llevado a cabo mediante el escaneo 3D siguiendo la guía del fabricante del escáner, además de contar con el apoyo técnico y las recomendaciones técnicas para la digitalización geométrica de entidades patrimoniales descritas por el instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, la Carta de Londres para el uso de la visualización tridimensional de la investigación y divulgación del patrimonio cultural y los Principios de Sevilla, principios internacionales de la arqueología virtual. Seguidamente, el modelo obtenido se ha trasladado al software de modelado 3D, en el que se ha ejecutado el proceso de reconstrucción volumétrica digital, basado en los criterios de intervención actuales.

- Estudio y selección de materiales, exámenes dimensionales.

Se ha llevado a cabo un estudio de composición, comportamiento y compatibilidad de tres materiales empleados como materia de reconstrucción; una resina de impresión 3D, un filamento de impresión 3D y una pasta cerámica, que han sido seleccionados bajo el criterio de compatibilidad con el material original en cuanto a su composición. Las técnicas instrumentales empleadas para el estudio han sido: microscopía electrónica de barrido con microanálisis (SEM-EDX) y espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR). Asimismo, se han realizado exámenes dimensionales a los materiales de reconstrucción

que necesitan ser sometidos a procesos de producción que suponen cambios dimensionales, como son los ciclos de cocción.

- Reproducción de las reintegraciones volumétricas.

Tras obtener los resultados de los exámenes dimensionales realizados en materiales que son sometidos a procesos de cocción, se han realizado duplicados del modelo 3D de la reintegración digital, aplicando a cada copia la deformación porcentual obtenida en los resultados de los exámenes.

Para la resina de impresión 3D el proceso ha consistido en la impresión directa del objeto tras haber aplicado el índice de deformación obtenido. Por otro lado, para la obtención de la reintegración en pasta cerámica se ha impreso un modelo en filamento de impresión 3D con la contracción aplicada y a éste se le ha realizado un molde para la elaboración del positivo en esta pasta. Tras obtener las reintegraciones en ambos materiales se sometieron a los procesos de cocción correspondientes para finalizar su procesado.

Por último, se realizó la impresión 3D directa de la reintegración volumétrica en el material filamento de impresión.

- Comparación de reintegraciones volumétricas.

Una vez obtenidas las reproducciones con los distintos materiales se ha realizado una comparativa de los resultados obtenidos, con el fin de concluir cual o cuales han sido los materiales que han ofrecido un proceso y resultado más adecuado para obtener la reintegración volumétrica de la pieza cerámica.

Se ha establecido un protocolo que permita elaborar una reconstrucción volumétrica en piezas cerámicas tridimensionales de forma no invasiva.

CORPUS TEÓRICO



Capítulo I. Contexto histórico y estilístico

1.1. Introducción

La pieza, objeto de estudio que se emplea en la intervención y experimentación de nuevos materiales de reintegración volumétrica en este trabajo, es un plato de mancerina perteneciente a una colección privada¹. Este objeto se atribuye a la producción de la Real Fábrica de Alcora a finales del siglo XVIII o principios del siglo XX.



Figura 1. Plato de mancerina, Loza. Real Fábrica de Alcora, serie “del Ramito”. Colección privada. Fuente propia.

1.2. Centro de producción: Real Fábrica de Alcora

La Comunidad Valenciana es reconocida por su producción cerámica; que se remonta desde el periodo neolítico hasta la actualidad. Esta producción influenciada por numerosas civilizaciones aporta hasta nuestros días una extensa colección patrimonial.

La fundación de la Real Fábrica de Alcora en 1727 supuso la introducción de un modelo de rendimiento pionero en la producción de loza fina y porcelana, implantando los métodos de manufactura franceses². Ya entrada la segunda mitad del siglo, se produjo un incremento en la producción, motivado por el aumento en la demanda cerámica³ y su popularización. Además, se generaron nuevos talleres cerámicos debido a desacuerdos de los trabajadores y a su disidencia de la propia Real Fábrica⁴, estableciendo estos nuevos núcleos en Ribesalbes, Onda, Val de Cristo y en la propia Alcora; de este modo aumentó la

¹ En el Anexo 2. se incorpora una ficha técnica de la pieza.

² COLL CONESA, Jaume. *La cerámica valenciana: (apuntes para una síntesis)*. Asociación Valenciana de Cerámica, 2009. p. 178.

³ ESCRIVÁ DE ROMANÍ, Manuel. *Historia de la cerámica de Alcora: estudio crítico de la fábrica, recetas originales de sus más afamados artífices, antiguos reglamentos de la misma*. Fortanet, 1919. p. 113-114.

⁴ “Vicente Gómez y sus hijos, Nadal y Nebot, Joaquín Ferrer y Carnicer, Joaquín Ten y Mariano Causada fueron los nombres de los disidentes que, con Francisco Badenas, dieron momentánea celebridad a las que el Conde llamaba nuevas fabriquillas, ya por despecho, ya por castellanizar el nombre de fabriquetas, con que en el país se conocieron” ESCRIVÁ DE ROMANÍ, Manuela, 1919. Op. Cit. p. 114.

competencia de la Real Fábrica y la producción cerámica del territorio⁵. En 1788, tras la aparición de estos nuevos talleres, el Conde de Aranda⁶, con el apoyo del Corregidor de Castelló, instauró la aplicación de una marca cerámica para distinguir la producción de cada una de las fábricas⁷. Un año más tarde reclamó el cierre de la competencia, asegurando la readmisión de los trabajadores⁸. A pesar de esto la fábrica de Ribesalbes, a cargo de José Ferrer⁹, siguió en funcionamiento por estar fuera de la jurisdicción del Condado de Aranda, junto a otras fábricas distribuidas por la comunidad, que imitaban la producción y los estilos más reputados¹⁰.

1.3. Materias primas: Arcillas y pastas cerámicas

La Real Fábrica del Conde de Aranda, así como otros núcleos cerámicos en la Valencia del siglo XVIII, deben su ubicación al rico aprovisionamiento del entorno y sus riquezas naturales; minas de arcilla, accesibilidad al agua y provisión de leña¹¹ fueron los principales recursos por los que establecieron sus fábricas en los pueblos del perímetro noroeste de la ciudad de Castellón¹².

Según describe el Conde de Casal, basándose en un manuscrito perteneciente al archivo de la casa de Hijas, los materiales empleados en la fabricación de objetos cerámicos por parte de la Real Fábrica de Loza de Aranda fueron la Tierra del monte de San Cristóbal, la Tierra Roja de Olleros y la Piedra silícea de Alcora¹³. Acerca de estas tres arcillas, D. Pedro. M. Artiñano, en su análisis para el estudio de Escrivá de Romaní, presentó los siguientes resultados:

TABLA 1. COMPOSICIÓN DE MATERIALES EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE OBJETOS CERÁMICOS POR PARTE DE LA REAL FÁBRICA DE ALCORA

	Tierras del monte de San Cristóbal	Tierra roja de Olleros	Piedra silícea de Alcora
Humedad	3.34	2.54	0.71
Pérdida por calcinación	13.64	7.10	1.81
Ácido silícico Si O ₂	50.25	69.99	84.10
Alúmina Al ₂ O ₃	18.80	14.32	10.55
Óxido de hierro Fe ₂ O ₃	5.20	2.36	1.13
Óxido de calcio CaO	9.81	1.81	2.33
Óxido de potasio K ₂ O	1.81	0.76	-
Magnesia MgO	-	0.45	0.32
Otros álcalis	-	1.41	-

Tabla 1. Resultados de los análisis realizados a las tierras empleadas para la fabricación de cerámica por la Real Fábrica del Alcora. Fuente: ESCRIVÁ DE ROMANÍ, 1919.

⁵ COLL CONESA, Jaume, 2009. Op. Cit. p.163

⁶ Pedro Pablo de Abarca de Bolea. X Conde de Aranda, hijo del fundador de la Real Fábrica de Alcora.

⁷ ESCRIVÁ DE ROMANÍ, Manuel, 1919. Op. Cit. P 115

⁸ COLL CONESA, Jaume, 2009. Coll Op. Cit. p.213

⁹ “[...]pintor de profesión, dotado de luces para cuanto quiere emprender, el cual por sí sólo concibió y ejecutó una fábrica semejante a la de Alcora [...]” ESCRIVÁ DE ROMANÍ, Manuel, 1919. Op. Cit. p. 114

¹⁰ COLL CONESA, Jaume, 2009. Coll Op. Cit. p.195

¹¹ MADDOZ E IBAÑEZ, Pascual. *Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de Alicante, Castellón y Valencia, Tomo I*. Valencia: Edicions Alfons el Magnànim, Institució Valenciana d’estudis i Investigació, 1987. p. 40

¹² NEBOT DIAZ, E. *Estudio y análisis de la obra de Joseph Ferrer Almiñana. La manufactura de loza durante los siglos XVIII Y XIX en la localidad de Ribesalbes (Castellón). Caracterización arqueométrica*. Bernal Navarro, J.C; Nebot Diaz, I; Collado Lozano, M (dir). Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València, 2014. p. 170.

¹³ ESCRIVÁ DE ROMANÍ, Manuel, 1919. Op. Cit. p 33

Por otro lado, Esther Nebot Díaz¹⁴ en su tesis sobre Joseph Ferrer y la loza decorada de Ribesalbes, nos ofrece al respecto los análisis por dispersión de energías de rayos-X realizados en distintos testares de Alcora.

TABLA 2. RESULTADO DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS EN DISTINTOS TESTARES DE ALCORA

	T02	T03	T19	T21	T24
MgO	4.44	4.59	2.18	2.75	3.27
Al ₂ O ₃	14.44	16.52	15.82	21.09	17.6
SiO ₂	34.38	41.67	38.71	44.50	47.54
K ₂ O	3.38	2.34	4.04	2.20	6.7
CaO	32.89	28.59	28.59	25.57	19.4
TiO ₂	0.72	0.82	0.72	0.68	0.8
Fe ₂ O ₃	9.76	5.02	6.50	2.59	4.0
Na ₂ O	-	0.46	0.30	0.62	0.56
PbO	-	-	2.34	-	-

Tabla 2. Resultado de los análisis realizados en distintos testares de Alcora. Fuente: NEBOT DÍAZ, E, 2014.

Además, para la restauración de la escultura policromada del busto cerámico del conde de Aranda, se realizaron los análisis mediante SEM-EDX a una muestra de la pasta extraída del busto, aportando el siguiente espectro¹⁵.

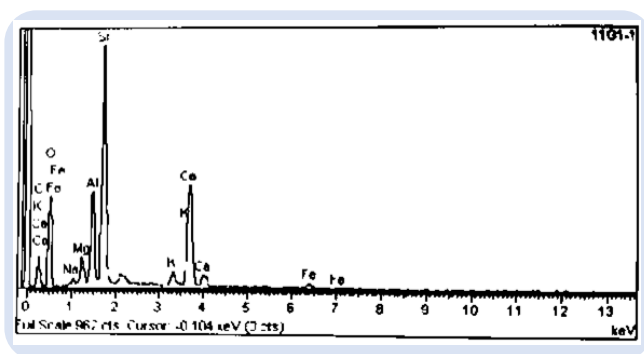


Figura 2. Espectro resultado del análisis de la pasta cerámica realizado al busto cerámico del conde de Aranda. Fuente: THSA, 2005.

Gracias a todas las investigaciones realizadas a piezas de la Real Fábrica, se puede caracterizar e ir conociendo más la composición de su pasta.

1.4. Análisis estilístico. Serie del Ramito

Las mancerinas, son piezas de menaje, elementos de vajilla o ajuar de mesa, en las que se servía el chocolate o el café, permitiendo a los comensales degustar las bebidas calientes sin necesidad de tocar el vaso o jícara, asimismo, el plato servía para portar los dulces. Su nombre proviene de su creador, se le atribuye al Marqués de Mancera, Pedro de Toledo y Leiva, Virrey de Perú (1639-1648)¹⁶, como diminutivo de su título nobiliario.

Los primeros ejemplares fueron en plata u otros metales, posteriormente pasaron a ser fabricados en cerámica, siendo la fábrica del Conde de Aranda el primer centro de España y posiblemente de Europa

¹⁴ NEBOT DIAZ, Esther, 201. Op. Cit. p.275.

¹⁵ PITARCH, A. J; MCQUADE, M.C. *Colección de cerámica de Alcora: The Hispanic Society of America: [exposición]*. Morella (Castellón): Fundación Blasco de Alagón, 2005. p. 114

¹⁶ MARZINOT, Federico. *Ceramica e cioccolato tra vecchio e nuovo Mondo*. Libri, atti e raccolte di saggi, 2006. p. 401-412.

que lo produjo. Las mancerinas son unas de las piezas de Alcora más afamadas y que más popularidad alcanzaron. Inicialmente fueron elementos de distinción y se difundieron rápidamente a través de todos los estratos sociales, desde las clases más altas a las más populares, simplificando los estilos decorativos. Se pueden encontrar con distintas morfologías, redondas, en forma de paloma, de pámpano, o de venera o concha, siendo estas últimas una renovación de la Real Fábrica y las más características¹⁷.

Su producción ha sufrido cambios estilísticos debido a las diferentes modas del momento, por lo que sus formas y decoraciones han ido cambiando rápidamente. Dado que la aparición de una nueva serie estilística no interrumpía la producción de las anteriores, es posible estimar una cronología aproximada de partida de cada estilo, pero no una fecha concreta para el final de su producción.

La pieza objeto de estudio, una mancerina con forma de venera tiene un estilo decorativo perteneciente a la serie del Ramito, uno de los estilos más populares en las decoraciones cerámicas de la Fábrica, introducido en torno a 1770. Debido a su popularidad¹⁸ fue muy imitado por otros núcleos cerámicos cercanos y no tan cercanos, como Talavera. Se conocen ejemplares de esta decoración al menos hasta finales del siglo XVIII.



Figura 3. Detalle de la pintura “El cacharrero” de Goya, vajilla de estilo del Ramito. Fuente: Museo del Prado.

Figura 4. “El cacharrero” Goya. Fuente: Museo del Prado.

Este estilo, original de Alcora, consta de una decoración floral simple y destacada por el uso de pequeñas flores, frutas, hojas y ramilletes, dispuestos de formas aisladas con diversos tamaños, suele encontrarse una disposición central aislada y pequeños detalles en los bordes o formando orlas. Podemos encontrar

¹⁷ PITARCH, A. J.; MCQUADE, M.C, 2005 Op. Cit. p 154

¹⁸La popularidad de este estilo se extendió hasta tal punto que lo podemos ver plasmado por Goya en su obra “El Cacharrero” (figura 3 y 4), añadiéndole la denominación “Cacharrero” a este tipo de ornamento a la ya conocida serie de Ramito.

mancerinas con este estilo decorativo ornamentadas con diferentes composiciones; desde decoraciones más completas (figura 5) hasta otras más austeras (figuras 6 y 7), reflejo de sus dos variantes¹⁹. La cromática habitual empleada es: amarillos, pardos, azules y verdes.

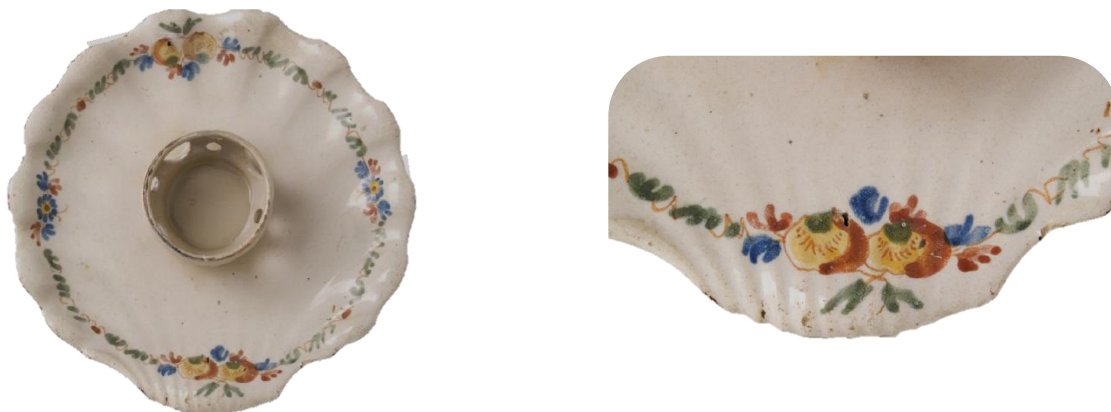


Figura 5. Mancerina original perteneciente al Museo de cerámica de Alcora. Fuente: CERES.



Figura 6. Mancerina perteneciente al Museo Nacional de Cerámica y Artes Suntuarias González Martín. Fuente: CERES.

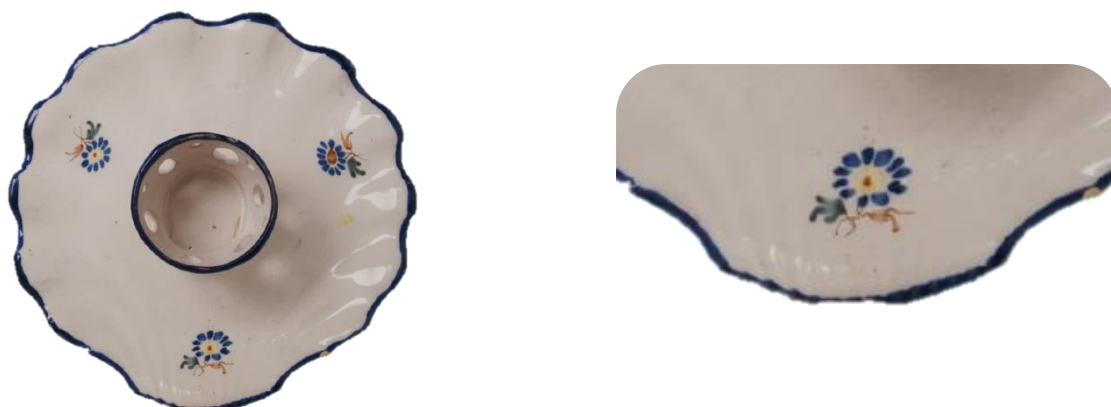


Figura 7. Mancerina original perteneciente al Museo de cerámica de Alcora. Fuente: CERES.

¹⁹ COLL CONESA, Jaume, 2009. Op. Cit. p 191

Capítulo II. Criterios y protocolos actuales de intervención en piezas cerámicas

2.1. El contexto de las cerámicas artísticas como objetos de interés patrimonial

En la actualidad, los conservadores restauradores rigen sus intervenciones en base a los criterios descritos en la legislación estatal y autonómica, además de en las recomendaciones de numerosas instituciones a nivel autonómico, nacional y mundial. Ya en la Carta del Restauo de 1972 se menciona por primera vez a “las expresiones figurativas de las culturas populares y del arte contemporáneo”²⁰, pero no es hasta 1978, en las Recomendaciones sobre Protección de los Bienes Culturales Muebles redactadas por la UNESCO, cuando se describe el interés por el material cerámico por sí mismo, separándolo de un contexto arqueológico²¹.

Todos los criterios y recomendaciones descritos hasta la publicación de 1978 hacen clara mención a objetos arqueológicos, postergando la inclusión de los objetos cerámicos de interés artístico, como son las piezas cerámicas contemporánea. Esto no quiere decir que, para entonces las piezas cerámicas con interés artístico, y no arqueológico, fueran rehusadas de su conservación, pero su inclusión en este listado destaca la preocupación y salvaguarda por los objetos cerámicos no arqueológicos.

2.2. Criterios de intervención generales en piezas cerámicas artísticas

Los criterios recogidos en la antes mencionada Carta del Restauo de 1972, que de forma general redacta los principios fundamentales para la restauración de obras de arte, constituyen tres de los pilares fundamentales a tener en cuenta en los procesos de intervención actual; el respeto total de la obra, la discernibilidad de las intervenciones y su reversibilidad²². De una forma más ampliada, encontramos el “Decálogo de la Restauración. Criterios de Intervención en bienes muebles²³”, que acoge los principios y criterios principales extrapolables a cualquier tipología de bienes muebles. Este decálogo redactado por el Ministerio de Cultura se nutre de todas las cartas redactadas hasta la fecha, por lo que es una recopilación general sobre los criterios que hay que considerar a la hora de conservar o restaurar una obra de arte mueble, como es la cerámica artística. Las estrategias de prevención del deterioro, la conservación curativa, la investigación interdisciplinar, el principio de mínima intervención, las consolidaciones inocuas para los objetos, las limpiezas homogéneas y no destructivas, las reintegraciones discernibles y reversibles, la realización de informes, la ubicación original de la pieza y el seguimiento de las obras restauradas²⁴, son los principios cosechados en el decálogo.

Por otro lado, en la Ley del Patrimonio Histórico Español de 1985 encontramos el criterio de respeto al original, ampliando además el concepto a antiguas intervenciones de restauración²⁵. La decisión de

²⁰Artículo 1. Carta del Restauo de 1972.

“Todas las obras de arte de todas las épocas, en la acepción más amplia, que va desde los monumentos arquitectónicos a pinturas y esculturas -aunque sean fragmentos y desde el hallazgo paleolítico a las expresiones figurativas de las culturas populares y del arte contemporáneo, pertenecientes a cualquier persona o institución, con el fin de su salvaguardia y restauración, son objeto de las presentes instrucciones que llevan el nombre de “Carta del Restauo 1972”.

²¹ LUPIÓN ÁLVAREZ, J; ARJONILLA ÁLVAREZ, M. La cerámica aplicada en arquitectura: hacia una normalización de los criterios de intervención. En: *Ge-conservación*, 2010. vol. 1, p. 99-126

²² Artículo 7. Carta del Restauo de 1972.

²³ MINISTERIO DE CULTURA. Decálogo de la restauración. Criterios de intervención en bienes muebles, 2007.

²⁴ Ibid.

²⁵ Artículo 39.2, Título IV de la Ley 16/1985 del Patrimonio Histórico Español.

“Las restauraciones respetarán las aportaciones de todas las épocas existentes. La eliminación de alguna de ellas sólo se autorizará con carácter excepcional y siempre que los elementos a eliminar supongan una evidente degradación del bien y fuera necesaria para permitir una mejor interpretación histórica del mismo. Las partes suprimidas quedarán debidamente documentadas”.

mantener o no intervenciones antiguas está sujeta a su degradación o a mejorar su interpretación histórica, por lo que es un criterio imprescindible a la hora de intervenir piezas de tipología cerámica.

2.3. Anastilosis y reintegraciones volumétricas. Estado actual

2.3.1. Anastilosis

Los objetos cerámicos deteriorados llegan en muchas ocasiones fragmentados y en el peor de los casos con pérdidas del material original, debido a su fragilidad y baja ductilidad una vez cocido. Esto predispone al restaurador a realizar una anastilosis de la pieza, además de una posible reintegración volumétrica.

En montajes de piezas cerámicas desmembradas se siguen los criterios de respeto al original y de reversibilidad. Actualmente se realiza un protocolo de numeración de las piezas, el cual ayuda a identificar el orden, sentido y orientación de cada fragmento; dichos fragmentos se unen temporalmente con adhesivos de fácil reversibilidad; a este proceso se le denomina premontaje²⁶. Para las actuaciones de montaje definitivo hay que tener en cuenta una serie de características y establecer una metodología:

- Determinar las propiedades de la pasta cerámica y las dimensiones de la pieza, esto determinará la elección del adhesivo a emplear para el pegado.
- Realizar un estrato intermedio en la adhesión, para facilitar su reversibilidad.
- Crear un sistema de montaje ordenado ya establecido en el premontaje.
- La corrección de escalones producidas por la unión de las piezas.
- La limpieza de posibles rebabas producidos por la presión del adhesivo²⁷.

2.3.2. Reintegraciones volumétricas

Los tratamientos de reintegración volumétrica abarcan un amplio abanico de sistemas de ejecución además de la aplicabilidad de distintos criterios estéticos y técnicas de ejecución. La unanimidad de los criterios aplicados en reintegración volumétrica está marcada por el respeto al original, la reversibilidad, la discernibilidad y el uso de materiales compatibles²⁸. El conservador restaurador valorará si es necesaria la ejecución de una reconstrucción en base a si aporta una estabilidad al objeto o amplía su legibilidad. Estas valoraciones se llevarán a cabo siempre y cuando se tenga constancia de la forma primigenia de la pieza. Además, se establece no realizar reconstrucciones volumétricas si la pieza carece de menos de un 60% de su materia original²⁹.

El criterio estético en las intervenciones es marcado por el estado de conservación de la obra, por lo que el conservador restaurador valorará la estética final de la reconstrucción basándose en los criterios anteriormente mencionados. El aporte matérico que se lleva a cabo en una reconstrucción debe de ser

²⁶ CARRASCOSA MOLINER, Begoña. *Iniciación a la conservación y restauración de objetos cerámicos arqueológicos*, Valencia: Editorial UPV, 2006. p. 87

²⁷ CARRASCOSA MOLINER, Begoña. *La Conservación y Restauración de Objetos Cerámicos Arqueológicos*. Madrid: Editorial Tecnos, 2009. p 128-129.

²⁸ Artículo 7, Carta del Restauo de 1972.

1. Añadidos de partes en función estática o reintegraciones de pequeñas partes históricamente verificadas, llevadas a cabo según los casos o determinando de forma clara la periferia de las integraciones o bien adoptando material diferenciado aunque acorde, claramente distinguible a simple vista, en particular en los puntos de encuentro con las partes antiguas, que además deben ser marcadas y fechadas donde sea posible;

²⁹ CARRASCOSA MOLINER, Begoña, 2009. Op Cit p. 143.

siempre discernible del original, pudiendo ser total o parcial; de este modo existe una clasificación³⁰ en los criterios usados a la hora de una reconstrucción: la aplicación de materia queda enrasada con respecto al volumen de la pieza original (a nivel), la materia de reconstrucción es aplicada con leve desnivelado con respecto al volumen de la pieza (bajo nivel) o la superposición de la pieza³¹ o piezas originales sobre una estructura de soporte (bajo nivel estructural). Esto dependerá de la fragilidad de la pieza o los restos que queden de ella. Estos tres criterios son aplicables a objetos cerámicos artísticos y son compaginables con reintegraciones cromáticas para remarcar la discernibilidad.

Con respecto al criterio de elección del material para la reconstrucción se debe tener en cuenta la compatibilidad con el material original, una resistencia mecánica más débil, una mínima contrastación y la reversibilidad³².

Los criterios estéticos en las reconstrucciones volumétricas están totalmente vinculados a las reintegraciones cromáticas, pudiendo usarse materiales ya entonados con un cromatismo establecido por el propio objeto, siempre a bajo tono. Otra de las opciones es la entonación de la reconstrucción volumétrica una vez realizada.

Recapitulando, los criterios que se deben tener en cuenta para realizar una intervención en un objeto cerámico usando los criterios y protocolos actuales, se destaca:

- Las investigaciones interdisciplinares aportan conocimientos de los procesos de fabricación y materia de un objeto cerámico, contribuyendo a conocer la composición del material y facilitando la elección de los materiales afines para las intervenciones.
- El principio de mínima intervención es la base de toda ejecución.
- La remoción de antiguas intervenciones debe de ser valorada a juicio del bienestar de la obra y los criterios usados.
- La consolidación debe de ser inocua para el material constructivo de la pieza.
- Las limpiezas deben de ser homogéneas y no destructivas.
- Las reintegraciones se deben realizar de forma discernible, reversible y con los materiales más afines disponibles.

³⁰ BAEZA, E; MENÉNDEZ, S.; RODRIGO, A. *La reintegración en materiales paleontológicos. Criterios utilizados. Justificación y propuestas de intervención en el museo geominero. En La restauración en el siglo XXI: función, estética e imagen*, Madrid: Igme, 2009. p. 207-217.

³¹ PASÍES OVIEDO, Trinidad. Reconstrucciones desmontables como alternativa reversible en el proceso de reintegración de materiales arqueológicos. En: *Grupo Español de Conservación*, 2012. Nº 3. p.117-131 [Consultado el 13 de mayo de 2021] Disponible en: <http://www.ge-iic.com/ojs/index.php/revista/article/view/103>.

³² CARRASCOSA MOLINER, Begoña., 2009. Op. Cit., p 152.

Capítulo III. El apoyo de la tecnología 3D en la Conservación y Restauración

3.1. La inclusión de las tecnologías 3D en la conservación del patrimonio

La irrupción de la tecnología 3D en el campo de la investigación en patrimonio cultural y artísticos ha supuesto muchas facilidades en todas las disciplinas. Desde la acogida de estas tecnologías en esta área de investigación, han surgido numerosas preguntas debido a su complejidad; este hecho impulsó a la redacción de diversas cartas tanto a nivel internacional como nacional. En la Carta de Londres de 2009 se recogen los principios para la visualización computacional del patrimonio³³. En los Principios de Sevilla de 2011³⁴ se recalcan de una forma más específica y ampliada los aspectos sobre el modelado 3D, la anastilosis, las reconstrucciones y las restauraciones virtuales, incluyendo por primera vez estos términos de forma oficial, además de considerar la arqueología virtual un campo reconocido en la investigación. Por otro lado, esta clara preocupación ha sido igualmente plasmada por diversos organismos estatales a modo de recomendaciones, en las que se recopilan los mecanismos idóneos para la virtualización del patrimonio³⁵.

Hoy día se sigue investigando las posibilidades que estas tecnologías pueden aportar al campo de la conservación y restauración, es por ello por lo que quedan muchas cuestiones en el tintero; como el uso determinado de las herramientas de modelado 3D, el rol que están teniendo los sistemas de impresión 3D y la aparición de nuevos materiales vinculados a las impresoras, que pueden ser de gran interés a la hora de realizar reconstrucciones volumétricas.

3.2. Tecnologías 3D y su uso en Conservación y Restauración

La terminología diaria que usan los conservadores-restauradores está descrita en las cartas, la legislación y las recomendaciones, en términos de criterios de actuación; la documentación, la conservación y la restauración son los tres pilares fundamentales, que llevan consigo el repertorio de criterios antes analizados. Aunque no se hayan descrito criterios fundamentales para intervenciones realizadas mediante medios digitales, como es el caso de las tecnologías 3D, se puede extrapolar de manera aparente los criterios conocidos en el marco de las intervenciones tradicionales a las realizadas con el apoyo de estas tecnologías. Digitalización, modelado e impresión son las bases y o procedimientos fundamentales de estas tecnologías, con los que la conservación y la restauración se enriquece.

3.2.1 Técnicas de digitalización para la documentación geométrica

Con respecto a la digitalización de objetos patrimoniales, encontramos diversos métodos y herramientas de documentación geométrica como son la fotogrametría³⁶ y el escaneado 3D. Ambas herramientas usan

³³ CARTA DE LONDRES. *La carta de Londres para la visualización computarizada del patrimonio cultura*, 2009. [en línea] [consultado: 5 marzo 2021] Disponible en: www.londoncharter.org

³⁴ PRINCIPIOS DE SEVILLA. *Principios internacionales de Arqueología Virtual. Forum Internacional de Arqueología Virtual*. 2011.

³⁵ INSTITUTO ANDALUZ DE PATRIMONIO HISTÓRICO, CONSEJERÍA DE CULTURA, *Recomendaciones técnicas: Recomendaciones Técnicas para la documentación geométrica de entidades patrimoniales 07*, 2011. [en línea]. Andalucía: Junta de Andalucía. [Consultado en 6 de abril de 2021]. Disponible: https://www.iaph.es/export/sites/default/galerias/patrimonio-cultural/documentos/gestion-informacion/recomendaciones_tecnicas_documentacionm_geometrica.pdf

³⁶ La fotogrametría es una técnica analítica de rigor científico, recomendada para documentar y catalogar objetos y lugares patrimoniales por la UNESCO. BUILL POZUELO, Felipe. *Técnicas de levantamiento fotogramétrico de estructuras antiguas: ejemplo de las murallas de Barcelona y de Alepo*. En: *Actas del XXXIV Curset. Jornadas Internacionales sobre la intervención en el Patrimonio Arquitectónico, Fortificaciones, intervenciones en el patrimonio defensivo*, 2013. [en línea]. Ministerio de Educación, Política Social y Deporte. Subdirección General de Información y Publicaciones, pp. 81-86 [Consultado en 15 abril 2031] Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/17628>

tecnologías y métodos diferentes; la fotogrametría es “la técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto”³⁷. La evolución de esta técnica se ha manifestado con una ampliación en las tipologías de fotogrametría, cada una de ellas centrada en un estudio específico (gráfico 1).

Por otro lado, el escaneado 3D utiliza la luz para determinar mediciones, generando con éstas, en los softwares que incorporan, una nube de puntos tridimensional³⁸. Al igual que en la fotogrametría, existen diferentes sistemas dentro de los escaneados 3D aplicables a determinados estudios³⁹.

En los últimos años, encontramos numerosas publicaciones que usan estas técnicas de digitalización en sus investigaciones. Empresas pioneras en documentación geométrica, a nivel tanto nacional como internacional, han realizado la digitalización de numerosos enclaves y objetos patrimoniales con técnicas fotogramétricas y de escaneado 3D, como los registros realizados en la tumba de Tutankamón en 2009 (figura 8), en la dama de Elche para su posterior reproducción en 2016, o el escaneado 3D realizado a la anunciación de Fra Angelico en 2019; todos éstos ejecutados por Factum Arte⁴⁰. En cuanto a los últimos escaneos 3D de alta resolución tenemos el ejemplo del realizado a la Joven de la Perla de J. Vermeer por la empresa Hirox en 2020⁴¹(Figuras 9 y 10).

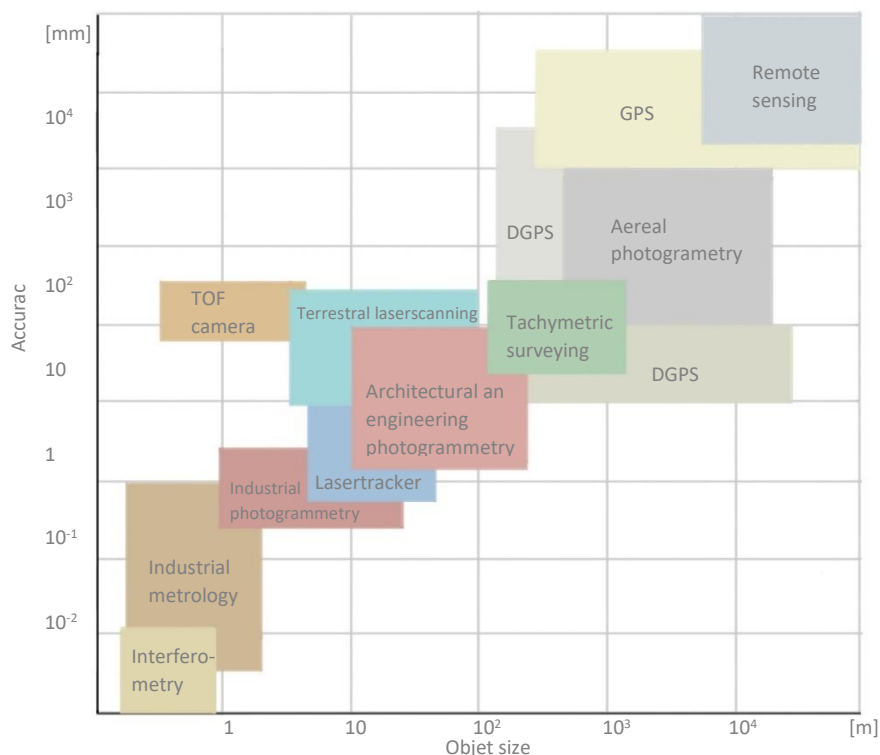


Gráfico 1. Gráfica comparativa de métodos de digitalización, los ejes hacen referencia al tamaño del objeto. Fuente: Luhmann, T, 2013.

³⁷ BONNEVAL, H.; CARBONNELL, M.; HOTTIER, P. *Photogrammétrie générale*, 1972.

³⁸ LERMA, J; BIOSCA, J. *Teoría y práctica del escaneado láser terrestre. Material de aprendizaje basado en aplicaciones prácticas. Preparado por el proyecto Herramientas de aprendizaje para el levantamiento tridimensional avanzado en la conciencia de riesgos (3DRiskMapping)*, 2008. vol. 5.

³⁹ GONZÁLEZ MUÑOZ, M. J.; et al. Uso de sistemas basados en escáner 3D para digitalización y estudio del patrimonio arqueológico. En: *Virtual Archaeology Review*, 2010. vol. 1, no 1, p. 99-102.

⁴⁰ FACTUM ARTE. *Digitalización en 3D para conservación del patrimonio cultural*, 2019. [en línea]. Factum Arte, 2019 [consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <http://www.factum-arte.com/pag/706/Digitalizaci3n-en-3D-para-conservaci3n-del-patrimonio-cultural>

⁴¹ HIROX EUROPE, 2020. [en línea] [consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <http://hirox-europe.com/PEARL/3D/>



Figura 8. Escaneado mediante luz estructurada en la tumba de Tutankamón. Fuente: FACTUM ARTE 2009.



Figura 9. Macrofotografía del modelo obtenido mediante escaneado 3D de alta resolución. Detalle de la perla de la pintura “La Joven de la Perla” de J. Vermeer. Fuente: Hirox 2020.

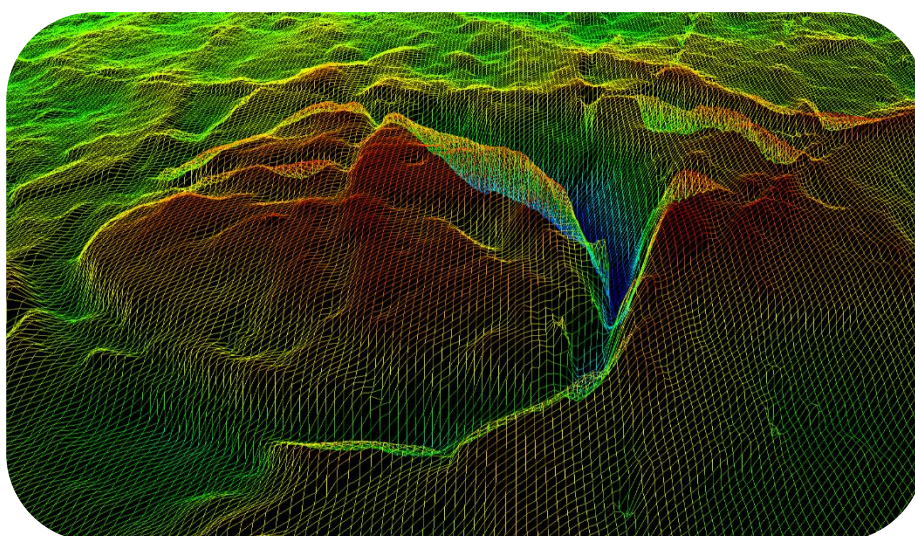


Figura 10. Malla obtenida mediante escaneado 3D de alta resolución. Detalle de la perla de la pintura “La Joven de la Perla” de J. Vermeer. Los tonos cálidos de la maya pertenecen a los levantamientos mientras que los tonos fríos a los hundimientos de la película pictórica. Fuente: Hirox 2020.

3.2.2. El modelado 3D

El modelado 3D “es el proceso de creación de una representación matemática de superficies utilizando geometría”⁴². Este proceso es realizado mediante un software CAD⁴³, el cual nos permiten generar objetos desde cero y trabajarlos, previamente digitalizados y exportados al software. De esta forma se pueden exportar modelos de objetos patrimoniales o artísticos digitalizados, sirviéndonos de las herramientas que tiene los softwares y usarlas para generar supuestos de restauración o probetas virtuales, mapeado de daños en formato tridimensional, anastilosis virtuales, recreaciones o el modelado 3D de reconstrucciones volumétricas y cromáticas. Esta herramienta permite la realización de supuestos y o ensayos de forma virtual de determinados tratamientos mediante un método no invasivo y sin contacto.

Del mismo modo que las investigaciones en patrimonio han acogido a las tecnologías de digitalización para la documentación geométrica, el modelado 3D sigue el mismo recorrido. Su inclusión como herramienta de investigación en patrimonio ha ayudado a generar un sinfín de posibilidades. Desde muy temprano se han utilizado para generar recreaciones de lugares arqueológicos, prueba de ello es el carácter investigativo en estudios arqueológicos y antropológicos que tienen y que ha suscitado a la realización de directrices con respecto a las recreaciones para determinar la Escala de Evidencia Histórico-arqueológica⁴⁴ en las reconstrucciones⁴⁵.

Investigaciones realizadas en los últimos años han usado el modelado 3D para generar reconstrucciones volumétricas⁴⁶, uno de los casos más relevantes fue el de la restauración realizada por el Opificio delle Pietre Dure (Centro de Restauración) de Florencia a la escultura de San Juan Bautista Niño de Miguel Ángel (figura 11), usando “la reconstrucción virtual en 3-D de la escultura completa basándose en fotografías tomadas poco antes de su destrucción”⁴⁷. También encontramos esta tecnología aplicada al campo de la arqueología, como en el caso de las reconstrucciones volumétricas en base al dibujo arqueológico⁴⁸ (figura 12). En compaginación con las técnicas de impresión 3D, tema abordado en el siguiente punto, podemos resaltar las facilidades de poder, gracias a la impresión, materializar estos objetos virtuales, un ejemplo de ello es el uso del modelado de reconstrucciones exportable a archivos imprimibles, el cual podemos ver ya implementado a piezas patrimoniales, que permiten desde el primer momento de la toma de datos realizar reconstrucciones (figura 13), tanto virtuales como tangibles de una forma no invasiva.

⁴² JORQUERA ORTEGA, Adam. *Fabricación digital: Introducción al modelado e impresión 3D*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2016. p. 16.

⁴³ CAD son las siglas abreviadas del inglés computer aided desing, hacen referencia a los diseños asistidos por computadora.

⁴⁴ La función de la escala de evidencia histórico-arqueológica es diferenciar los estratos representados en las reconstrucciones virtuales según su nivel de autenticidad mediante diferentes cromatismos.

⁴⁵ RESCO, P; FIGUEIREDO, C. El grado de evidencia histórico-arqueológica de las reconstrucciones virtuales: hacia una escala de representación gráfica. *En: Revista Otarq: Otras arqueologías*, 2017. [en línea] no 1, p. 235-247. [consultado: 29 marzo 2021] Disponible: <http://revistas.jasarqueologia.es/index.php/otarq/article/view/96>

⁴⁶ DÍAZ MARÍN, M. D. C; AURA CASTRO, E. Restauración de vidrio arqueológico: reconstrucción de fragmentos faltantes mediante modelado e impresión 3D. *En: 8th International congress on archaeology, computer graphics, cultural heritage and innovation*. Editorial Universitat Politècnica de València, 2016. pp. 330-332.

⁴⁷ MUSEO DEL PRADO. *La obra invitada: El San Juanito Recuperado. Una escultura de miguel Ángel en España*, 2015. [en línea] [consultado: 7 marzo 2021] Disponible: <https://www.museodelprado.es/actualidad/exposicion/la-obra-invitada-el-san-juanito-recuperado-una/4805976b-3be5-47fc-8535-15d04fa046f4>.

⁴⁸ ÁVILA RODRÍGUEZ, María. *Aplicación de la tecnología 3D a las técnicas de documentación, conservación y restauración de bienes culturales*. Santos Gomez, S; Bastir, M (dir.). Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 2019. p 399.



Figura 11. Escultura de San Juan Bautista Niño de Miguel Ángel. Fuente: Museo del Prado 2015.

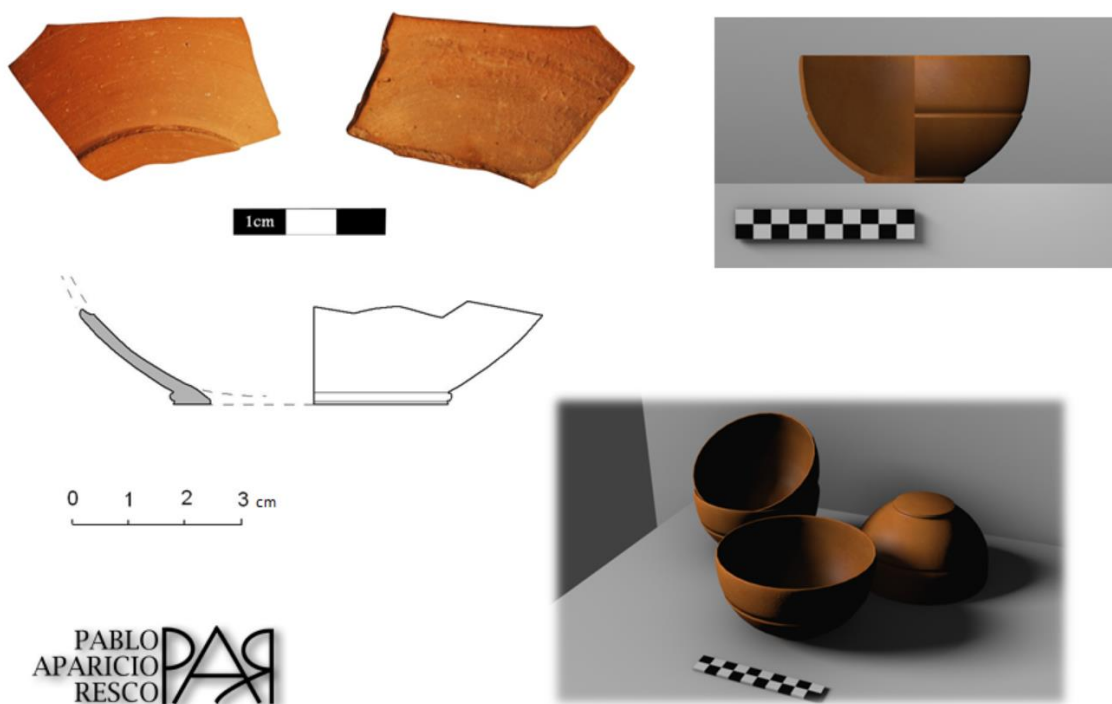


Figura 12. Fragmento, dibujo arqueológico y reconstrucción 3D (cuenco Mayet XXXIII). Fuente: APARICIO. P. 2013.

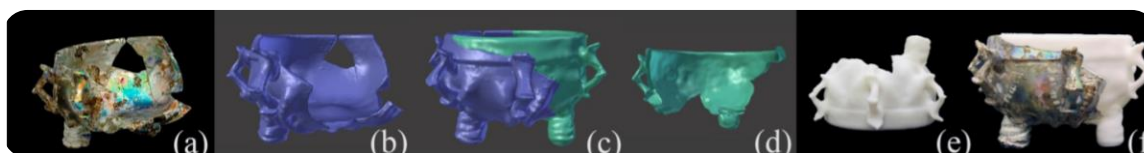


Figura 13. (a) objeto original, (b) modelo 3D del objeto, (c) modelo e implante 3D, (d) implante 3D, (e) Implante impreso y (f) objeto original con el implante. Fuente: DÍAZ, M. 2016.

3.2.3. La impresión 3D

Las impresoras 3D son hardware de impresión que crean objetos en base a un prototipo tanto virtual como real mediante la adhesión por capas de un determinado material. Existen dos tipos de impresoras; aditivas, que funcionan por deposición fundida o por estereolitografía; y las sustractivas, que utilizan el control numérico computarizado⁴⁹. Las aditivas nos permiten generar formas o geometrías más complejas, siendo las estereolitográficas más precisa. Estas se han usado en el campo del patrimonio facilitando el trabajo de los investigadores; ya sea para reproducir objetos patrimoniales y usarlos a modo de probetas, como para la realización de reintegraciones volumétricas en restauraciones o en reconstrucciones de uso educativo o difusivo⁵⁰.

Ejemplo de su uso en patrimonio lo vemos en las réplicas realizadas por la antes mencionada empresa y fundación Factum Arte, la cual utiliza en varios de sus facsímiles la tecnología de impresión 3D para su reproducción⁵¹ (figura14). También podemos ver el uso de estas tecnologías, además de su investigación, en la intervención realizada en un cuenco de vidrio arqueológico perteneciente al Museo de Cerámica de Manises (figura 15), el cual fue objeto de estudio en el implemento de materiales de impresión 3D para la reconstrucción de sus piezas faltantes⁵².



Figura 14. Facsímil de la campana de Cellini. Fuente: Factum Arte 2021.

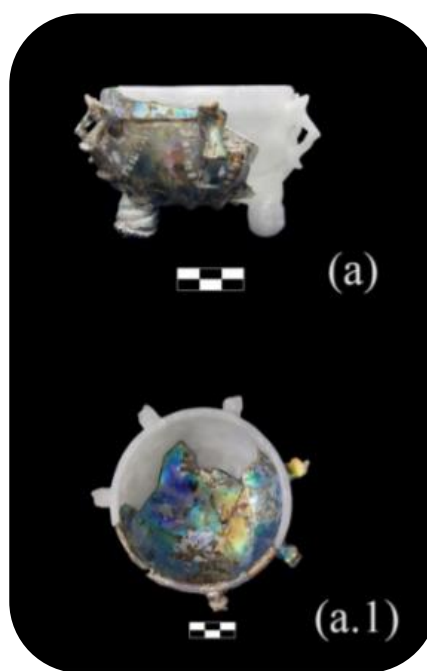


Figura 15. Reconstrucción volumétrica de faltante en cuenco de vidrio perteneciente al Museo de Cerámica de Manises. Fuente: DÍAZ, M. 2016.

⁴⁹ JORQUERA ORTEGA, Adam, 2016. Op. Cit. p. 8

⁵⁰ TORRE-CANTERO, J, et al. Creación de réplicas de patrimonio escultórico mediante reconstrucción 3D e impresoras 3D de bajo coste para uso en entornos educativos. *En: Arte, individuo y Sociedad*, 2015. nº 27. p. 3.

⁵¹ FACTUM ARTE. *Facsímil of the Dama de Elche*, 2016. [vídeo]. Recuperado de: <http://www.factum-arte.com/pag/47/Facsimile-of-the-Dama-De-Elche>

⁵² DÍAZ MARÍN, M. D. C; AURA CASTRO, E., 2016. p. 331.

La cantidad de investigaciones realizadas en torno al uso de las tecnologías 3D reflejan la preocupación por su inclusión en el campo de la conservación y restauración. Numerosas tesis que basan su investigación en estas tecnologías han sido publicadas en los últimos años para facilitar la comprensión y el acercamiento de estas a los conservadores restauradores. La versatilidad, rapidez y eficiencia de estas tecnologías han generado su acogimiento en el ámbito del patrimonio, siendo un campo de estudio que ha llegado para quedarse. Debido a este crecimiento es necesario crear unos criterios y principios de actuación para esta técnica y su correcta aplicación al patrimonio⁵³.

⁵³ MARTIN PIÑERO, B; MADRID GARCÍA, J; BACHILLER MARTÍN, C. Impresión 3D: aplicaciones en el patrimonio. En: *18ª Jornadas de Arte Contemporáneo*. Madrid: Museo Reina Sofía, 2017. p. 26-34.

CORPUS EXPERIMENTAL



Capítulo IV Reintegración volumétrica virtual

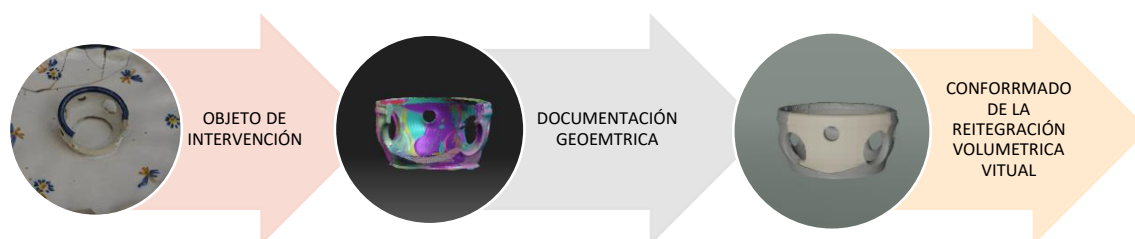
4.1. Documentación geométrica y modelado 3D

Generar la reintegración volumétrica virtual del fragmento faltante de la mancerina es un proceso que, desde el inicio, permite crear prototipos de reconstrucciones o implantes de un modo no invasivo. Para este método de trabajo es necesaria la digitalización del objeto; en este caso se ha usado un registro digital del plato de la mancerina mediante escaneado 3D por luz estructurada con un escáner de la marca David SLS-3 HD. Con el resultado del escaneo y el software de modelado 3D Blender se ha generado el fragmento virtual para la reconstrucción del faltante de la mancerina.

Los principios teóricos que definen estas nuevas formas de actuación han sido extraídos de la ya mencionada Carta de Londres, para el uso de la visualización tridimensional en la investigación y divulgación del patrimonio cultural; y de los Principios de Sevilla, principios internacionales de la arqueología virtual, fundamentales para el desarrollo de la visualización computacional⁵⁴ de objetos patrimoniales.

La elección de las herramientas empleadas para generar la documentación geométrica⁵⁵ y el modelado de la reintegración se ha basado en las Recomendaciones Técnicas para la Documentación Geométrica de Entidades Patrimoniales redactadas por el IAPH⁵⁶, y en los últimos estudios realizados con en el uso de las tecnologías 3D en objetos patrimoniales, como son las Tesis Doctorales de María del Carmen Díaz Marín⁵⁷ presentada en 2017 y la de María Ávila Rodríguez⁵⁸ en 2019. Por otro lado, los criterios aplicados en el proceso de reintegración volumétrica virtual han sido los descritos en el capítulo II de este trabajo.

Las fases realizadas en este apartado se desarrollan en:



A continuación, se describe el instrumental y funcionamiento del hardware y software del escáner 3D utilizado, los parámetros de uso para la documentación geométrica del plato de la mancerina y el proceso de reconstrucción volumétrica realizado con el software de modelado 3D, reseñando las herramientas empleadas.

⁵⁴ Proceso de representación gráfica de información con ayuda de las nuevas tecnologías.

⁵⁵ La documentación geométrica del patrimonio hace referencia a la documentación de objetos tridimensionales que, mediante determinadas técnicas de registro se obtienen la forma, dimensiones, medidas y posición en el espacio de un objeto patrimonial. VALLE MELÓN, José Manuel. *Documentación geométrica del patrimonio: propuesta conceptual y metodológica*. Felix Sanz, A (dir.). Tesis Doctoral. Universidad de la Rioja. 2007. p.43.

⁵⁶ INSTITUTO ANDALUZ DE PATRIMONIO HISTÓRICO, CONSEJERÍA DE CULTURA. 2011. Op. Cit.

⁵⁷ DÍAZ MARÍN, María del Carmen. *Desarrollo metodológico para la aplicación de técnicas de adquisición e impresión 3D en conservación y restauración de vidrio arqueológico, y caracterización de materiales relacionados con la fase de reconstrucción*. Aura Castro, E. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València. 2017.

⁵⁸ ÁVILA RODRÍGUEZ, María. 2019. Op. Cit.

4.1.1. El escáner: funcionamiento y configuración

Para la obtención del modelo geométrico de la mancerina se ha usado un escáner de luz estructurada David SLS-3 HD. Esta tipología de escáner utiliza el principio de triangulación⁵⁹. Se compone de un proyector y dos sensores (cámaras) (figura 16). El proyector emite un patrón de luz que incide sobre un objeto tridimensional y que es deformado al entrar en contacto con éste. Esta emisión es captada por los sensores que analizan la deformación del patrón, definiendo las medidas del objeto mediante un algoritmo⁶⁰. Este escáner tiene una resolución de hasta 0.05% del tamaño del objeto, equivalente a 0.04 mm y una precisión de 0.05%, equivalente a 0.08 mm; lo cual permite que las mallas generadas en cada escaneo tengan hasta 2,3 millones de vértices⁶¹.

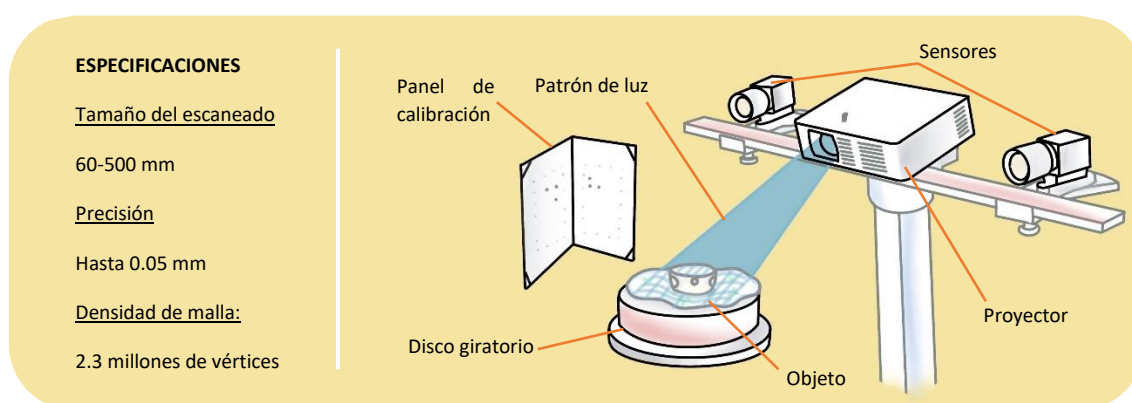


Figura 16. Croquis de la posición del objeto respecto al escáner 3D por luz estructurada. Fuente propia.

El escáner David SLS-3 HD ha sido configurado para el escaneado de objetos con una medida de 110mm, según las especificaciones del manual de usuario⁶². A continuación, se describen los parámetros utilizados en los hardware:

- Proyector HACER K123 HD LED (1280X800, A 60 Hz) posicionado en el nivel 9 de la guía
- Cámara izquierda posicionada a 31 cm de la guía, con un Angulo de 20º
- Cámara derecha posicionada a 324cm de la guía, con un ángulo de 25º
- Calibrado mediante panel de calibración de vidrio a 30mm y 60 mm
- Disco giratorio como accesorio complementario

⁵⁹ "La triangulación es un término originariamente usado en los círculos de navegación por tomar múltiples puntos de referencia para localizar una posición desconocida". ARIAS VALENCIA, María Mercedes. La triangulación metodológica: sus principios, alcances y limitaciones. En: *Investigación y educación en enfermería*. Valencia, 2000. vol. 18, no 1, p. 15.

⁶⁰ LÓPEZ ESCOGIDO, Daniel. *Escáner 3D de Alta Precisión*. De la Fraga, L. G (dir.). Tesis doctoral. Centro de investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México. 2016.

⁶¹ IAPH, 2011. Op. Cit p. 14.

⁶² David SLS-3. *Manual de usuario*. 2015. p. 65.

4.1.2. Escaneado de la mancerina

En primer lugar, se ha realizado un escaneo del volumen total del plato de la mancerina con los parámetros de calibración a 60mm. Este escaneo se realizó principalmente para obtener la documentación geométrica completa de la pieza, objetivo principal de una documentación virtual⁶³. Para ello se posicionó la pieza sobre el disco giratorio y se programó un total de 20 escaneos en los 360°. A continuación, se escanearon las perspectivas faltantes de las vistas superior e inferior con la ayuda de soportes, llegando a un total de 40 escaneos (figura 17).

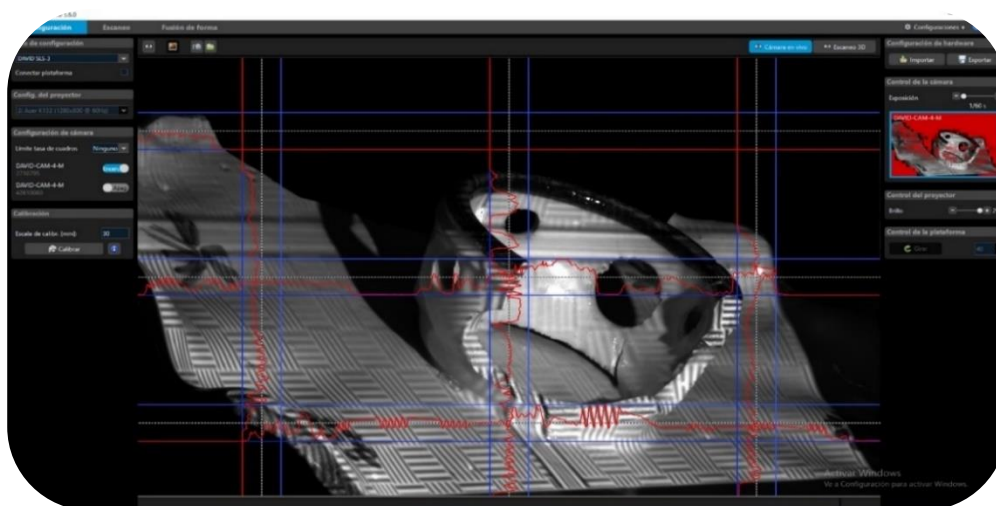


Figura 17. Visualización del software de escaneo. Fuente propia.

Para obtener un escaneado de más resolución del perímetro de la zona faltante, fundamental para definir la impronta de la rotura, se llevó a cabo una calibración del escáner a 30 mm, dando una precisión de 0.05mm en los escaneos (figura 18). Este escaneado precisa un acercamiento de la pieza muy próximo a los sensores del escáner por lo que se realizó de forma parcial a la parte del plato de la mancerina correspondiente al portajícara. Se llevó a cabo un total de 45 escaneos independientes (figura 19).

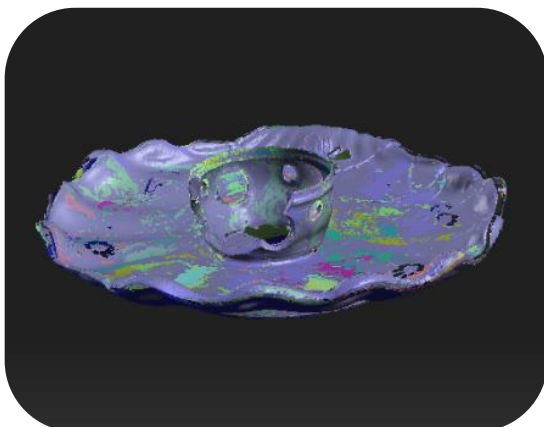


Figura 18. Mallas alineadas del escaneado total de la mancerina (escáner en calibración 60mm). Fuente propia.

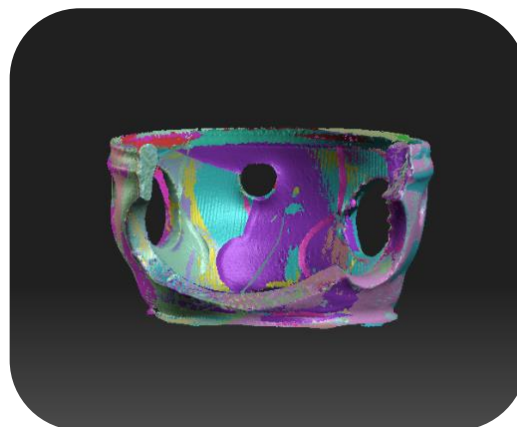


Figura 19. Mallas alineadas del escaneado parcial de la mancerina (escáner en calibración 30mm). Fuente propia.

⁶³ PRINCIPIOS DE SEVILLA 2011. Principio 5 Rigurosidad histórica

5.4 [...] Las nuevas técnicas como la fotogrametría o los escáneres láser pueden servir para aumentar la calidad de la documentación científica, ya que cuanto mejor sea la documentación del patrimonio arqueológico realizada mayor será rigurosidad histórica obtenida [...].

Las mallas generadas en los escaneos de los 360° fueron alineadas de forma automática con el software HP SCAN TRIAL 5 del escáner, utilizando la referencia que le aporta el disco giratorio; mediante la herramienta *alineación libre* implementada en el software, se alinearon manualmente los escaneos de las perspectivas que usaron soportes. Por otro lado, las mallas generadas por los escaneos independientes del portajícara también fueron alineadas de forma manual utilizando la herramienta *alineación libre*. Tras su alineación fueron sometidos a un post procesado para eliminar las aberraciones producidas. Por último, las mallas ya alineadas se fusionaron a una resolución de 0.029mm de separación entre vértices (figuras 20 y 21) y se exportaron a formato .OBJ⁶⁴ para su traslado al software de modelado 3D.

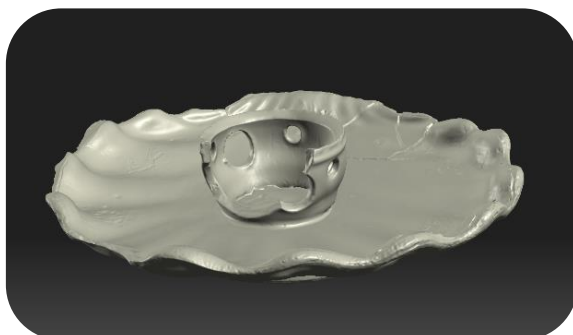


Figura 20. Fusión de las mallas del escaneo total de la mancerina (escáner en calibración 60mm). Fuente propia.

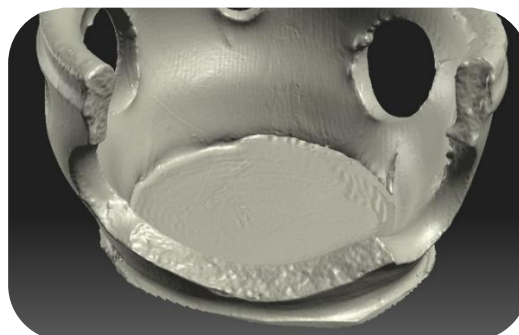


Figura 21. Fusión de las mallas del escaneo parcial de la mancerina (escáner en calibración 30mm). Fuente propia.

A continuación, se muestra los datos referentes de la fusión final de cada modelo obtenido en los dos escaneos:

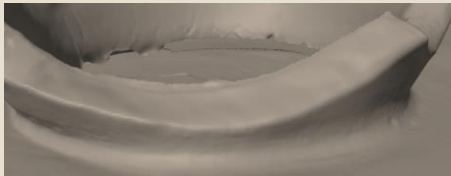
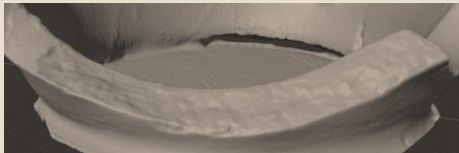
TABLA 3. DATOS DE FUSIÓN DE ESCANEOS				
Calibración y resolución	Escaneado	Numero de vértices.	Numero de caras	Imagen detalle de cada escaneado
Calibración: 60mm. Resolución: 0.1mm.	Escaneo total de la mancerina	3.975.571	7.910.066	
Calibración: 30mm. Resolución: 0.05mm.	Escaneo parcial de la mancerina	9.394.195	18.786.343	

Tabla 3. Datos referentes de la fusión de los escaneos. Fuente propia.

⁶⁴ Formato de archivo CAD que define la geometría de objetos 3D desarrollado por Wavefront Technologies.

4.1.3. El software de modelado 3D Blender

Tras la documentación geométrica de la pieza, proceso mostrado en el punto anterior, es necesario el uso de un software que permita el importado del archivo con extensión .OBJ y generar y modelar un nuevo objeto virtual a modo de reconstrucción volumétrica. En este caso el software Blender permite importar archivos con esta extensión, y generar nuevos modelos para implementarlos como reconstrucciones volumétricas a partir del modelado 3D. Blender es un programa multiplataforma gratuito y de código abierto.

Las especificaciones del software, que dividen su rendimiento dependiendo del PC que utilicemos, son visible en la siguiente tabla⁶⁵. La especificación OPTIMA es la más apropiada para trabajar con archivo pesados de gran cantidad de triangulación.

TABLA 4. ESPECIFICACIONES DEL SOFTWARE BLENDER (RENDIMIENTO DEL PC)

Sistema operativo Windows 8.1 and 10, macOS 10.13 Intel · 11.0 Apple Silicon o Linux						
Mínima	64-bit dual core 2Ghz CPU with SSE2 support	4 GB RAM	1280×768 Display	Mouse or trackpad	Graphics card with 1 GB RAM, OpenGL 3.3	
Recomendable	64-bit quad core CPU	16 GB RAM	Full HD display	Three button mouse or pen + tablet	Graphics card with 4 GB RAM	
Optima	64-bit eight core CPU	32 GB RAM	Full HD displays	Three button mouse and pen+table	Graphics card with +12 GB RAM	

Tabla 4. Especificaciones del software Blender. Tabla de realización propia Leonor L.B.S. Fuente: BLENDER, 2021.

Para lograr una reconstrucción volumétrica virtual precisa, y que pueda ser materializada con posterioridad gracias a la impresión 3D, es necesario el conocimiento de determinadas herramientas y modificadores que incorpora este software. Su uso y manejo está condicionado al nivel de destreza y conocimiento que tenga el usuario acerca de este software, siendo recomendable haber realizado alguna instrucción o curso. En el siguiente punto *4.1.4 Conformado de la reintegración volumétrica virtual*, se enumerarán los pasos seguidos en todo el proceso⁶⁶.

⁶⁵ Tabla creada en base a las especificaciones que describe Blender en su software. En color verde se reseñan las especificaciones del PC utilizado en el proceso.

⁶⁶ En el Anexo 3. se transcribe todo el proceso de forma detallada. La versión utilizada del software ha sido la v 2.82.a.

4.1.4. Conformado de la reintegración volumétrica virtual

La reintegración volumétrica virtual de la parte faltante de la mancerina supone el uso de diferentes herramientas y modificadores⁶⁷ que contiene el software de modelado 3D Blender. A continuación, se expone de forma metodológica los pasos que se han realizado para generar la reintegración volumétrica.

- Apertura del software Blender.
- Configuración de las propiedades para adaptar el espacio de trabajo a la escala deseada.
- Importado del modelo obtenido mediante el escaneado a 30 mm (figura 22).
- Guardado del objeto en formato nativo⁶⁸ antes del tratamiento.
- Modelado de la reconstrucción a partir de un nuevo objeto (figura 23 y 24).
 - Modelado del objeto siguiendo los criterios de reintegración estipulados.
 - Aplicación de modificadores Solidify_⁶⁹ y Boolean_⁷⁰ (figura 25).
- Guardado del objeto /reconstrucción volumétrica en formato nativo.
- Exportado del objeto /reconstrucción volumétrica con extensión .STL⁷¹ para la impresión 3D.

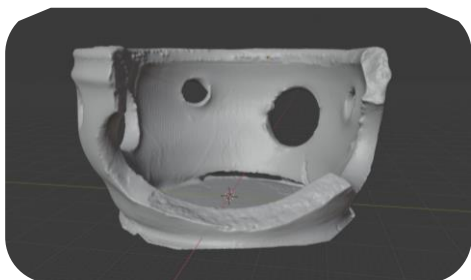


Figura 22. Importado del modelo obtenido en el escaneado. Fuente propia.

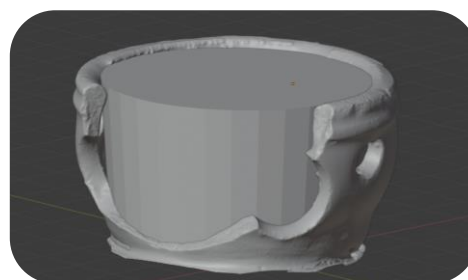


Figura 23. Modelado de la reconstrucción a partir de un nuevo objeto. Fuente propia.

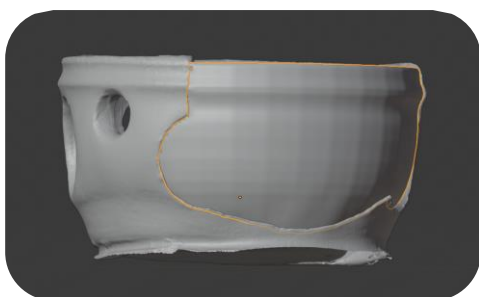


Figura 24. Modelado del objeto siguiendo su morfología y criterios aplicados a la reintegración de faltantes. Fuente propia.

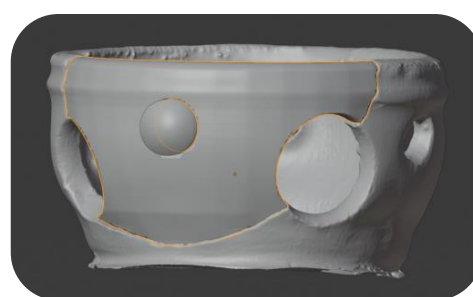


Figura 25. Aplicación de modificadores al modelo de la reconstrucción. Fuente propia.

⁶⁷ Los modificadores permiten agregar una operación o efecto procedural al objeto activo.

⁶⁸ Formato nativo del software .Blender File.

⁶⁹ Solidify permite agregar un grosor para la superficie.

⁷⁰ Boolean permite usar otras formas para cortar, combinar o realizar una operación de sustracción. Esta herramienta es clave para trasladar la impronta de la rotura al objeto de la reconstrucción de forma negativa.

⁷¹ Formato de archivo CAD que define la geometría de objetos 3D. Siglas STL: STereoLithography

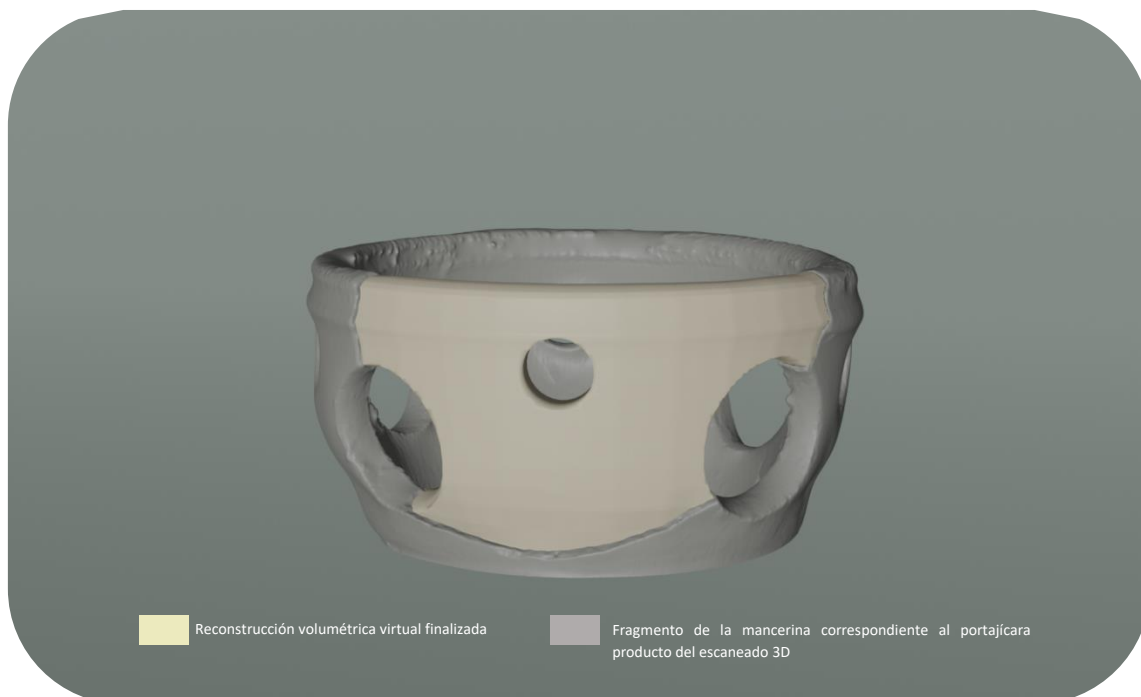


Figura 26. Imagen renderizada de la reconstrucción de la mancerina, vista en perspectiva. Fuente propia.

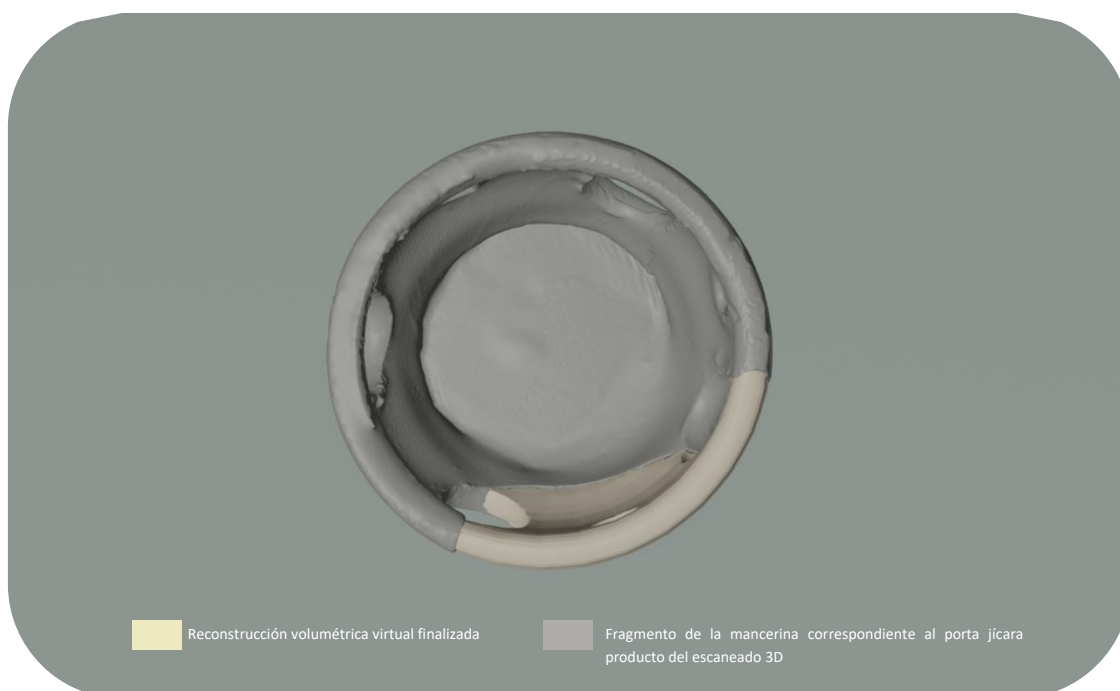


Figura 27. Imagen renderizada de la reconstrucción de la mancerina, vista en planta. Fuente propia.

Capítulo V reintegración volumétrica material

5.1. Materiales experimentales de reconstrucción: descripción, composición y cambios dimensionales

Materializar una reintegración volumétrica virtual es un proceso que implica una serie de parámetros para llevarla a cabo. El propósito principal de su materialización es generar un objeto físico que bajo unas características determinadas pueda ser incluido en la pieza original como reintegración volumétrica. Hasta ahora los procedimientos realizados en este trabajo han sido fundamentados con el objetivo de realizar una reintegración volumétrica no invasiva.

A continuación, se describen tres formas experimentales para llevar a efecto esta reintegración volumétrica mediante la tecnología de impresión 3D. Los materiales seleccionados como objeto de reconstrucción experimental han sido escogidos bajo el criterio de afinidad con la materia prima original del objeto de estudio, la loza, por lo que se han seleccionado tres materiales con contenido análogo en su composición:

- Resina cerámica Ceramic Resin, de la marca Formlabs para impresión 3D por estereolitografía.
- Filamento PLA EP. de la marca Smartmaterial3D para impresión 3D por deposición fundida.
- Pasta cerámica PA de la marca Sio-2 para modelado.

En primer lugar, se ha llevado a cabo un estudio de los tres materiales, junto con la pasta cerámica original de la mancerina para determinar la compatibilidad con la materia prima original. De forma complementaria se ha llevado a cabo el análisis mediante SEM-EDX a la cerámica original del objeto y a la Ceramic Resin debido a la falta de información acerca de su composición por ser un material comercial registrado. También se ha realizado el análisis mediante Transformada de Fourier a los tres materiales experimentales: resina, filamento y pasta cerámica. Al mismo tiempo se han examinado los cambios dimensionales de dos de los materiales que necesitan cocción en su procesado, la resina de impresión Ceramic Resin y la pasta cerámica PA, que por cuestiones morfológicas tras su secado y cocción en horno presentan contracciones o deformaciones.

Por último, se han desarrollado tres modelos para las reintegraciones experimentales, adaptadas al tipo de material empleado; siendo la impresión 3D por estereolitografía el método para producir la reconstrucción en resina de impresión 3D Ceramic Resin, la impresión 3D por deposición fundida para generar la reconstrucción volumétrica con el PLA E.P., y la técnica de molde tradicional para crear el positivo en la pasta cerámica PA. Los tres materiales se han comparado en función de la viabilidad, la eficacia del procedimiento, la compatibilidad con el material original, la responsabilidad medioambiental del proceso y el coste económico.

Los materiales seleccionados para realizar los modelos de la reconstrucción volumétrica en esta investigación utilizan como vehículo la impresión 3D. Dos de los tres materiales seleccionados; la resina Ceramic Resin y el filamento PLA E.P. serán fruto de la impresión directa de la reconstrucción volumétrica, mientras que la Pasta cerámica PA se sirve de esta tecnología para la reproducción de un modelo al que se le realizará un molde para ejecutar el positivado del objeto en este material.

Como se ha comentado anteriormente, la selección de los materiales está sustentada por el criterio de compatibilidad con el objeto original, en este caso la cerámica, material constituyente de la mancerina. La pasta cerámica PA, el filamento PLA E.P. y la Ceramic Resin, presentan en su composición cargas inorgánicas en diferentes proporciones además de otros aditivos. Es por ello por lo que se ha revisado la composición de cada material. De forma complementaria se han llevado a cabo analíticas por medio de

dos técnicas instrumentales, SEM-EDX y F-TIR, además del análisis de la pasta original del plato de la mancerina mediante la técnica SEM-EDX.

A continuación, se describen las técnicas instrumentales utilizadas como complemento a la revisión de las composiciones de los materiales experimentales:

SEM EDX: La microscopía electrónica de barrido con sistema de dispersión de energía permite determinar cualitativamente la mayor parte de los elementos de la muestra⁷² además de capturar una imagen de la superficie de la muestra con alta resolución. El equipo utilizado ha sido un SEM de la marca JEOL-JSM6300 con detectores SE y BSE de la casa JEOL y EDX de la casa Oxford Instruments, del servicio de microscopía Electrónica de la Universitat Politècnica de València.

FT-IR: La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier permite identificar compuestos de forma cualitativa y cuantitativa en sustancias de naturaleza orgánica e inorgánica⁷³. El equipo utilizado ha sido un espectrómetro FT-IR compacto ALPHA II con accesorio ATR de la marca BRUKER, del Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universitat Politècnica de València

5.1.1. Descripción de los materiales y composición

A continuación, se presentan los materiales experimentales empleados junto a la descripción de su composición extraída de las fichas de cada producto, de las investigaciones publicadas y de los resultados de los análisis complementarios realizados por SEM-EDX y FT-IR.

5.1.1.1. Resina de impresión 3D- Ceramic Resin de la marca Formlabs

La Ceramic Resin es una resina fotosensible⁷⁴ usada en impresoras 3D por estereolitografía⁷⁵. Se trata de una resina rica en sílice que tras su fotopolimerización en el proceso de impresión 3D se solidifica dando lugar a un objeto sólido⁷⁶. Este objeto debe ser sometido a cocción dando lugar a una sinterización del polímero⁷⁷ trascendiendo a una pieza con alto contenido en sílice⁷⁸, que por su acabado puede ser esmaltada o pintada. Según el fabricante, la resina en estado líquido contiene una mezcla de ésteres de ácido acrílico y aditivos⁷⁹ (tabla 5).

TABLA 5. COMPONENTES: CERAMIC RESIN

Componentes	% Aproximado de peso
Acrylated Monomers	Propietary
Photoinitiator	Propietary
Additives	<1wt%
Filler	propietary

Tabla 5. Componentes de la Ceramic Resin.
Fuente: Formlabs, 2017.

⁷² DOMÉNECH CARBÓ, María Teresa. *Análisis químico y examen científico de patrimonio cultural*. Madrid: Síntesis, 2018. p.166.

⁷³ Ibid. p. 215.

⁷⁴ Resinas que con la interacción de la luz sufren un proceso de solidificación.

⁷⁵ Esta resina solo es compatible con la impresora 3D Form 2. Ver el punto 4.4.2.

⁷⁶ BRADY, G.; CHU, T-M; HALLORAN, J.W. Curing behavior of ceramic resin for stereolithography. En: *International Solid Freeform Fabrication Symposium*, 1996. p.405. [en línea] The University of Texas at Austin [consulta: 19 abril 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2152/70264>

⁷⁷ GRIFFITH, M. L.; HALLORAN, J. W. Freeform fabrication of ceramics via stereolithography. En: *Journal of the American Ceramic Society*, 1996. vol. 79, no 10, p. 2605.

⁷⁸ FORMLABS. *Usage and design guide Ceramic Resin*, 2018. p 7.

⁷⁹ El fabricante se reserva la fórmula por patente, aportando el término "Propietary" en la ficha técnica.

Este material presenta un cambio en su composición una vez ha sido sintetizado en cocción, por lo que de manera complementaria se han realizado exámenes analíticos mediante SEM-EDX y FT-IR a la resina antes de la cocción y después de la cocción.

- **Análisis complementario**

Análisis SEM-EDX

En la siguiente tabla (tabla 6) se muestran los resultados obtenidos en los análisis realizados a las muestras⁸⁰ del material antes y después del proceso de cocción.

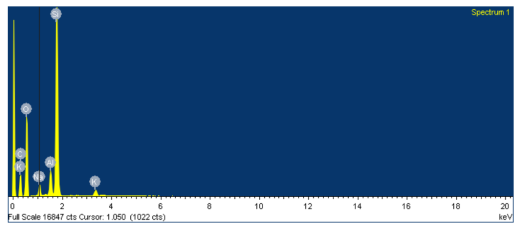
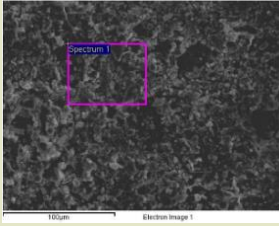
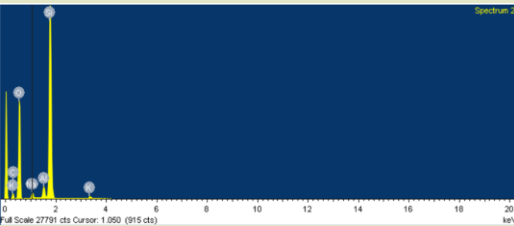
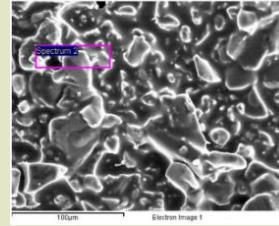
TABLA 6. ANÁLISIS SEM-EDX: CERAMIC RESIN			
Estado	Muestra	Espectro	Fotografía
Sin cocer	Sample 3 Área		
Cocida	Sample 5 Área		

Tabla 6. Resultados de los análisis realizados por SEM-EDX a la Ceramic Resin. Fuente propia.

La combinación de Na, Al, Si y K en ambos estados, demuestra su contenido en elementos inorgánicos, siendo la misma composición de estos antes y después en ambos estados (tabla 6). El alto contenido en C en la muestra previa a su cocción indica que el porcentaje en materia orgánica es elevado (superior al 75%), que corresponde según indicación del fabricante. El análisis tras su cocción arroja un resultado claro que la presencia de C sigue estando presente, por lo que, aun respetando los ciclos de cocción indicados por el fabricante, sigue habiendo contenido de materia orgánica (disminuye al 20%) correspondiente a los monómeros acrílicos.

En cuanto al resultado en materia inorgánica del material tras la cocción, se puede advertir que el contenido en sílice es muy elevado y el contenido en fundentes de vidrio (como sodio o potasio) es deficiente, por lo que no existe fase vítrea. La falta de elementos fundentes hace que en el proceso de cocción no se genere una buena cohesión, por lo que, al no generar la fase vítrea, la estabilidad dimensional y resistencia mecánica del material es insuficiente.

TABLA 7. % DE MATERIA INORGÁNICA: CERAMIC RESIN

Análisis Químico en materia inorgánica % (no se tiene en cuenta la fase orgánica)			
Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O
4%	5%	90%	1%

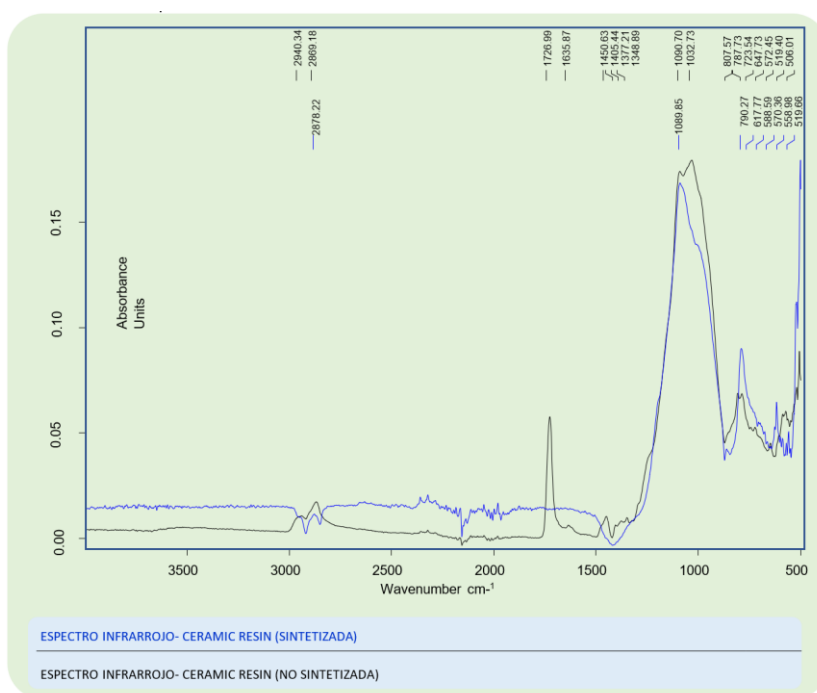
Tabla 7. % de materia inorgánica a la Ceramic Resin. Fuente propia.

⁸⁰ En el Anexo 4. se encuentra el informe completo de la analítica.

Las imágenes obtenidas mediante microscopio electrónico demuestran un cambio morfológico en la estructura de la Ceramic Resin. En la muestra antes de la cocción se observa ausencia de formas cristalinas, una microestructura heterogénea aglutinada, mientras que en la muestra tras el proceso de cocción se aprecian formas de pliegue del material retrotraído.

Análisis FT-IR

Los análisis realizados mediante FT-IR en ambos estados de la resina⁸¹; resina cerámica y resina cerámica sintetizada, demuestran la pérdida del compuesto plástico tras su sinterización⁸² que viene soportado por las bandas de absorción (2940, 2869, 1450, 1726 cm^{-1}) características de las resinas sintéticas acrílicas. Esto demuestra la pérdida de mezcla de ésteres de ácido acrílico en la muestra sometida a cocción.



Gráfica 2. Espectro FT-IR Ceramic Resin. Fuente propia.

5.1.1.2. Pasta cerámica para modelado -PA de la casa Sio-2

La pasta cerámica PA es un material empleado para el modelado mediante torno o manual de piezas cerámicas. Tiene un aspecto grisáceo en estado húmedo, y blanco tras su cocción. Presenta mayor estabilidad que otras pastas tradicionales de loza, debido al alto contenido en carbonato cálcico. Una vez cocido, este material puede ser esmaltado o pintado.

La elección de este material ha sido promovida por las características técnicas y morfológicas que presenta, siendo la composición química y su contracción en secado y cocción dos de los parámetros principales para su uso en el experimento. A continuación, se describe la composición química y las características técnicas, extraídas de la ficha técnica del producto.

⁸¹ Imagen de los dos espectros por separado en el Anexo 4.

⁸² BOSCH REIG, F.; YUSA MARCO, D.J. *Análisis químico instrumental ultravioleta-visible e infrarrojo aplicado al patrimonio cultural. Un enfoque práctico*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València, 2015. p.57.

TABLA 8. COMPOSICIÓN DE LA PASTA CERÁMICA PA

ANÁLISIS QUÍMICO PASTA CERÁMICA PA / %								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	L.O.I
53.53	20.50	0.67	0.98	8.58	0.30	1.17	2.20	11.63

Tabla 8. Composición de la pasta cerámica PA. Fuente: SiO-2, 2021.

TABLA 9. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PASTA CERÁMICA PA

CARACTERÍSTICAS EN CRUDO		CARACTERÍSTICAS EN COCIDO				
Humedad %	Contracción secada %	Temperatura °C	Pérdida de peso %	Absorción agua %	Contracción en cocción %	Resistencia cocción N/mm ²
20	6.0	100	11.6	13.7	0.0	25.9
		1050	11.6	12.5	0.1	
		1100	11.7	12.0	0.0	

Tabla 9. Características técnicas de la pasta cerámica PA. Fuente: SiO-2, 2021.

5.1.1.3. Filamento de impresión 3D PLA E.P. de la casa SmartMaterials3D

El filamento PLA E.P. de la casa Smartmaterials3D es un tipo de filamento usado en impresoras 3D por deposición fundida⁸³. El PLA (Polylactic acid) es un polímero biodegradable de tipo bioplástico conformado por moléculas de ácido poliláctico⁸⁴ y producido a partir de recursos renovables⁸⁵. Se caracteriza por tener propiedades biocompatibles, rigidez, termoelasticidad y alta resistencia⁸⁶, sin embargo, es susceptible a ambientes cálidos y húmedos⁸⁷. Por otro lado, este filamento es destacable por su acabado aparentemente cerámico, y la posibilidad de ser pintado.

En las especificaciones del producto PLA E.P. se detalla que es un PLA modificado con acabado cerámico, indicando el contenido en carbonato cálcico en su composición.

TABLA 10. COMPOSICIÓN DEL FILAMENTO PLA E.P.

Nombre químico	% en peso
Poly lactide resin	>80
CaCO ₃	<20
Aditivos y colorantes	<1

Tabla 10. Composición del filamento PLA E.P. Fuente: Smartmaterial3D, 2017.

⁸³ Ver capítulo IV punto 4.4.3.

⁸⁴ SERNA, L; et al. Ácido poliláctico (PLA): Propiedades y aplicaciones. En: *Ingeniería y competitividad*, 2003. vol. 5, no 1, p. 5.

⁸⁵ MARTIN, O; AVÉROUS, L. Poly (lactic acid): plasticization and properties of biodegradable multiphase systems. En: *Polymer Composites*, 2001. vol. 42, no 14, p. 6209-6219.

⁸⁶ ELSAWY, M.A; et al. Hydrolytic degradation of polylactic acid (PLA) and its composites. En: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. vol. 79, p. 1346-1352.

⁸⁷ SERNA, L; et al, 2003. Op. Cit, p.7

- **Análisis complementario**

Análisis FT-IR

El análisis realizado mediante FT-IR a la muestra de filamento PLA E.P.⁸⁸, afirma su contenido en ácido poliláctico que viene soportado por las bandas de absorción (2994, 2919, 2850, 1748, 1266, 1180, 1127, 1080, 1042, 955 y 754 cm^{-1})⁸⁹ y la presencia de carbonato cálcico soportada por las bandas de absorción (1447, 1382, 872, 711 cm^{-1})⁹⁰.

5.1.1.4. Pasta original de la mancerina

Para ofrecer una visión completa de todos los materiales del estudio, con el fin de conocer sus compatibilidades, se ha realizado el análisis mediante SEM-EDX a dos muestras del material original de la mancerina. Por otra parte, esto también permite la identificación de la pieza como parte de la producción cerámica de la Real Fábrica de Alcora⁹¹.

TABLA 11. ANÁLISIS QUÍMICO PASTA ORIGINAL DE LA MANCERINA

Análisis Químico %								
Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	L.O.I
3.07	2.2	37.00	37.22	1.63	12.22	0.21	3.09	3.3

Tabla 11. Composición de la pasta original de la mancerina. Fuente propia.

5.1.2. Exámenes de cambios dimensionales: deformación y contracción

El objeto de la reintegración volumétrica obtenido mediante el modelado 3D tiene unas dimensiones bases de 28.35cm en el eje X, 43.80cm en el eje Y y 29.33 cm en el eje Z, sin embargo, dos de los materiales experimentales sufren deformaciones y cambios dimensionales causados por procesos de secado y cocción en horno necesarios durante el procedimiento de generación del material. A continuación, se describen las pruebas realizadas en ambos materiales con el objetivo de controlar las deformaciones dadas en cada material y reproducir los modelos con las dimensiones exactas necesarias para la reintegración volumétrica.

5.1.2.1. Exámenes de deformación en la resina de impresión 3D Ceramic Resin

La Ceramic Resin presenta una deformación después de su cocción en horno. Tras su impresión, esta resina es sometida a cocción dando como resultado una pieza de estructura inorgánica, cuyo elemento de composición mayoritario es la sílice. El fabricante indica que sufrirá una contracción por cocción de un 27% en el eje Z y un 15% en los ejes X e Y⁹². Esta contracción es generada principalmente por la forma de producción del objeto, ya que la impresión 3D por estereolitografía imprime modelos por medio de capas

⁸⁸ Espectro en el Anexo 4.

⁸⁹ DI MAIO, L; et al. Effect of polymer/organoclay composition on morphology and rheological properties of polylactide nanocomposites. En: *Polymer Composites*, 2015. vol. 36, no 6, p. 1135-1144.

⁹⁰ BOSCH REIG, F; YUSA MARCO, D. J, 2015. Op Cit. p 144

⁹¹ Los resultados completos del análisis y toda la documentación fotográfica realizada a las muestras están visibles en el ANEXO 3. y 1. de este trabajo.

⁹² Esta reducción está ligada al modo de reproducción de la pieza. Ver punto 5.3.1.

sucesivas dispuestas en el eje Z⁹³. Del mismo modo, describe la posible deformación causada por la propia morfología de la pieza, ya que, al volatilizarse la resina, que sirve como vehículo del resto de compuestos, durante el proceso de cocción, se pierde masa del objeto. El fabricante recomienda servirse de objetos o soportes de apoyo para evitar estas deformaciones⁹⁴ e implementa en su software de impresión⁹⁵ un parámetro aplicable que determina el cálculo de la deformación de la pieza impresa tras su cocción.

Los cambios dimensionales de la Ceramic Resin tras su cocción fueron testados en probetas constituidas con la forma de la reconstrucción volumétrica del faltante de la mancerina, esta forma es necesaria para apreciar las deformaciones no controladas específicas en ella. En el proceso, se imprimieron y cocieron un total de nueve probetas, a las que se le aplicaron deformaciones calculadas según los porcentajes de reducción obtenidos en el experimento y las especificaciones del fabricante para contrarrestar la deformación del horno. La aplicación de las deformaciones fue realizada mediante la adaptación del modelo 3D generado de la reconstrucción volumétrica, por lo que se realizaron nueve copias del modelo original a las que se les aplicaron las diferentes deformaciones⁹⁶. En el proceso de preimpresión las probetas fueron orientadas del mismo modo para que la forma de producción fuese un factor controlado⁹⁷.

Tras las impresiones 3D de las probetas, éstas fueron sometidas a cocción siguiendo las especificaciones y consejos del fabricante. La curva de cocción aplicada está representada en el siguiente gráfico (figura 28).

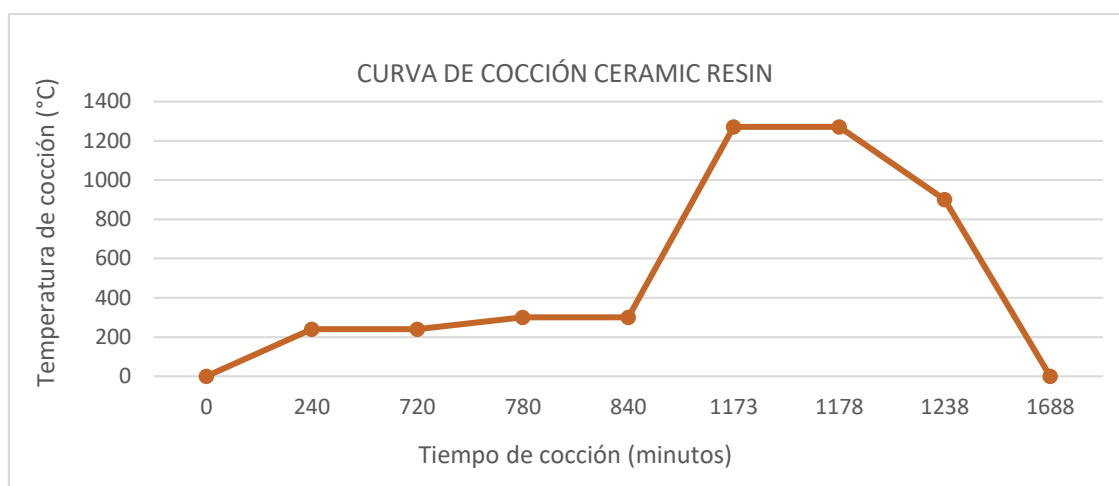


Figura 28. Curva de cocción de Ceramic Resin. Fuente: FORMLABS, 2017.

En la siguiente tabla (tabla 12) se describen las deformaciones aplicadas mostrando el número y asignación de la probeta, el cálculo de la deformación aplicada, las dimensiones en milímetros, el método de aplicación de las deformaciones, las imágenes del modelo 3D deformado y la fotografía de los objetos (probetas) impresos.

⁹³ Ver en el punto 5.2.1.1.

⁹⁴ FORMLABS. 2018. Op.Cit. p. 8.

⁹⁵ PreForm es el software que utilizan las impresoras de la casa Formlabs. Ver capítulo 4.3.1

⁹⁶ Siete de las deformaciones fueron aplicadas mediante el software de modelado Blender, mientras que a dos se le aplicaron mediante el software Preform que incluye la impresora Formlabs 2, una de las probetas no fue sometida a deformación.

⁹⁷ Este factor viene dado por la producción por capas sobre el eje Z de la impresora, si se baría la orientación de la pieza, la deformación producida por la cocción no es controlada.

TABLA 12. PARÁMETROS APLICADOS A LAS PROBETAS DE CERAMIC RESIN.

Nº y asignación de Probeta	Cálculo de la deformación	Dimensiones en mm	Método de aplicación	Imagen del modelo 3D	Fotografía del objeto impreso.
1 R	Sin deformación Modelo original	X- 28.35 Y-43.80 Z-29.33	Software Blender		
2 R	Aplicación de deformación porcentual en aumento. Z-27% X e Y-15%	X-32.60 Y-50.03 Z-37.25	Software Blender		
3 R	Aplicación de deformación por Volumen	X- 32.15 Y-50.23 Z- 33.64	Software Blender		
4 R	Aplicación de deformación porcentual en aumento. Z-26% X e Y-14%	X- 32.22 Y- 49.93 Z-36.96	Software Blender		
5 R	Aplicación de deformación porcentual en aumento. Z-25% X e Y-13%	X- 32.04 Y-49.50 Z- 36.66	Software Blender		
6 R	Aplicación de deformación porcentual en aumento. Z-24% X e Y-12%	X- 31.76 Y- 49.06 Z- 36.37	Software Blender		
7 R	Aplicación de deformación porcentual en aumento. Z-223% X e Y-11%	X- 31.47 Y- 48.62 Z- 36.08	Software Blender		
8 R	Aplicación de deformación con calculo predeterminado. Aumento de escala a 1.150 factor de escala en Z- 1.123.	X- 33.02 Y-49.99 Z- 33.78 Escala: 1.150	Software Preform		
9 R	Aplicación de deformación con calculo predeterminado. Factor de escala en Z- 1.123.	X- 28.71 Y-43.48 Z- 28.37	Software Preform		

Tabla 12. Parámetros aplicados a las probetas. Fuente propia.

El proceso de cocción de las probetas fue realizado en tres tandas para calcular la deformación real producida en el horno. En la primera tanda se coció la probeta N ° 1-R, la cual no fue sometida a ninguna deformación previa, sirviendo de prueba preliminar para determinar el nivel de resolución tras la cocción. En la segunda tanda se cocieron las probetas N ° 2,3,8 y 9 R (figura 29) previamente deformadas siguiendo las recomendaciones dadas en las especificaciones del fabricante. En la última tanda se cocieron las probetas N ° 4,5,6 y 7-R adaptando la deformación establecida por el fabricante y añadiendo soportes individuales (figuras 30 y 31) realizados con ladrillo refractario de alta temperatura⁹⁸.



Figura 29. Probetas 2,3,8 y 9-R colocadas sin soportes antes de la cocción. Fuente propia.



Figura 30. Probetas 4, 5, 6 y 7-R colocadas sobre soportes antes de la cocción. Fuente propia.



Figura 31. Soportes manufacturados individuales de ladrillo refractario y probetas 4, 5, 6 y 7. Fuente propia.

⁹⁸ Al observar las deformaciones producidas tras la cocción de las probetas de la primera y segunda tanda, se manufacturaron cuatro soportes evitando una deformación causada por la pérdida del componente resina.

- **Resultados**

TABLA 13. RESULTADOS DE LAS PROBETAS TRAS LA COCCIÓN










Nº y asignación de probeta	Cálculo de la deformación aplicada	Dimensiones en mm	Fotografía de las piezas tras su cocción
1 R	Sin deformación Modelo original X- 28.35 Y-43.80 Z-29.33	X- 23.66 Y-41.53 Z-19.09	
2 R	Aplicación de deformación porcentual en aumento. Z-27% X e Y-15%	X- 28.83 Y- 47.12 Z- 23.50	
3 R	Aplicación de deformación por Volumen	X- 27.51 Y- 43.03 Z- 30.57	
4 R	Aplicación de deformación porcentual en aumento. Z-26% X e Y-14%	X- 29.79 Y- 46.93 Z- 36.96	
5 R	Aplicación de deformación porcentual en aumento. Z-25% X e Y-13%	X- 29.11 Y- 45.30 Z- 32.06	
6 R	Aplicación de deformación porcentual en aumento. Z-24% X e Y-12%	X- 28.94 Y- 43.92 Z- 31.22	
7 R	Aplicación de deformación porcentual en aumento. Z-23%X e Y-11%	X- 28.30 Y- 43.78 Z- 30.05	
8 R	Aplicación de deformación con calculo predeterminado. Aumento de escala a 1.150 factor de escala en Z- 1.123.	X- 33.02 Y- 49.99 Z- 33.78	
9 R	Aplicación de deformación con calculo predeterminado. Factor de escala en Z- 1.123.	X- 24.71 Y- 40.48 Z- 28.37	

Tabla 13. Resultados obtenidos tras la cocción de las probetas en resina Ceramic Resin. Fuente propia.

Las probetas 2, 3, 8 y 9 R, presentan un encogimiento significativo en todos los ejes además de una deformación en el eje Z tras ser sometidas a cocción. Ninguna de estas probetas presenta las similitudes volumétricas deseadas con la reconstrucción final del faltante, observándose deformaciones no controladas en ningún eje. Por otro lado, las probetas 4, 5, 6 y 7 R fueron cocidas con el apoyo de soportes. A estas probetas se les alteró la deformación aconsejada por el fabricante ya que las pruebas realizadas con ese cálculo en las probetas 2,3,8, y 9 R no daban los resultados que aseguraba. La aplicación de la deformación a la segunda tanda de probetas fue dada por la disminución del % de escalado aconsejando, decreciendo la escala de un 1% a un 4% del tamaño. La probeta que ofrece mejor resultado dimensional en esta tanda ha sido la 7 R, a la que se le aplicó una deformación porcentual aumentada de un 23% en el eje Z y un 11% en los ejes X e Y.

De forma complementaria, se ha realizado una comparativa de cada probeta con respecto al volumen original de la pieza, de forma que se han escaneado todas las probetas consumadas y se han comparado con el volumen original de la pieza⁹⁹. Este balance se ha realizado con la herramienta *comparación* incluida en el software del escáner, permitiendo medir distancias firmadas entre dos superficies u objetos diferentes.

5.1.2.2. Exámenes de contracción de la pasta cerámica PA

Para establecer la contracción que presenta la pasta cerámica PA en el proceso de secado y cocción, se realizaron cuatro probetas de tipo placa con las medidas 3 x 6 x 0.5 cm. Para su producción se ejecutaron cuatro moldes de PLA genérico con las medidas establecidas siendo usados como contenedores de la pasta cerámica.

Pasadas 48 horas de secado controlado de la pasta cerámica en los moldes, se extrajeron y midieron determinando la contracción del secado. A continuación, se sometieron a cocción en horno cerámico, siguiendo la siguiente curva de cocción¹⁰⁰ (figura 32). Una vez cocidas fueron medidas por segunda vez para determinar la contracción producida por la cocción (figura 33).

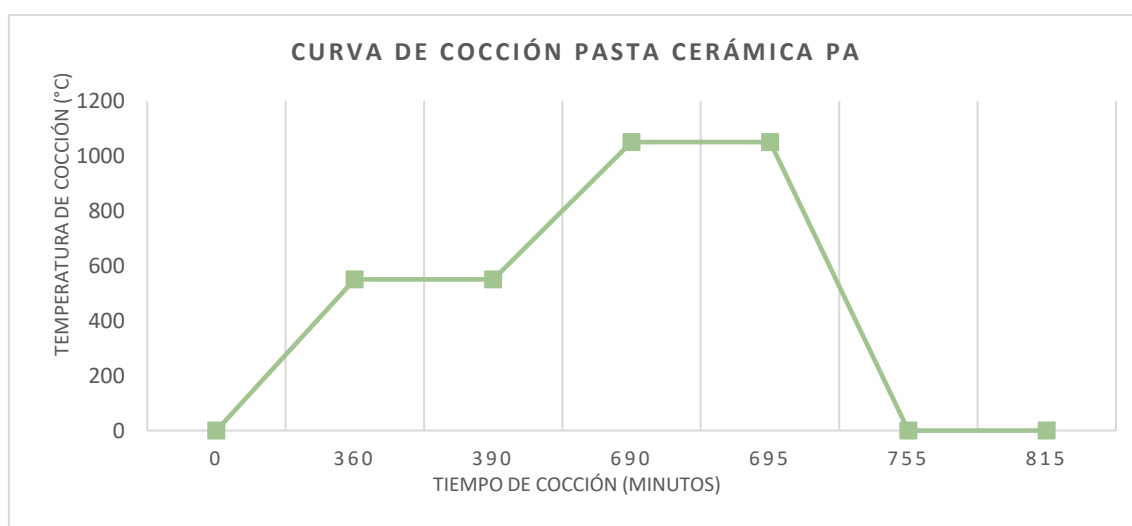


Figura 32. Curva de cocción de la pasta cerámica- PA. Fuente propia.

⁹⁹ Ver Anexo 5.

¹⁰⁰ La curva de cocción fue generada en base a las especificaciones de fabricante indicando la temperatura de cocción recomendada. Ver Anexo 6. ficha técnica Pasta cerámica PA.



Figura 33. Probetas tras la cocción. Fuente propia.

- **Resultados**

En la siguiente tabla se muestran las medidas obtenidas por la contracción al secado al aire, contracción por cocción, la media aritmética del total de las contrataciones y el cálculo porcentual de la reducción.

TABLA 14. RESULTADOS OBTENIDOS TRAS LA COCCIÓN DE LAS PROBETAS DE PASTA CERÁMICA PA

Nº y asignación de probeta	Contracción por secado al aire			Contratación por cocción		
	Medidas en mm			Medidas en mm		
	Largo	Ancho	Espesor	Largo	Ancho	Espesor
1 P	5.74	2.86	0.46	5.73	2.86	0.46
2 P	5.72	2.86	0.46	5.72	2.86	0.45
3 P	5.72	2.86	0.46	5.71	2.86	0.45
4 P	5.72	2.87	0.46	5.72	2.87	0.45
Media aritmética del total de las contrataciones	5.72	2.86	0.46	5.72	2.86	0.45
Calculo porcentual de contracción.	-4.67%	-4.67%	-8%	-4.67%	-4.67%	-10%

Tabla 14. Resultados obtenidos de la contracción en secado y contracción por cocción. Fuente propia.

Los cálculos de reducción totales demuestran una contracción homogénea del volumen. En las mediciones del largo y ancho en las dos variables de contracción, se observa una reducción del -4.67% con respecto a la medida inicial. En el caso de las medidas del espesor, la reducción tiene una desviación de un -2%, dada por los procesos de ejecución de la probeta. Dicha desviación no se tendrá en cuenta en el porcentaje final¹⁰¹. Como se puede apreciar en la tabla anterior, prácticamente toda la contracción ocurre durante el proceso de secado.

¹⁰¹ La ficha técnica del producto (ver en Anexo 6.) describe una contracción homogénea en el secado al aire, mientras que la contracción por cocción va del 0.0 al 0.1 %.

5.2. Conformado de las reintegraciones volumétricas matéricas.

Para conformar un objeto realizado mediante el modelado 3D, es necesario el empleo de herramientas que reproduzcan el archivo generado en el modelado (archivos 3D) en un objeto matérico¹⁰².

En el caso de la reconstrucción volumétrica del plato de la mancerina se ha utilizado la tecnología de impresión 3D para su conformado, empleando tres técnicas aditivas diferentes para cada uno de los materiales experimentales; impresión 3D por Estereolitografía para la reproducción de la reconstrucción en la resina cerámica Ceramic Resin de la marca Formlabs, Impresión 3D por deposición fundida para la reproducción en filamento PLA E.P. de la marca Smartmaterial y la técnica de molde tradicional junto con esta última tecnología de impresión para generar la reconstrucción con la pasta cerámica PA de la marca Sio-2.

Este desarrollo del conformado de la reintegración volumétrica matérica finaliza el proceso experimental:



A continuación, se describe el funcionamiento de las herramientas de impresión 3D empleadas y se detallan los procesos de reproducción de las reintegraciones volumétricas en cada uno de los materiales experimentales.

5.2.1. Las impresoras 3D empleadas en la reproducción del faltante.

Las impresoras utilizadas en las reproducciones de la reintegración volumétrica están vinculadas a cada uno de los materiales experimentales. A continuación, se describen las dos tipologías de impresión 3D utilizadas en los procesos de conformado de la reintegración.

5.2.1.1. Impresión 3D por estereolitografía o SLA¹⁰³: Form 2

Para la reproducción del faltante de la mancerina en el material resina Ceramic Resin se ha utilizado una impresora 3D por estereolitografía, la Form 2 de la marca Formlabs. Este tipo de impresoras funciona mediante fabricación aditiva por capas de resina líquida fotopolimerizable que es solidificada al ser expuestas a radiación ultravioleta¹⁰⁴.

Antes de comenzar cualquier impresión, el archivo 3D pasa por un software de preimpresión, en el caso de la impresora Form 2, se utiliza el software Preform, que facilita el fabricante. Este software permite aplicar los parámetros de impresión que queramos al objeto, como el tipo de resina empleada, la resolución, la altura de capa o el añadido de soportes auxiliares al objeto para hacerlo imprimible.

¹⁰² ÁVILA RODRÍGUEZ, María. 2018. Op Cit, p. 151.

¹⁰³ Siglas del inglés stereolithography.

¹⁰⁴ MEJÍA FLORES, Heriberto Julio. Ventajas Y Desventajas de las impresoras 3D. En: *Revista Tecnológica*. 2016. vol. 12, p. 30.

En el proceso de impresión la resina es depositada en una cubeta que está en contacto con una ventana óptica, la cual dispersa y deja pasar la proyección del láser de luz violeta generando por fotopolimerización las capas de impresión. La resina, tras su polimerización, es adherida a una plataforma de impresión móvil que oscila verticalmente sobre el eje Z en la impresión de cada capa (figura 34).

Las impresiones 3D resultantes tienen un postproceso en el que se eliminan los restos de resina líquida sobrante en la superficie del objeto. La pieza debe sumergirse en alcohol isopropílico el tiempo que estipule el fabricante, además, algunos tipos de resina requieren de un postcurado¹⁰⁵ para el acabado final. La eliminación de los soportes auxiliares generados para hacer imprimible el objeto se realiza manualmente.

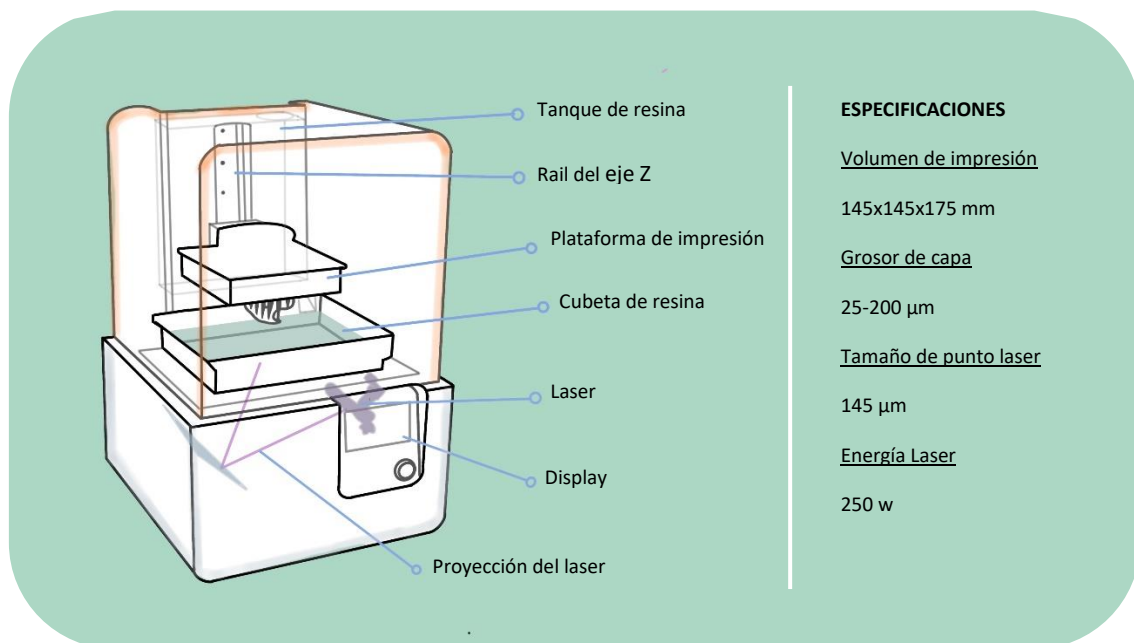


Figura 34. Dibujo de la Form 2 con las partes más relevantes y sus especificaciones generales. Fuente propia.

5.2.1.2. Impresión 3D por deposición fundida o FDM¹⁰⁶: Ender 3 Pro

Para la reproducción del faltante de la mancerina con el material filamento PLA E.P. se ha utilizado una impresora 3D por deposición fundida, la Ender 3 pro de la marca Creality. Este tipo de impresión funciona mediante fabricación aditiva por capas de filamento. Esta tecnología de impresión utiliza la deposición de filamentos de polímeros que pasa por un extrusor¹⁰⁷ y un fusor que calienta y adhiere el filamento en una base de impresión¹⁰⁸ (figura 35).

Al igual que las impresiones por SLA, los archivos 3D pasan por un software de preimpresión que permiten aplicar los parámetros adecuados para el tipo de filamento, la resolución, la altura de capa o el añadido

¹⁰⁵ En el Lenguaje de impresión 3D el postcurado se refiere a la exposición de la pieza a luz ultravioleta ya sea por medio de cámaras de emisión compactas, o la propia exposición a la luz solar.

¹⁰⁶ Siglas del inglés de Fused Deposition Modeling.

¹⁰⁷ Pieza que aplica el material en la base de la impresora.

¹⁰⁸ ÁVILA RODRÍGUEZ, María. 2018. Op Cit, p. 171.

de soportes auxiliares para la óptima impresión de la pieza. El software de preimpresión utilizado ha sido el Software Ultimaker Cura¹⁰⁹.

Al contrario que las impresiones por SLA, el postproceso de la pieza resultantes por FDM se limita a la eliminación manual de los soportes generados para hacer imprimible la pieza.

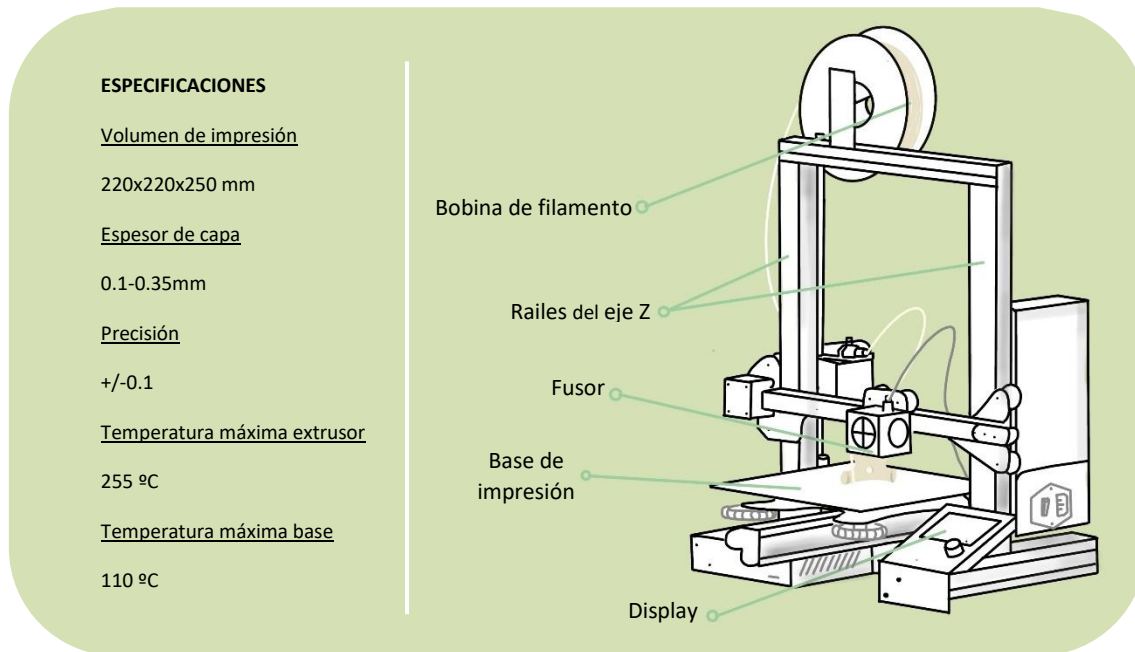


Figura 35. Dibujo de la Ender 3 Pro con las partes más relevantes y sus especificaciones generales. Fuente propia.

5.2.2. Reintegración volumétrica con resina Ceramic Resin; Impresión 3D y cocción en horno

Los procesos de impresión y cocción de la reintegración volumétrica en resina cerámica Ceramic Resin se han ejecutado bajo los parámetros obtenidos en los exámenes de cambios dimensionales realizados en las probetas. Estas probetas fueron conformadas con la morfología de la pieza faltante y deformadas según la adecuación del material a la forma original de la pieza. A continuación, se desarrolla el procedimiento seguido en la ejecución de la reconstrucción conforme a la probeta 7R¹¹⁰ que es la que presentaba mayor afinidad con la pieza a reintegrar.

- **Proceso de impresión 3D**

El modelo 3D de la reintegración volumétrica fue sometido a una deformación porcentual con un aumento de un 23% en el eje Z y un 11% en el eje X e Y, con respecto al volumen original de la reconstrucción. (figura 36). La aplicación de la deformación se realizó mediante el software de modelado 3D Blender.

¹⁰⁹ Ultimaker Cura es uno de los softwares de impresión más populares de código abierto.

¹¹⁰ Todos los procesos que a continuación se redacta fueron realizados de la misma manera al resto de probetas, a excepción de la aplicación de deformación pertinente en cada una de ellas.



Figura 36. Modelos 3D de la reconstrucción. Izquierda: el modelo original de la reconstrucción; derecha: el modelo deformado de la probeta 7R. Fuente propia.

El modelo 3D deformado fue exportado a formato .STL para trasladar el archivo al software de preimpresión Preform, donde se aplicaron los parámetros para su impresión (figura 37), la orientación de la pieza sobre la plataforma de impresión y se ejecutaron los soportes auxiliares para hacer imprimible el objeto (figura 38).

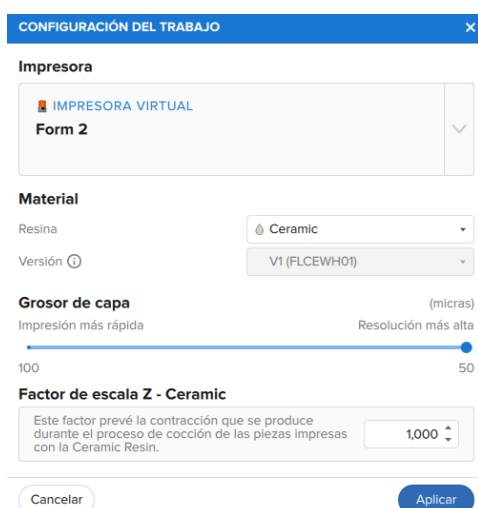


Figura 37. Configuración aplicada a la impresión mediante el software Preform. Fuente propia.

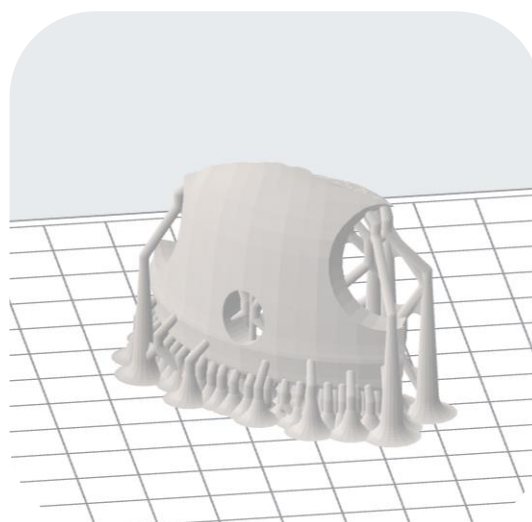


Figura 38. Soportes generados para hacer imprimible el objeto. Fuente propia.

Los parámetros aplicados al objeto fueron determinados por el tipo de resina. La Ceramic Resin llega a una resolución aplicable de 50 micras; esta resolución condiciona el grosor de las capas de impresión y el número de capas finales que se han conformado para realizar el objeto:

- Grosor de capa 0.05 mm
- Factor de escala Z Nulo¹¹¹.
- Densidad de relleno 100%
- Temperatura del tanque de resina 35 °C

¹¹¹ Este factor prevé la contracción que se produce durante el proceso de cocción de las piezas impresas con la Ceramic Resin.

El proceso de impresión (figura 39) duró un total de 7 horas y 15 minutos, se ejecutaron un total de 837 capas y se gastó un volumen de 14.93 ml de resina (figura 40).



Figura 39. Impresora Form 2 en la ejecución del modelo. Fuente propia.

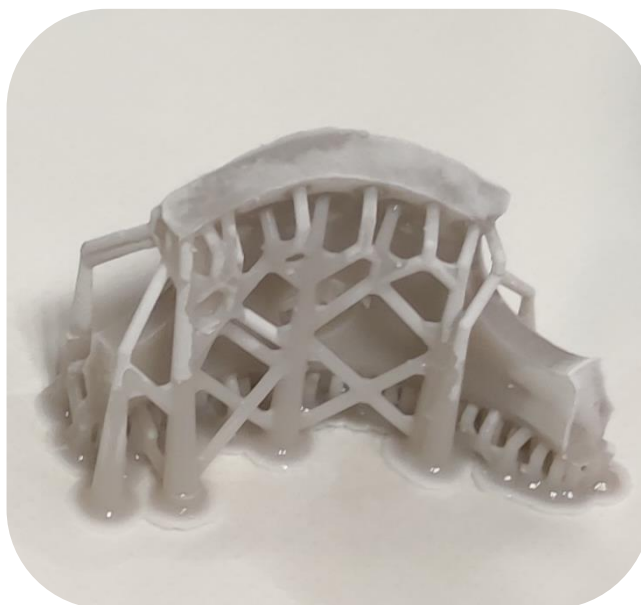


Figura 40. Reintegración volumétrica impresa en Ceramic Resin. Fuente propia.

El postproceso de la reproducción del faltante obtenida en resina Ceramic Resin se limitó al lavado del objeto en alcohol isopropílico durante 5 minutos (figura 41) y a la eliminación de los soportes auxiliares de forma manual (figuras 42 y 43).

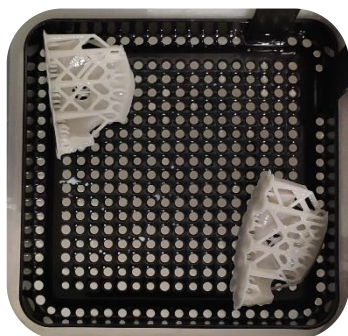


Figura 41. Lavado de probetas en alcohol isopropílico. Fuente propia.



Figura 42. Eliminación de soportes auxiliares. Fuente propia.

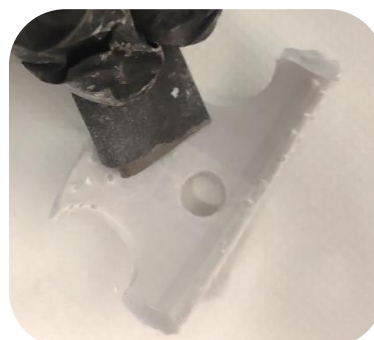


Figura 43. Depurado de imperfecciones en los puntos de contacto de los soportes auxiliares. Fuente propia.

- **Proceso de cocción**

Una vez impresa la pieza y realizado el post procesado pertinente fue colocada en un soporte realizado en ladrillo refractario de alta temperatura (figura 44) para evitar la deformación producida por la pérdida del material resina. La curva de cocción aplicada fue la indicada por el fabricante (figura 28), llegando hasta los 1271 °C y cociéndose un total de 28 horas y 13 minutos. El horno utilizado fue un horno de cámara de la casa Nabertherm modelo C 290 (figura 45).



Figura 44. Soporte de ladrillo refractario y pieza antes de la cocción. Fuente propia.



Figura 45. Horno de cocción cerámica Nabertherm modelo C 290. Fuente propia.



Figura 46. Reconstrucción volumétrica final en Ceramic Resin. Fuente propia.

5.2.3. Reintegración volumétrica en filamento PLA E.P. Impresión 3D

La impresión de la reintegración volumétrica del faltante en el material PLA E.P. fue realizado mediante la impresora Ender 3 Pro y el software de Preimpresión Ultimaker Cura¹¹². A este modelo 3D no se le aplicó ningún tipo de deformación ya que el material no presenta desproporción alguna una vez impreso. El archivo 3D de la reintegración fue exportado con extensión .STL y abierto en el software de preimpresión

¹¹² La versión utilizada del software es la 4.9.1

Cura, donde se aplicaron los parámetros recomendados para conseguir una resolución de 80 micras. Además, se añadieron soportes auxiliares para hacer imprimible la pieza (figura 47).

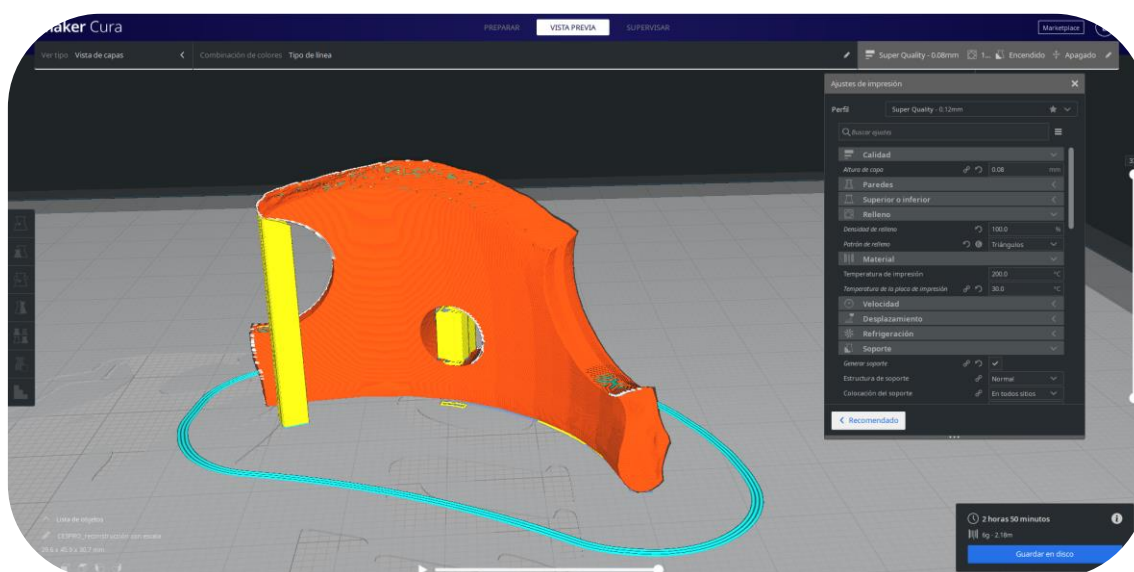


Figura 47. Aplicación de parámetros Preimpresión en el software Ultimaker Cura. Fuente propia.

Los Parámetros aplicados al objeto fueron determinados por el tipo de filamento y la configuración de la impresora. El PLA E.P. ofrece una resolución de 0.1mm, esta resolución condiciona el grosor de las capas de impresión y el número de capas finales que se han conformado para realizar el objeto, por otro lado, los parámetros de la impresora pueden ser modificados para que en su ejecución de un resultado de 0.08mm:

- Altura de capa 0.08mm
- Temperatura de impresión 200 °C
- Temperatura de la placa de impresión 0 °C
- Densidad de relleno 100%

El proceso de impresión (figura 48) duró un total de 2 horas y 50 minutos, se ejecutaron 379 capas y se gastó un total de 6 g de filamento, equivalente a 2,18 metros lineales (figura49).

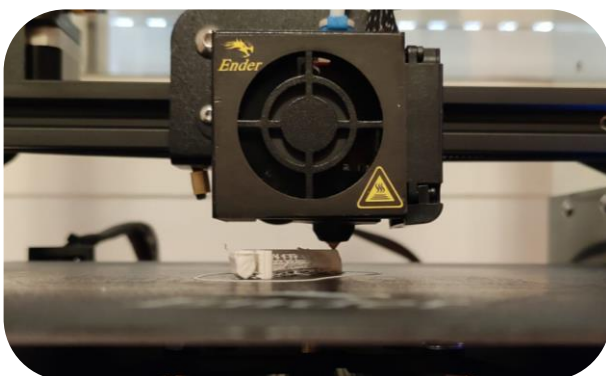


Figura 48. Proceso de impresión de la reconstrucción en PLA E.P. por la impresora Ender 3 pro. Fuente propia.



Figura 49. Reintegración volumétrica en PLA E.P. finalizada. Fuente propia.

5.2.4. Reintegración volumétrica en pasta cerámica PA. Impresión 3D, molde y cocción en horno.

Para ejecutar la reintegración volumétrica en pasta cerámica se ha requerido de la impresión 3D y la ejecución de un molde tradicional para conformarla.

- **Ejecución de la reintegración; impresión 3D y molde tradicional**

La impresión 3D ha servido para generar una reintegración volumétrica escalada aplicando el coeficiente de reducción obtenidos en los exámenes de contracción realizados en la pasta cerámica. Esta contracción del 4.67% del volumen total de la pasta ha sido aplicada al modelo de reconstrucción virtual para, posteriormente ser materializado mediante impresión 3D. La reproducción del modelo escalado (figura 50) se realizó en PLA E.P. con la impresora Ender 3pro utilizando los mismos parámetros aplicados en el apartado anterior.



Figura 50. Modelos 3D de la reintegración. A la izquierda el modelo original, a la derecha el modelo escalado un 4,67%. Fuente propia.

A la pieza obtenida se le realizó un molde en escayola Álamo 60, compuesto por 7 piezas (figura 51). Este molde ha sido ejecutado para obtener la mayor información de las partes de unión con el objeto original, compaginado con el procedimiento de positivado por apretón, y para facilitar la extracción del positivo en pasta cerámica evitando cualquier retención posible debido a la contracción de la pasta cerámica en el secado.

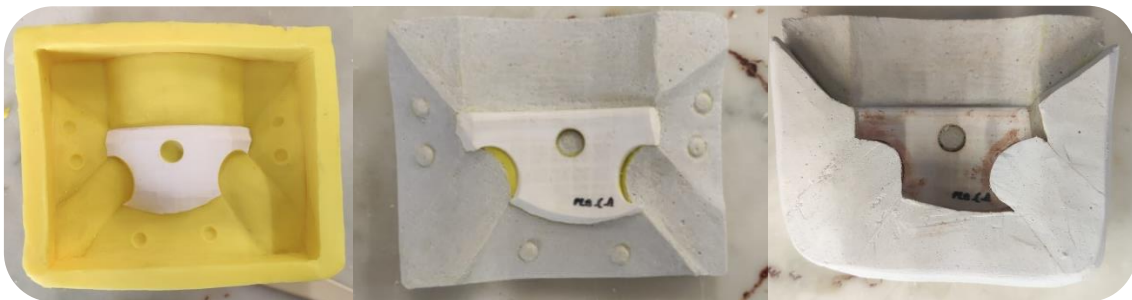


Figura 51. Proceso de realización del molde, a la izquierda la estructura inicial, en el centro la pieza principal y a la derecha el molde finalizado. Fuente propia

Tras la finalización del molde se ejecutó el positivado en pasta cerámica mediante la técnica de apretón. El positivo resultante se dejó secar por oreo durante 72 horas. Pasado el secado se eliminaron las imperfecciones producidas en la ejecución.

- **Proceso de cocción:**

La pieza conformada en pasta cerámica fue cocida en un horno de cámara de la casa Nabertherm modelo C 290 (figura 45). La curva de cocción aplicada fue la misma que se utilizó en los procesos de cocción de las probetas de esta misma pasta (figura 52), llegando hasta los 1060 °C. El trascurso de la cocción duró 8 horas y 8 minutos.



Figura 52. Reintegración volumétrica en pasta cerámica PA tras la cocción. Fuente propia.

5.3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en cada uno de los materiales utilizados en la experimentación de nuevas formas de reintegración volumétrica son valorados bajo los criterios de; resolución final de la reintegración, viabilidad de los procesos, compatibilidad del material con respecto a la materia prima original de la pieza, coste económico, mínima manipulación del objeto intervenido y responsabilidad medioambiental del proceso y del material empleado. A continuación, se describen los resultados de cada una de las **tres** reintegraciones volumétricas obtenidas en la experimentación concluyendo con una evaluación final de cada reintegración según los resultados obtenidos.

5.3.1. Reintegración volumétrica en resina de impresión 3D Ceramic Resin



Figura 53. Reintegración volumétrica en resina de impresión 3D Ceramic Resin, resultado final. Fuente propia.

Resolución final de la reintegración:

Los resultados obtenidos en los exámenes de los cambios dimensionales de la resina Cerámico resin, demuestran que el producto final de la reintegración no se ve vinculado a los cálculos de deformación establecidos por el fabricante, dando como resultado una deformación no controlada. La resolución obtenida en esta reintegración volumétrica se ve superada a la deformación producida en el objeto, el cual presenta fisuras producidas por las capas de impresión (figura 54). El alto contenido en sílice y la no generación de fase vítrea del material por falta de fundentes, generan que la estabilidad dimensional y la resistencia mecánica del producto obtenido sea insuficiente. A pesar de ello la resolución obtenida en las improntas es bastante favorable (figura 55).



Figura 54. Fisuras en la superficie de la reintegración volumétrica obtenida en el material Ceramic Resin. Fuente propia.



Figura 55. Resolución de la impronta obtenida en la reintegración volumétrica con el material Cerami Resin. Fuente propia.

Viabilidad del proceso:

El uso de este material se ve totalmente limitado a un modelo de impresora 3D, la Form 2. Este hecho delimita cualquier posibilidad de ejecución debido a la dependencia total de un tipo de impresora. También implica la necesidad de un horno de cocción cerámico de alta temperatura indispensable para la sinterización de la resina la cual necesita una temperatura de 1271°C. Por otro lado, el factor incontrolable de deformación de este material da pie a la realización de múltiples pruebas, esto se debe a que el factor de deformación variará según la morfología de la reintegración volumétrica a realizar.

Compatibilidad con la materia original de la mancerina:

La pieza obtenida en esta reintegración volumétrica tiene un alto contenido en sílice, corroborado gracias a la comparativa de espectros FT-IR realizados en las muestras de resina cerámica que nos indican la pérdida del componente sintético del material en el proceso de cocción, por lo que la compatibilidad con la loza, materia prima original de la pieza, se ve sustentada por la composición de ambos materiales.

Coste económico:

La herramienta más significativa para valorar en el coste económico del proceso es la impresora Form 2 con un precio de mercado de 3.000 euros aproximadamente. Por otro lado, la Ceramic Resin de la casa Formlabs tiene un coste total de 130 euros el litro. Además, es necesario disponer de un horno cerámico de alta temperatura para concluir el proceso.

La mínima manipulación del objeto original:

La manipulación a la que es sometida la pieza original se limita al procedimiento del escaneado. En ocasiones no es necesaria la manipulación de la pieza. Cabe destacar que la pieza original solo se verá manipulada en el proceso de comprobación de la reintegración y en su posible integración.

Responsabilidad medioambiental del proceso y del material empleado:

El proceso de impresión 3D en este material está señalado por un control exhaustivo de los residuos. Esta resina de impresión 3D, en contacto con la piel, puede generar daños graves a la persona encargada de la ejecución del proceso, además los sobrantes producidos deben ser trasladados como residuos peligrosos, ya que afectan a organismos acuáticos y provocan efectos nocivos duraderos.

5.3.2. Reintegración volumétrica en filamento de impresión PLA E.P.



Figura 56. Reintegración volumétrica en filamento de impresión PLA E.P. resultado final. Fuente propia.

Resolución final de la reintegración:

La reintegración en filamento PLA E.P. ha dado como resultado una alta resolución conforme al encaje de la pieza en la parte faltante de la mancerina (figura 57). Uno de los factores que han influido en su resolución es la propia ejecución, que se limita al modelado y la impresión directa de la reintegración final (figura 58).



Figura 57. Superficie de la reintegración volumétrica obtenida en el material PLA E.P. Fuente propia.



Figura 58. Resolución de la impronta obtenida en la reintegración volumétrica con el material PLA E.P. Fuente propia.

Viabilidad del proceso:

En cuanto a la viabilidad, este material puede ser impreso en cualquier impresora 3D que funcione con la tecnología de deposición fundida. Por lo que puede ser impreso en una amplia gama de impresoras 3D de bajo coste.

Compatibilidad con la materia original de la mancerina:

Como ya se ha descrito en este trabajo, el PLA E.P. es un ácido poliláctico con contenido en carbonato cálcico. La compatibilidad con el material cerámico viene dada por la proporción en carbonato cálcico que contiene el producto, y la estabilidad que ofrece el ácido poliláctico en condiciones ambientales controladas. Aun así, es interesante seguir investigando sobre este material y su uso en patrimonio.

Coste económico:

La herramienta más significativa para valorar en el coste económico del proceso es la impresora. En el caso de la ejecución de la impresión en este material se utilizó la impresora 3D Ender 3 Pro de la casa Creality, que tiene un coste aproximado de 160 euros. Por otro lado, la bobina de filamento PLA E.P tiene un coste total de 15 euros por kilo de filamento.

La mínima manipulación del objeto intervenido:

La manipulación a la que es sometida la pieza original se limita al procedimiento del escaneado. En ocasiones no es necesaria la manipulación de la pieza. Por otro lado, la pieza original solo se verá manipulada en el proceso de comprobación de la reintegración y en su posible integración.

Responsabilidad medioambiental del proceso y del material empleado:

El impacto medioambiental que se genera tras una impresión 3D en esta tipología de filamento se minimiza al proceso de calentamiento del material que puede provocar emisiones mínimas de CO₂. Por otro lado, los filamentos de PLA son generados por medio de recursos naturales, son biodegradables, reciclables, respetuosos con el medioambiente y están siendo el punto de mira para ser sustitutivos de plásticos derivados del petróleo¹¹³.

¹¹³ ELSAWY, M. A; et al, 2017. Op. Cit. p 1346

5.3.3. Reintegración volumétrica en pasta cerámica PA



Figura 59. Reintegración volumétrica en pasta cerámica PA, resultado final. Fuente propia.

Resolución final de la reintegración:

La reintegración realizada en pasta cerámica PA ha dado como resultado una resolución conforme al encaje de la pieza en la parte faltante de la mancerina (figura 60). La resolución obtenida está estrechamente vinculada al proceso de realización del molde, la granulometría de la pasta cerámica y al proceso de positivado. Al ser necesaria la ejecución de un positivo por apretón y teniendo en cuenta el factor de contracción de la pasta, podemos determinar que en el proceso se ha dado lugar una pequeña pérdida de resolución tolerable (figura 61).



Figura 60. Superficie de la reintegración volumétrica obtenida en pasta cerámica PA. Fuente propia.

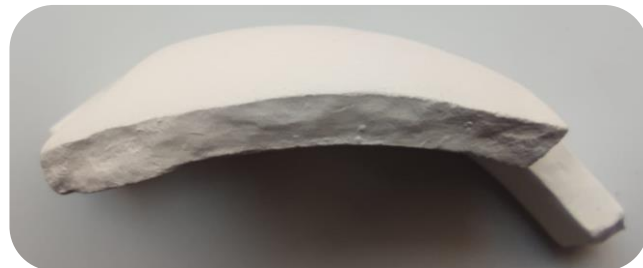


Figura 61. Resolución de la impronta obtenida en la reintegración volumétrica con la pasta cerámica PA. Fuente propia.

Viabilidad del proceso:

En cuanto a la viabilidad de los procesos de ejecución de esta reintegración, podemos destacar que es necesario el uso de una impresora 3D que utilice cualquier tecnología y pueda reproducir una reconstrucción en una resolución mínima o superior a 0.08 mm, para luego poder generar un molde de alta calidad. Además, el uso de un horno cerámico es determinante para obtener una reconstrucción volumétrica definitiva en pasta cerámica cocida.

Compatibilidad con la materia original de la mancerina:

La pasta cerámica PA ha sido seleccionada por ser una pasta muy similar a la de la mancerina, es por lo que se le considera el material más afín y compatible con la pieza original.

Coste económico:

La producción de esta reintegración conlleva el uso de determinadas herramientas como son una impresora 3D de cualquier tipología, el uso de un material de reproducción por impresión 3D, las herramientas y materiales para la ejecución de un molde, el corte de la pasta cerámica que en este caso ha sido 7.50 euros la pastilla de doce quilos, y el uso de un horno cerámico.

La mínima manipulación del objeto intervenido:

La manipulación a la que es sometida la pieza original se limita al procedimiento del escaneado. En ocasiones no es necesaria la manipulación de la pieza. Por otro lado, la pieza original solo se verá manipulada en el proceso de comprobación de la reintegración y en su posible integración.

Responsabilidad medioambiental del proceso y del material empleado:

El impacto medioambiental que se genera en la reproducción de la reintegración volumétrica en pasta cerámica está estrechamente vinculado a la reproducción necesaria para la ejecución del molde por medio de impresión 3D. El uso de la impresora Ender 3 pro y el material de reproducción PLA limitan su impacto medioambiental a la medición mínima de CO₂ en el conformado, por otro lado, los procesos de ejecución del molde vienen dando por el uso del material empleado y su proceso de fabricación.

Tras valorar los resultados obtenidos en cada una de las reintegraciones podemos destacar que:

- En cuanto a la resolución final de cada una de las reintegraciones, destaca la obtenida en el filamento PLA E.P. Este material no presenta cambios ni deformaciones dimensionales en el proceso de producción, por lo que la pieza obtenida es la impresión 3D definitiva.
- Con respecto a la viabilidad del proceso de ejecución para obtener la reintegración final, sobresale el filamento PLA E.P. debido a que el resultado final se obtiene directamente de la impresión 3D, por otro lado, aunque el procedimiento para elaborar la reintegración en pasta cerámica PA conlleva una serie de pasos más complejos en su producción, el resultado final es igual de válido.
- La compatibilidad con el material original está sujeta al uso de materiales compatibles. Los materiales propiamente cerámicos son la pasta cerámica PA que fue elegida por su semejanza con la pasta original de la pieza y la resina de impresión 3D Ceramic Resin, que tras su sinterización se obtiene un material cerámico. Por otro lado, encontramos el filamento PLA E.P. que desde un inicio fue seleccionado por su gran estabilidad en ambientes controlados y su contenido en carbonato cálcico.
- En el criterio de mínima manipulación del objeto intervenido se subraya que todas las ejecuciones han sido elaboradas bajo procedimientos no invasivos.
- Por último, se destacan los materiales pasta cerámica PA y PLA E.P. por su mínimo impacto con el medioambiente, señalando este último como posible sustitutivo de los plásticos derivados del petróleo.

A continuación, se expone la valoración final de cada uno de los resultados obtenidos según los criterios aplicados. La valoración es reflejada mediante una puntuación del 1 al 5, siendo el 5 el valor más alto.

TABLA 15. VALORACIÓN FINAL

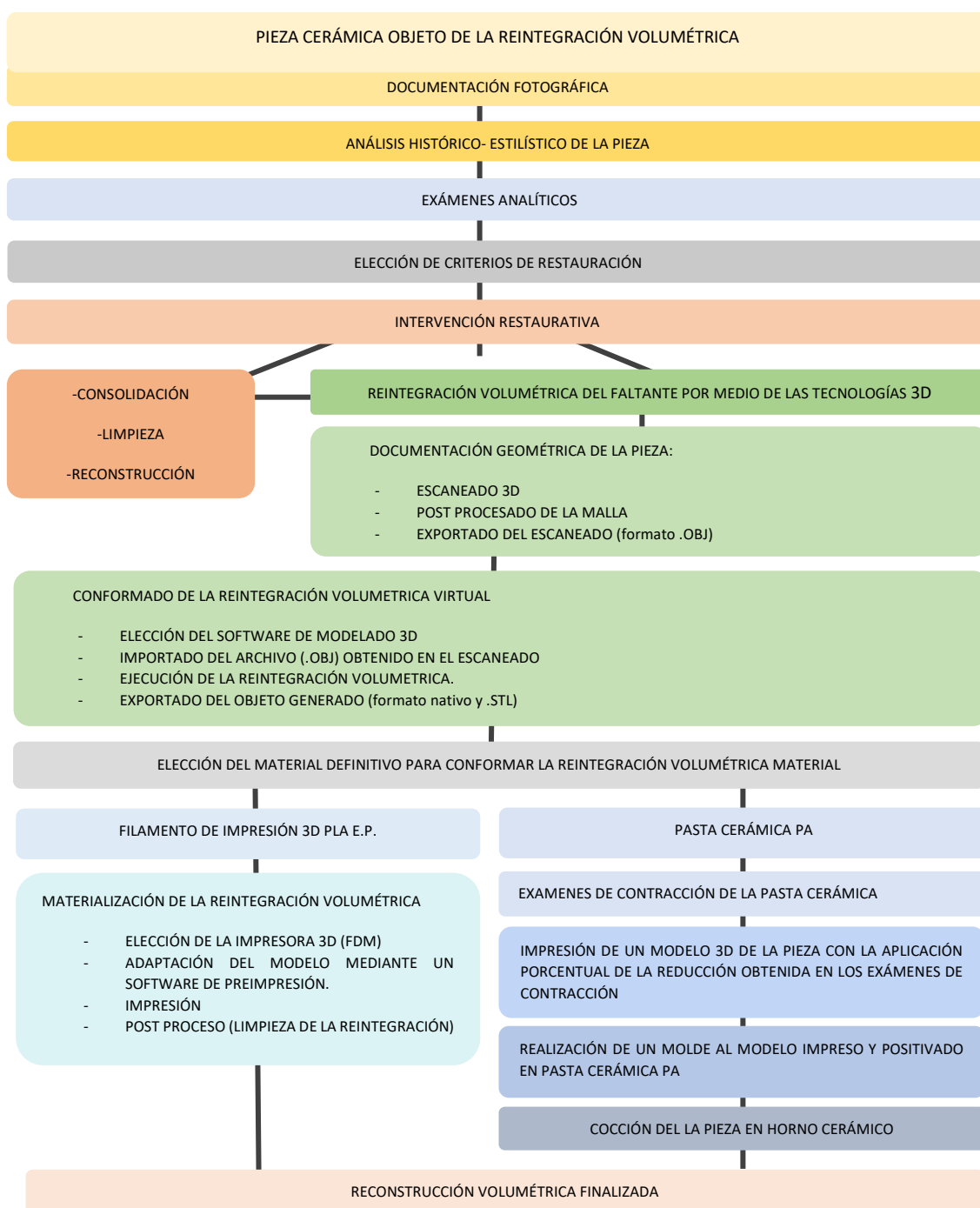
Criterios de evaluación	Reintegración volumétrica en resina de impresión 3D Ceramic Resin:	Reintegración volumétrica en filamento de impresión PLA E.P.:	Reintegración volumétrica en pasta cerámica PA:
Resolución	3	5	4
Viabilidad	2	5	4
Compatibilidad	5	4	5
Coste económico	2	5	4
Mínima manipulación	5	5	5
Responsabilidad medioambiental	3	5	5

Tabla 15. Tabla de valoraciones en las reintegraciones volumétricas finales. Fuente propia.

Capítulo VI Redacción del protocolo

6. Protocolo de actuación para la realización de reintegración volumétrica de faltantes cerámicos.

Los resultados de este trabajo ofrecen la posibilidad de elaborar un protocolo de actuación para futuras reintegración volumétrica en objetos patrimoniales y artísticos de tipología cerámica. El protocolo que a continuación se expone servirá como guion de los pasos a seguir para realizar reintegraciones volumétricas no invasivas con la ayuda de las tecnologías 3D. Para el seguimiento de este protocolo se pueden elegir los materiales PLA E.P. y pasta Cerámica PA; cuyos resultados han sido comprobados en este estudio.



CONCLUSIONES

El empleo de las tecnologías de escaneo, modelado e impresión 3D ofrecen la posibilidad de ejecutar reintegraciones volumétricas no invasivas, además de poder experimentar con nuevos materiales de reintegración. La documentación geométrica obtenida mediante el escaneo 3D de la mancerina ha permitido la propia documentación y registro de la pieza original, además de la posibilidad de manipular el objeto de forma virtual. Mediante el modelado 3D, se han podido generar tres tipos de reintegraciones volumétricas de la parte faltante de la pieza que, gracias a la tecnología de impresión 3D se han podido materializar y evaluar. La elaboración de la pieza resultante por un procedimiento mecánico, en el que no interviene la destreza manual de un restaurador sobre la ejecución de la pieza faltante, hace que el resultado de esta pieza sea más objetivo.

Los materiales PLA E.P. y pasta cerámica PA han resultado ser los más adecuados a los criterios de intervención y, concretamente el PLA E.P., ha sido el que más facilidades ofrece a la hora de producir piezas con él. La deformación no controlada y la falta de resistencia mecánica del material Ceramic Resin han impedido la valorización de éste como un material adecuado para la reintegración.

Hasta el momento, no se ha localizado publicación o referencia alguna al uso del filamento PLA E.P. en la esfera de la restauración, siendo en esta ocasión, la primera vez que se realiza un ensayo en un objeto artístico. Su utilización y las consecuencias de ésta debe ser valorada y estudiada en el futuro. Queda abierta, además, la posibilidad de su aplicación en intervenciones de otras disciplinas y áreas de patrimonio más allá de la cerámica. De igual manera, en este estudio, el PLA E.P. y la pasta cerámica PA ha cumplido con las expectativas y necesidades planteadas.

Debido a la relativa novedad del uso en patrimonio de las tecnologías 3D, aún existen carencias investigadoras en el marco que defina los criterios y la legislación pertinente. Es necesario que la comunidad enfoque su mirada en estas nuevas posibilidades y que los organismos competentes elaboren una teoría que pueda ser compartida por los distintos profesionales, con el objetivo de aprovechar las nuevas herramientas y mejorar la eficacia de las intervenciones.

GLOSARIO

- Boolean:** modificador de Blender que permite usar otras formas para cortar, combinar o realizar una operación de sustracción. Esta herramienta es clave para trasladar la impronta de la rotura al objeto de la reconstrucción de forma negativa.
- CAD:** diseño asistido por computadora.
- Documentación geométrica:** documentación de objetos tridimensionales que, mediante determinadas técnicas de registro se obtienen la forma, dimensiones, medidas y posición en el espacio de un objeto patrimonial.
- Escala de evidencia histórico-arqueológica:** forma de diferenciar los estratos representados en las reconstrucciones virtuales según su nivel de autenticidad mediante diferentes cromatismos.
- FDM:** Siglas del inglés de Fused Deposition Modeling.
- Formato nativo:** Formato nativo del software .Blender File.
- Fotogrametría:** técnica analítica de rigor científico, recomendada para documentar y catalogar objetos y lugares patrimoniales por la UNESCO.
- Jícara:** vaso de loza de la alfarería, suele venir asociada a la mancerina que sirve de soporte y plato de presentación de bebidas calientes.
- Mancerina:** plato con forma de concha. En el centro tiene un pequeño soporte redondo generalmente con pequeños orificios donde se posicionaba un vaso denominado jícara, en este vaso se vertían contenidos calientes como el chocolate o el café, permitiendo a los comensales poder degustar las bebidas calientes sin llegar a tocar el vaso. El plato en este caso servía también de bandeja para colocar dulces. Su creación se atribuye al Marques de Mancera.
- Modificador:** permiten agregar una operación o efecto procedural al objeto activo.
- OBJ:** Formato de archivo CAD que define la geometría de objetos 3D desarrollado por Wavefront Technologies.
- SLA:** Siglas del inglés stereolithography.
- Solidify:** modificador de Blender que permite agregar un grosor para la superficie.
- STL:** Formato de archivo CAD que define la geometría de objetos 3D. Siglas STL: STereoLithography.
- Triangulación:** La triangulación es un término originariamente usado en los círculos de navegación por tomar múltiples puntos de referencia para localizar una posición desconocida.
- Visualización computacional:** Proceso de representación gráfica de información con ayuda de las nuevas tecnologías.

BIBLIOGRAFÍA

- ARIAS VALENCIA, María Mercedes. La triangulación metodológica: sus principios, alcances y limitaciones. *En: Investigación y educación en enfermería*. Valencia, 2000. vol. 18, no 1.
- ÁVILA RODRÍGUEZ, María. *Aplicación de la tecnología 3D a las técnicas de documentación, conservación y restauración de bienes culturales*. Santos Gomez, S; Bastir, M (dir.). Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 2019.
- BAEZA, E; MENÉNDEZ, S.; RODRIGO, A. *La reintegración en materiales paleontológicos. Criterios utilizados. Justificación y propuestas de intervención en el museo geominero*. *En La restauración en el siglo XXI: función, estética e imagen*, Madrid: Igme, 2009.
- BRADY, G.; CHU, T-M; HALLORAN, J.W. Curing behavior of ceramic resin for stereolithography. *En: International Solid Freeform Fabrication Symposium*, 1996. p.405. [en línea] The University of Texas at Austin [consulta: 19 abril 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2152/70264>
- BOSCH REIG, F.; YUSA MARCO, D.J. *Análisis químico instrumental ultravioleta-visible e infrarrojo aplicado al patrimonio cultural. Un enfoque práctico*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València, 2015.
- BONNEVAL, H.; CARBONNELL, M.; HOTTIER, P. *Photogrammétrie générale*, 1972.
- BUILL POZUELO, Felipe. Técnicas de levantamiento fotogramétrico de estructuras antiguas: ejemplo de las murallas de Barcelona y de Alepo. *En: Actas del XXXIV Curset. Jornadas Internacionales sobre la intervención en el Patrimonio Arquitectónico, Fortificaciones, intervenciones en el patrimonio defensivo*, 2013. [en línea]. Ministerio de Educación, Política Social y Deporte. Subdirección General de Información y Publicaciones, pp. 81-86 [Consultado en 15 abril 2031] Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/17628>
- CARRASCOSA MOLINER, Begoña. *La Conservación y Restauración de Objetos Cerámicos Arqueológicos*. Madrid: Editorial Tecnos, 2009.
- CARRASCOSA MOLINER, Begoña. *Iniciación a la conservación y restauración de objetos cerámicos arqueológicos*, Valencia: Editorial UPV, 2006.
- CARTA DE LONDRES. *La carta de Londres para la visualización computarizada del patrimonio cultura*, 2009. [en línea] [consultado: 5 marzo 2021] Disponible en: www.londoncharter.org
- CARTA DEL RESTAURO de 1972.
- COLL CONESA, Jaume. *La cerámica valenciana: (apuntes para una síntesis)*. Asociación Valenciana de Cerámica, 2009.
- David SLS-3. *Manual de usuario*. 2015
- DÍAZ MARÍN, María del Carmen. *Desarrollo metodológico para la aplicación de técnicas de adquisición e impresión 3D en conservación y restauración de vidrio arqueológico, y caracterización de materiales relacionados con la fase de reconstrucción*. Aura Castro, E. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València. 2017.
- DÍAZ MARÍN, M. D. C; AURA CASTRO, E. Restauración de vidrio arqueológico: reconstrucción de fragmentos faltantes mediante modelado e impresión 3D. *En: 8th International congress on archaeology, computer graphics, cultural heritage and innovation*. Editorial Universitat Politècnica de València, 2016.

- DI MAIO, L; et al. Effect of polymer/organoclay composition on morphology and rheological properties of polylactide nanocomposites. En: *Polymer Composites*, 2015. vol. 36, no 6.
- DOMÉNECH CARBÓ, María Teresa. *Análisis químico y examen científico de patrimonio cultural*. Madrid: Síntesis, 2018.
- ELSAWY, M.A; et al. Hydrolytic degradation of polylactic acid (PLA) and its composites. En: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. vol. 79.
- ESCRIVÁ DE ROMANÍ, Manuel. *Historia de la cerámica de Alcora: estudio crítico de la fábrica, recetas originales de sus más afamados artifices, antiguos reglamentos de la misma*. Fortanet, 1919.
- España. Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de julio de 1985, núm. 155. p. 20342-20352.
- FACTUM ARTE. *Digitalización en 3D para conservación del patrimonio cultural*, 2019. [en línea]. Factum Arte, 2019 [consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <http://www.factum-arte.com/pag/706/Digitalizaci3n-en-3D-para-conservaci3n-del-patrimonio-cultural>
- FACTUM ARTE. *Facsimile of the Dama de Elche*, 2016. [vídeo]. Recuperado de: <http://www.factum-arte.com/pag/47/Facsimile-of-the-Dama-De-Elche>
- FORMLABS. *Usage and design guide Ceramic Resin*, 2018. p 7.
- GONZÁLEZ MUÑOZ, M. J.; et al. Uso de sistemas basados en escáner 3D para digitalización y estudio del patrimonio arqueológico. En: *Virtual Archaeology Review*, 2010. vol. 1, no 1.
- GRIFFITH, M. L.; HALLORAN, J. W. Freeform fabrication of ceramics via stereolithography. En: *Journal of the American Ceramic Society*, 1996. vol. 79, no 10.
- HIROX EUROPE, 2020. [en línea] [consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: <http://hirox-europe.com/PEARL/3D/>
- INSTITUTO ANDALUZ DE PATRIMONIO HISTÓRICO, CONSEJERÍA DE CULTURA, *Recomendaciones técnicas: Recomendaciones Técnicas para la documentación geométrica de entidades patrimoniales 07*, 2011. [en línea]. Andalucía: Junta de Andalucía. [Consultado en 6 de abril de 2021]. Disponible: https://www.iaph.es/export/sites/default/galerias/patrimonio-cultural/documentos/gestion-informacion/recomendaciones_tecnicas_documentacionm_geometrica.pdf
- JORQUERA ORTEGA, Adam. *Fabricación digital: Introducción al modelado e impresión 3D*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2016.
- LERMA, J; BIOSCA, J. *Teoría y práctica del escaneado láser terrestre. Material de aprendizaje basado en aplicaciones prácticas. Preparado por el proyecto Herramientas de aprendizaje para el levantamiento tridimensional avanzado en la conciencia de riesgos (3DRiskMapping)*, 2008. vol. 5.
- LÓPEZ ESCOGIDO, Daniel. *Escáner 3D de Alta Precisión*. De la Fraga, L. G (dir.). Tesis doctoral. Centro de investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México. 2016.
- LUPIÓN ÁLVAREZ, J; ARJONILLA ÁLVAREZ, M. La cerámica aplicada en arquitectura: hacia una normalización de los criterios de intervención. En: *Ge-conservación*, 2010. vol. 1
- MADOZ E IBAÑEZ, Pascual. *Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de Alicante, Castellón y Valencia, Tomo I*. Valencia: Edicions Alfons el Magnànim, Institució Valenciana d'estudis i Investigació, 1987.
- MARZINOT, Federico. *Ceramica e cioccolato tra vecchio e nuovo Mondo*. Libri, atti e raccolte di saggi, 2006.

- MARTIN PIÑERO, B; MADRID GARCÍA, J; BACHILLER MARTÍN, C. Impresión 3D: aplicaciones en el patrimonio. En: *18ª Jornadas de Arte Contemporáneo*. Madrid: Museo Reina Sofía, 2017.
- MARTIN, O; AVÉROUS, L. Poly (lactic acid): plasticization and properties of biodegradable multiphase systems. En: *Polymer Composites*, 2001. vol. 42, no 14.
- MEJÍA FLORES, Heriberto Julio. Ventajas Y Desventajas de las impresoras 3D. En: *Revista Tecnológica*. 2016. vol. 12.
- MINISTERIO DE CULTURA. Decálogo de la restauración. Criterios de intervención en bienes muebles, 2007.
- MUSEO DEL PRADO. *La obra invitada: El San Juanito Recuperado. Una escultura de miguel Ángel en España*, 2015. [en línea] [consultado: 7 marzo 2021] Disponible: <https://www.museodelprado.es/actualidad/exposicion/la-obra-invitada-el-san-juanito-recuperado-una/4805976b-3be5-47fc-8535-15d04fa046f4>.
- NEBOT DIAZ, E. *Estudio y análisis de la obra de Joseph Ferrer Almiñana. La manufactura de loza durante los siglos XVIII Y XIX en la localidad de Ribesalbes (Castellón). Caracterización arqueométrica*. Bernal Navarro, J.C; Nebot, Diaz, I Collado Lozano, M (dir). Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València, 2014.
- PASÍES OVIEDO, Trinidad. Reconstrucciones desmontables como alternativa reversible en el proceso de reintegración de materiales arqueológicos. En: *Grupo Español de Conservación*, 2012. Nº 3.
- PITARCH, A. J; MCQUADE, M.C. *Colección de cerámica de Alcora: The Hispanic Society of America: [exposición]*. Morella (Castellón): Fundación Blasco de Alagón, 2005.
- PRINCIPIOS DE SEVILLA. *Principios internacionales de Arqueología Virtual. Forum Internacional de Arqueología Virtual*. 2011
- RESCO, P; FIGUEIREDO, C. El grado de evidencia histórico-arqueológica de las reconstrucciones virtuales: hacia una escala de representación gráfica. En: *Revista Otarq: Otras arqueologías*, 2017. [en línea] no 1, p. 235-247. [consultado: 29 marzo 2021] Disponible: <http://revistas.jasarqueologia.es/index.php/otarq/article/view/96>
- SERNA, L; et al. Ácido poliláctico (PLA): Propiedades y aplicaciones. En: *Ingeniería y competitividad*, 2003. vol. 5, no 1,
- TORRE-CANTERO, J, et al. Creación de réplicas de patrimonio escultórico mediante reconstrucción 3D e impresoras 3D de bajo coste para uso en entornos educativos. En: *Arte, individuo y Sociedad*, 2015. nº 27.
- VALLE MELÓN, José Manuel. *Documentación geométrica del patrimonio: propuesta conceptual y metodológica*. Felix Sanz, A (dir.). Tesis Doctoral. Universidad de la Rioja. 2007.

ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICOS.

- **Figura 1.** Plato de mancerina, Loza. Real Fábrica de Alcora, serie “del Ramito”. Colección privada. Fuente propia.
- **Figura 2.** Espectro resultado del análisis de la pasta cerámica realizado al busto cerámico del conde de Aranda. Fuente: THSA,2005. Figura extraída de: PITARCH, A. J; MCQUADE, M.C. Colección de cerámica de Alcora: The Hispanic Society of America: [exposición]. Morella (Castellón): Fundación Blasco de Alagón, 2005.
- **Figura 3.** Detalle de la pintura “El cacharrero” de Goya, vajilla de estilo del Ramito. Fuente: Museo del Prado. Figura extraída de: <https://www.museodelprado.es/coleccion/obra-de-arte/el-cacharrero/d2a0e6c3-ab19-492d-bf68-3d9fedaafb52>
- **Figura 4.** “El cacharrero” Goya. Fuente: Museo del Prado. Figura extraída de: <https://www.museodelprado.es/coleccion/obra-de-arte/el-cacharrero/d2a0e6c3-ab19-492d-bf68-3d9fedaafb52>
- **Figura 5.** Mancerina original perteneciente al Museo de cerámica de Alcora. Fuente: CERES. Figura extraída de: <http://ceres.mcu.es/pages/Viewer?accion=4&AMuseo=MNC&Ninv=CE1/13544>
- **Figura 6.** Mancerina perteneciente al Museo Nacional de Cerámica y Artes Suntuarias González Martín. Fuente: CERES. Figura extraída de: <http://ceres.mcu.es/pages/Viewer?accion=4&AMuseo=MNC&Ninv=CE1/01271>
- **Figura 7.** Mancerina original perteneciente al Museo de cerámica de Alcora. Fuente: CERES. Figura extraída de: <http://ceres.mcu.es/pages/Viewer?accion=4&AMuseo=MNC&Ninv=CE1/12924>
- **Figura 8.** Escaneado mediante luz estructurada en la tumba de Tutankamón. Fuente: FACTUM ARTE 2009. Figura extraída de: https://www.factum-arte.com/resources/files/fa/articles/2014_10_06_Revista_Clio.pdf
- **Figura 9.** Macrofotografía del modelo obtenido mediante escaneado 3D de alta resolución. Detalle de la perla de la pintura “La Joven de la Perla” de J. Vermeer. Fuente: Hirox 2020. Figura extraída de: <http://hirox-europe.com/PEARL/3D/>
- **Figura 10.** Malla obtenida mediante escaneado 3D de alta resolución. Detalle de la perla de la pintura “La Joven de la Perla” de J. Vermeer. Los tonos cálidos de la maya pertenecen a los levantamientos mientras que los tonos fríos a los hundimientos de la película pictórica. Fuente: Hirox 2020. Figura extraída de: <http://hirox-europe.com/PEARL/3D/>
- **Figura 11.** Escultura de San Juan Bautista Niño de Miguel Ángel. Fuente: Museo del Prado 2015. Figura extraída de: <https://www.museodelprado.es/actualidad/exposicion/la-obra-invitada-el-san-juanito-recuperado-una/4805976b-3be5-47fc-8535-15d04fa046f4>
- **Figura 12.** Fragmento, dibujo arqueológico y reconstrucción 3D (cuenco Mayet XXXIII). Fuente: APARICIO. P. 2013. Figura extraída de: <https://parpatrimonioytecnologia.wordpress.com/2013/06/12/reconstruccion-3d-de-tipologias-ceramicas/>
- **Figura 13.** (a) objeto original, (b) modelo 3D del objeto, (c) modelo e implante 3D, (d) implante 3D, (e) Implante impreso y (f) objeto original con el implante. Fuente: DÍAZ, M. 2016. Figura extraída de: DÍAZ MARÍN, M. C; AURA CASTRO, E. "Restauración de vidrio arqueológico: reconstrucción de fragmentos faltantes mediante modelado e impresión 3D". In 8th International congress on archaeology, computer graphics, cultural heritage and innovation. Editorial Universitat Politècnica de València, 2016.
- **Figura 14.** Facsímil de la campana de Cellini. Fuente: Factum Arte 2021. Figura extraída de: <https://www.factum-arte.com/pag/1346/fotogrametria>
- **Figura 15.** Reconstrucción volumétrica de faltante en cuenco de vidrio perteneciente al Museo de Cerámica de Manises. Fuente:

- DÍAZ, M. 2016. DÍAZ MARÍN, M. C; AURA CASTRO, E. "Restauración de vidrio arqueológico: reconstrucción de fragmentos faltantes mediante modelado e impresión 3D". In 8th International congress on archaeology, computer graphics, cultural heritage and innovation. Editorial Universitat Politècnica de València, 2016.
- **Figura 16.** Croquis de la posición del objeto respecto al escáner 3D por luz estructurada. Fuente propia.
 - **Figura 17.** Visualización del software de escaneo. Fuente propia.
 - **Figura 18.** Mallas alineadas del escaneado total de la mancerina (escáner en calibración 60mm). Fuente propia.
 - **Figura 19.** Mallas alineadas del escaneado parcial de la mancerina (escáner en calibración 30mm). Fuente propia.
 - **Figura 20.** Fusión de las mallas del escaneado total de la mancerina (escáner en calibración 60mm). Fuente propia.
 - **Figura 21.** Fusión de las mallas del escaneado parcial de la mancerina (escáner en calibración 30mm). Fuente propia.
 - **Figura 22.** Importado del modelo obtenido en el escaneado. Fuente propia.
 - **Figura 23.** Modelado de la reconstrucción a partir de un nuevo objeto. Fuente propia.
 - **Figura 24.** Modelado del objeto siguiendo su morfología y criterios aplicados a la reintegración de faltantes. Fuente propia.
 - **Figura 25.** Aplicación de modificadores al modelo de la reconstrucción. Fuente propia.
 - **Figura 26.** Imagen renderizada de la reconstrucción de la mancerina, vista en perspectiva. Fuente propia.
 - **Figura 27.** Imagen renderizada de la reconstrucción de la mancerina, vista en planta. Fuente propia.
 - **Figura 28.** Curva de cocción de Ceramic Resin. Fuente: FORMLABS, 2017. Datos extraídos de: FORMLABS. Usage and design guide Ceramic Resin, 2018.
 - **Figura 47.** Aplicación de parámetros Preimpresión en el software Ultimaker Cura. Fuente propia.
 - **Figura 29.** Probetas 2,3,8 y 9-R colocadas sin soportes antes de la cocción. Fuente propia.
 - **Figura 30.** Probetas 4, 5, 6 y 7-R colocadas sobre soportes antes de la cocción. Fuente propia.
 - **Figura 31.** Soportes manufacturados individuales de ladrillo refractario y probetas 4, 5, 6 y 7. Fuente propia.
 - **Figura 32.** Curva de cocción de la pasta cerámica- PA. Fuente propia
 - **Figura 33.** Probetas tras la cocción. Fuente propia.
 - **Figura 34.** Dibujo de la Form 2 con las partes más relevantes y sus especificaciones generales. Fuente propia.
 - **Figura 35.** Dibujo de la Ender 3 Pro con las partes más relevantes y sus especificaciones generales. Fuente propia.
 - **Figura 36.** Modelos 3D de la reconstrucción. Izquierda: el modelo original de la reconstrucción; derecha: el modelo deformado de la probeta 7R. Fuente propia.
 - **Figura 37.** Configuración aplicada a la impresión mediante el software Preform. Fuente propia.
 - **Figura 38.** Soportes generados para hacer imprimible el objeto. Fuente propia.
 - **Figura 39.** Impresora Form 2 en la ejecución del modelo. Fuente propia.
 - **Figura 40.** Reintegración volumétrica impresa en Ceramic Resin. Fuente propia.
 - **Figura 41.** Lavado de probetas en alcohol isopropílico. Fuente propia.
 - **Figura 42.** Eliminación de soportes auxiliares. Fuente propia.
 - **Figura 43.** Depurado de imperfecciones en los puntos de contacto de los soportes auxiliares. Fuente propia.
 - **Figura 44.** Soporte de ladrillo refractario y pieza antes de la cocción. Fuente propia.
 - **Figura 45.** Horno de cocción cerámica Nabertherm modelo C 290. Fuente propia.
 - **Figura 46.** Reconstrucción volumétrica final en Ceramic Resin. Fuente propia.
 - **Figura 48.** Proceso de impresión de la reconstrucción en PLA E.P. por la impresora Ender 3 pro. Fuente propia.

- **Figura 49.** Reintegración volumétrica en PLA E.P. finalizada. Fuente propia.
- **Figura 50.** Modelos 3D de la reintegración. A la izquierda el modelo original, a la derecha el modelo escalado un 4,67%. Fuente propia.
- **Figura 51.** Proceso de realización del molde, a la izquierda la estructura inicial, en el centro la pieza principal y a la derecha el molde finalizado. Fuente propia
- **Figura 52.** Reintegración volumétrica en pasta cerámica PA tras la cocción. Fuente propia.
- **Figura 53.** Reintegración volumétrica en resina de impresión 3D Ceramic Resin, resultado final. Fuente propia.
- **Figura 54.** Fisuras en la superficie de la reintegración volumétrica obtenida en el material Ceramic Resin. Fuente propia.
- **Figura 55.** Resolución de la impronta obtenida en la reintegración volumétrica con el material Cerami Resin. Fuente propia.
- **Figura 56.** Reintegración volumétrica en filamento de impresión PLA E.P. resultado final. Fuente propia.
- **Figura 57.** Superficie de la reintegración volumétrica obtenida en el material PLA E.P. Fuente propia.
- **Figura 58.** Resolución de la impronta obtenida en la reintegración volumétrica con el material PLA E.P. Fuente propia.
- **Figura 59.** Reintegración volumétrica en pasta cerámica PA, resultado final. Fuente propia.
- **Figura 60.** Superficie de la reintegración volumétrica obtenida en pasta cerámica PA. Fuente propia.
- **Figura 61.** Resolución de la impronta obtenida en la reintegración volumétrica con la pasta cerámica PA. Fuente propia.
- **Tabla 1.** Resultados de los análisis realizados a las tierras empleadas para la fabricación de cerámica por la Real Fábrica del Alcora. Fuente: ESCRIVÁ DE ROMANÍ, 1919. Datos extraídos de: ESCRIVÁ DE ROMANÍ, M. Historia de la cerámica de Alcora: estudio crítico de la fábrica, recetas originales de sus más afamados artífices, antiguos reglamentos de la misma. Fortanet, 1919.
- **Tabla 2.** Resultado de los análisis realizados en testares de Alcora. Fuente: NEBOT DÍAZ, E, 2014. Datos extraídos de: NEBOT DIAZ, E. Estudio y análisis de la obra de Joseph Ferrer Almiñana. La manufactura de loza durante los siglos XVIII Y XIX en la localidad de Ribesalbes (Castellón). Caracterización arqueométrica, 2014. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.
- **Tabla 3.** Datos referentes de la fusión de los escaneos. Fuente propia.
- **Tabla 4.** Especificaciones del software Blender. Tabla de realización propia Leonor L.B.S. Fuente: BLENDER, 2021. Datos extraídos de: <https://www.blender.org/download/requirements/>
- **Tabla 5.** Componentes de la Ceramic Resin. Fuente: Formlabs, 2017 Datos extraídos de: FORMLABS. Ceramic resing safety data sheet, 2017.
- **Tabla 6.** Resultados de los análisis realizados por SEM-EDX a la Ceramic Resin. Fuente propia.
- **Tabla 7.** % de materia inorgánica a la Ceramic Resin. Fuente propia.
- **Tabla 8.** Composición de la pasta cerámica PA. Fuente: SiO2, 2021. SIO2. Ficha técnica. 2021.
- **Tabla 9.** Características técnicas de la pasta cerámica PA. Fuente: SiO2, 2021. SIO2. Ficha técnica. 2021.
- **Tabla 10.** Composición del filamento PLA E.P. Fuente: Smartmaterial3D, 2017. SMARTMATERIAL3D. Smartfil E.P. ficha tecnica. 2017.
- **Tabla 11.** Composición de la pasta original de la mancerina. Fuente propia.
- **Tabla 12.** Parámetros aplicados a las probetas. Fuente propia.
- **Tabla 13.** Resultados obtenidos tras la cocción de las probetas en resina Ceramic Resin. Fuente propia.
- **Tabla 14.** Resultados obtenidos de la contracción en secado y contracción por cocción. Fuente propia.
- **Tabla 15.** Tabla de valoraciones en las reintegraciones volumétricas finales. Fuente propia.

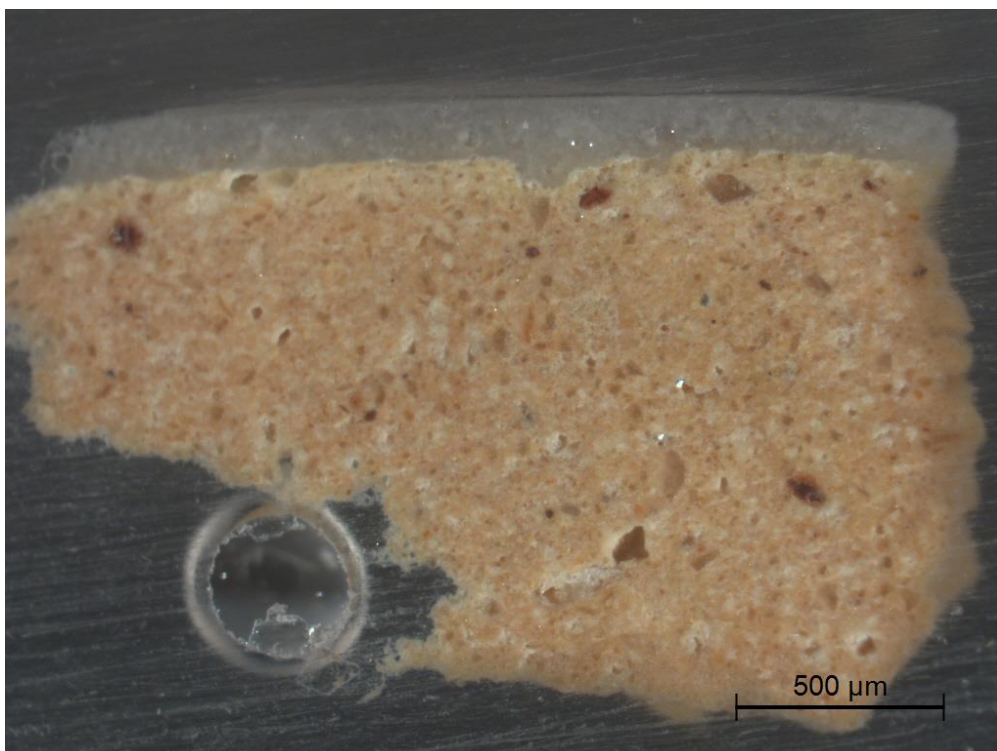
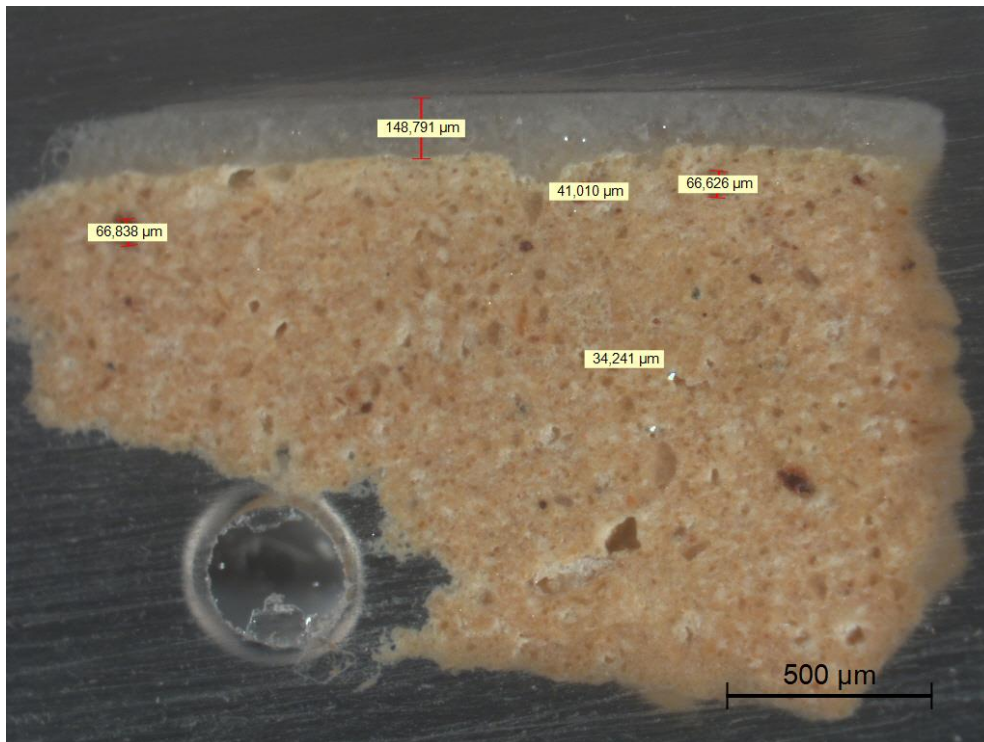
- **Gráfico 1.** Tabla comparativa de métodos de digitalización, los ejes hacen referencia al tamaño del objeto. Fuente: Luhmann, T, 2013. Datos extraídos de: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/9783110302783/htm>
- **Gráfica 2.** Espectro FT-IR Ceramic Resin. Fuente propia.

ANEXOS

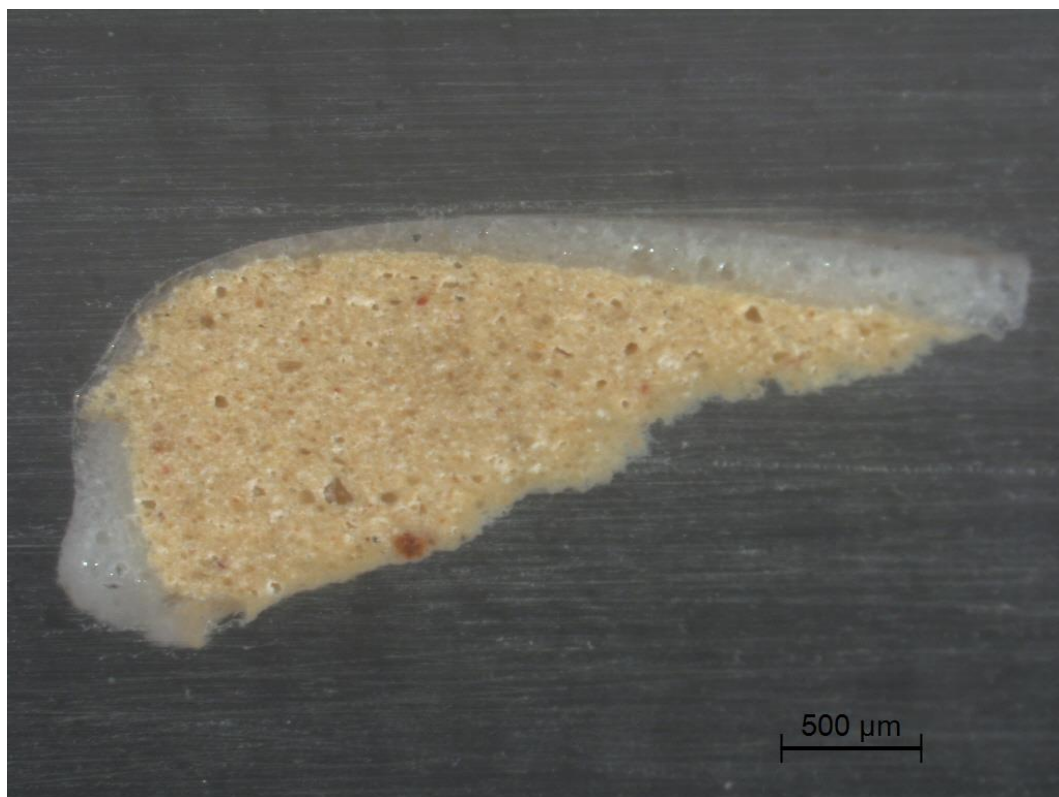
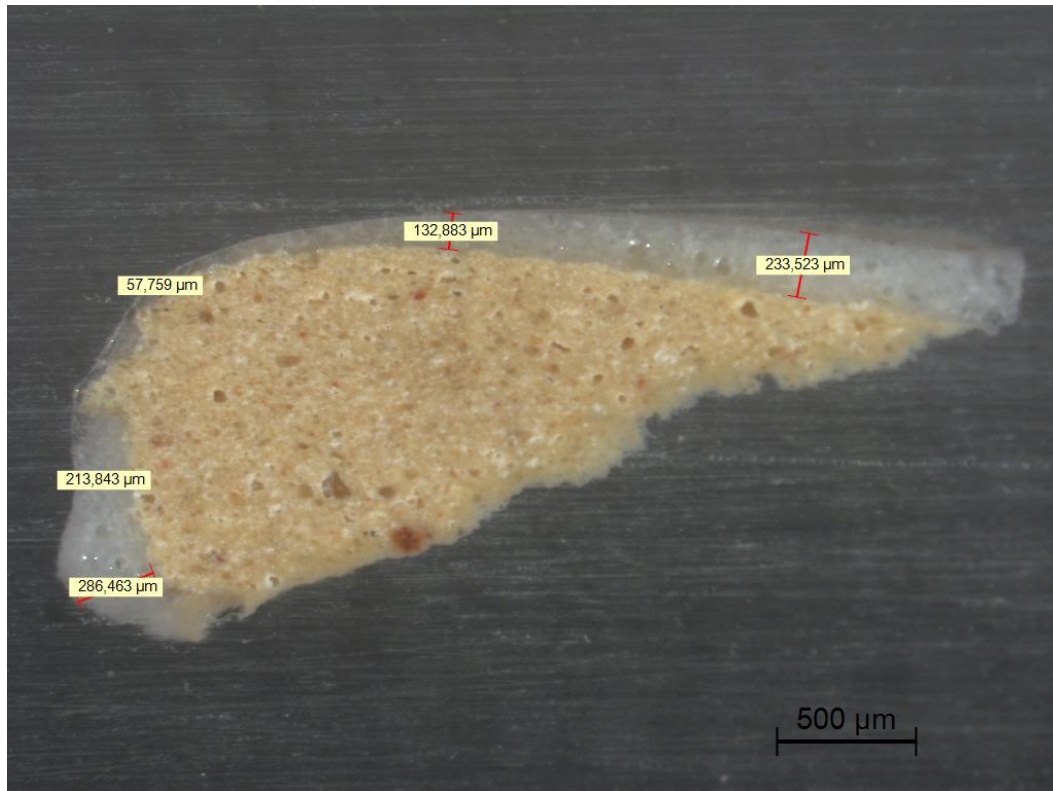
ANEXO 1. FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍAS CON LUPA BINOCULAR (MUESTRAS DE PASTA CERÁMICA DE LA MANCERINA)

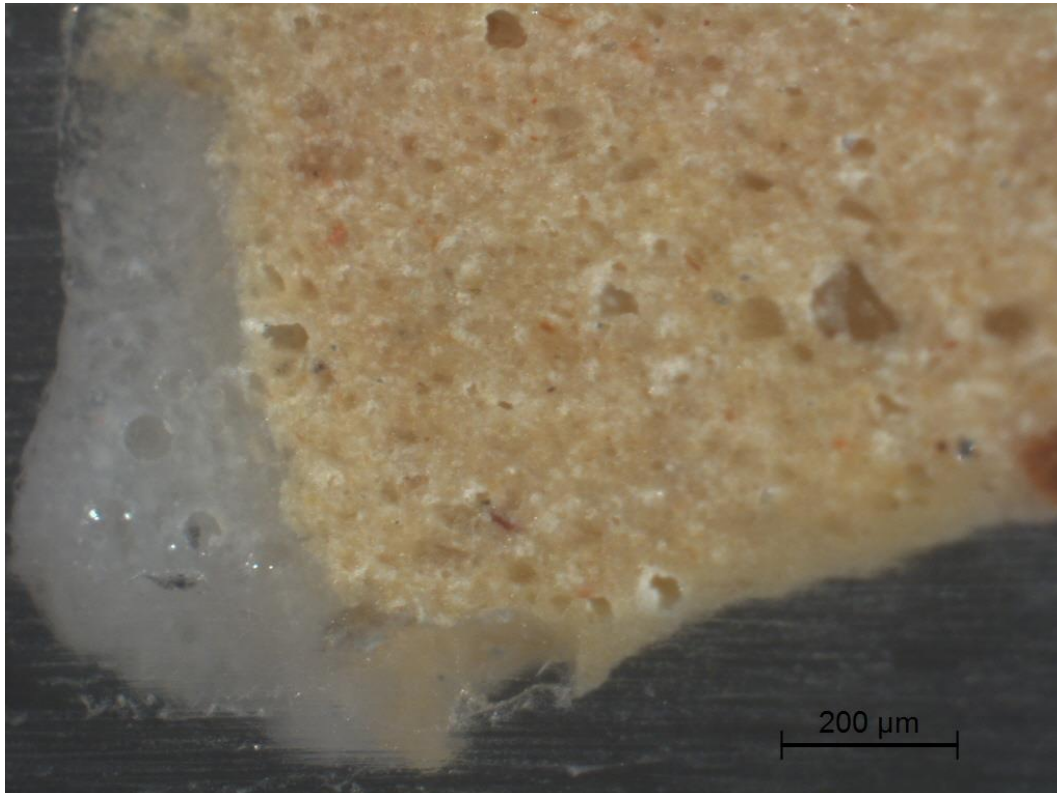
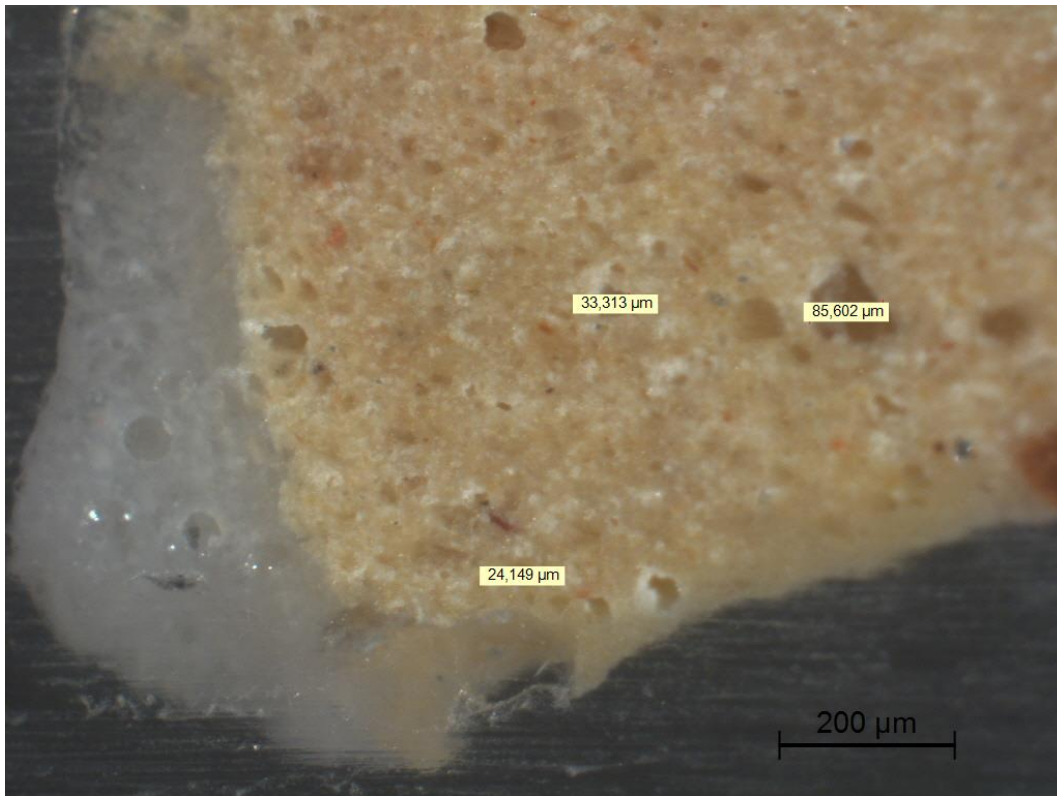
MUESTRA 1



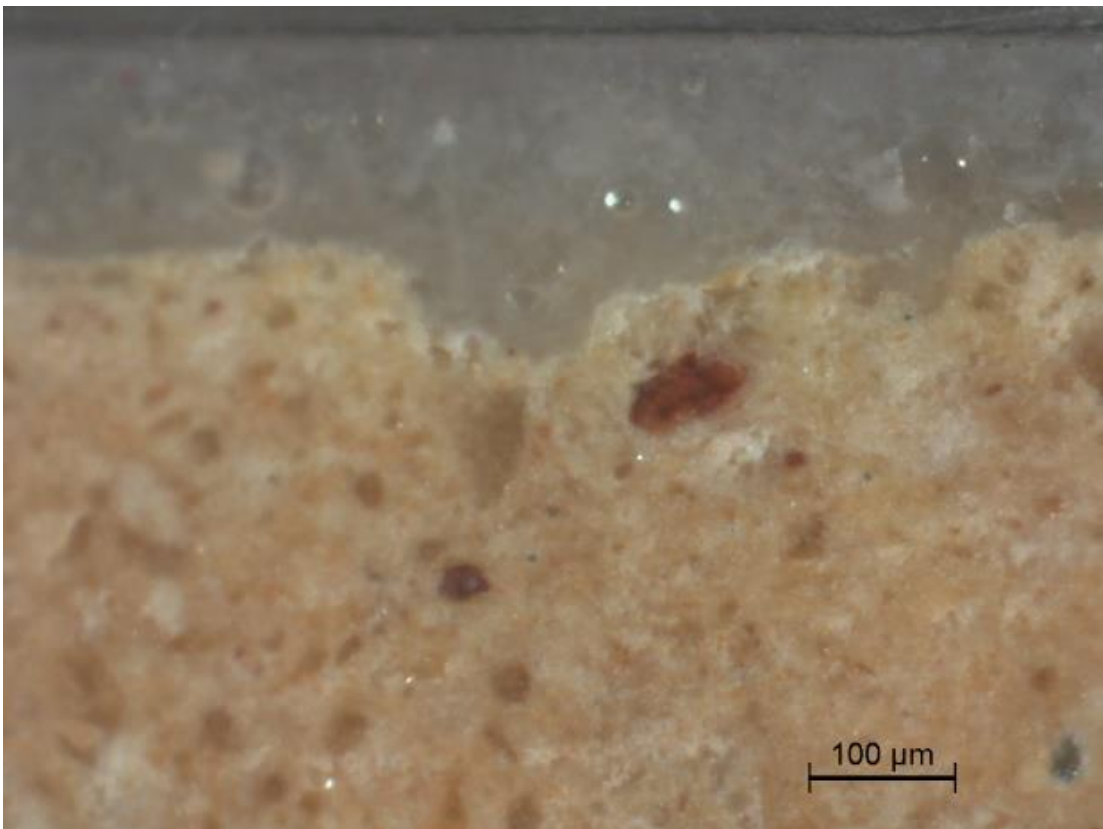
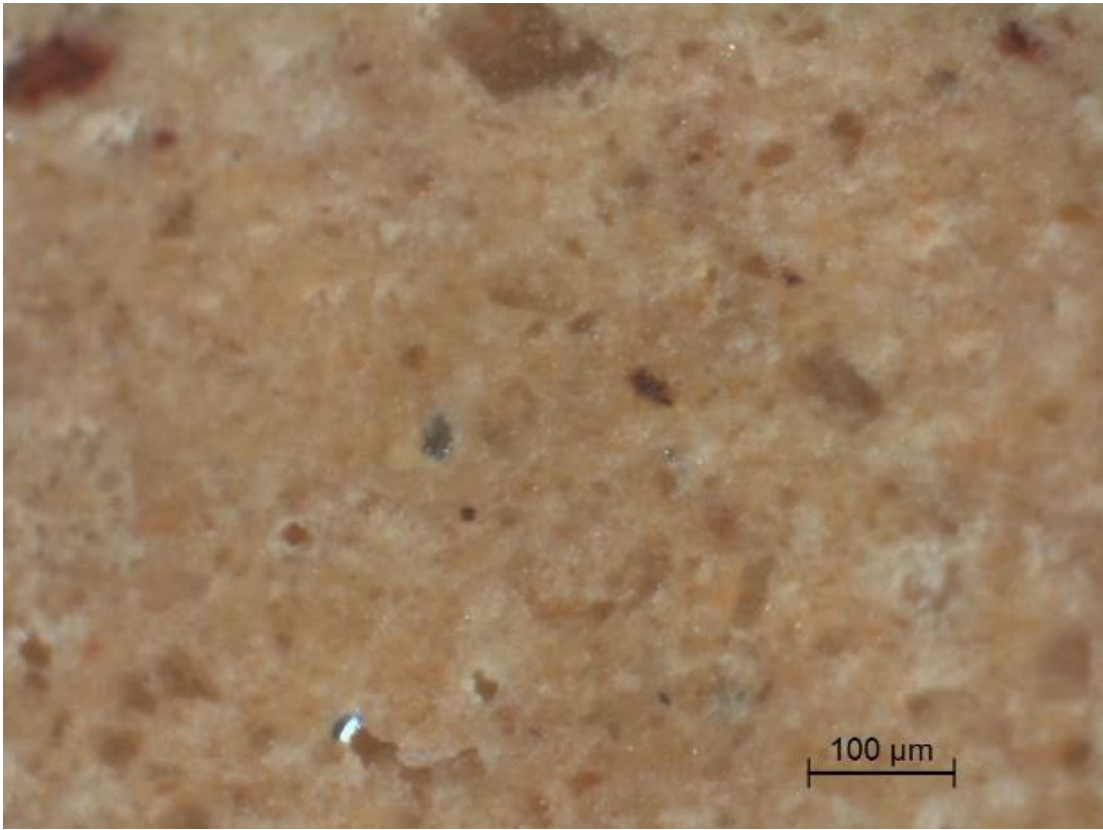
Muestra 2

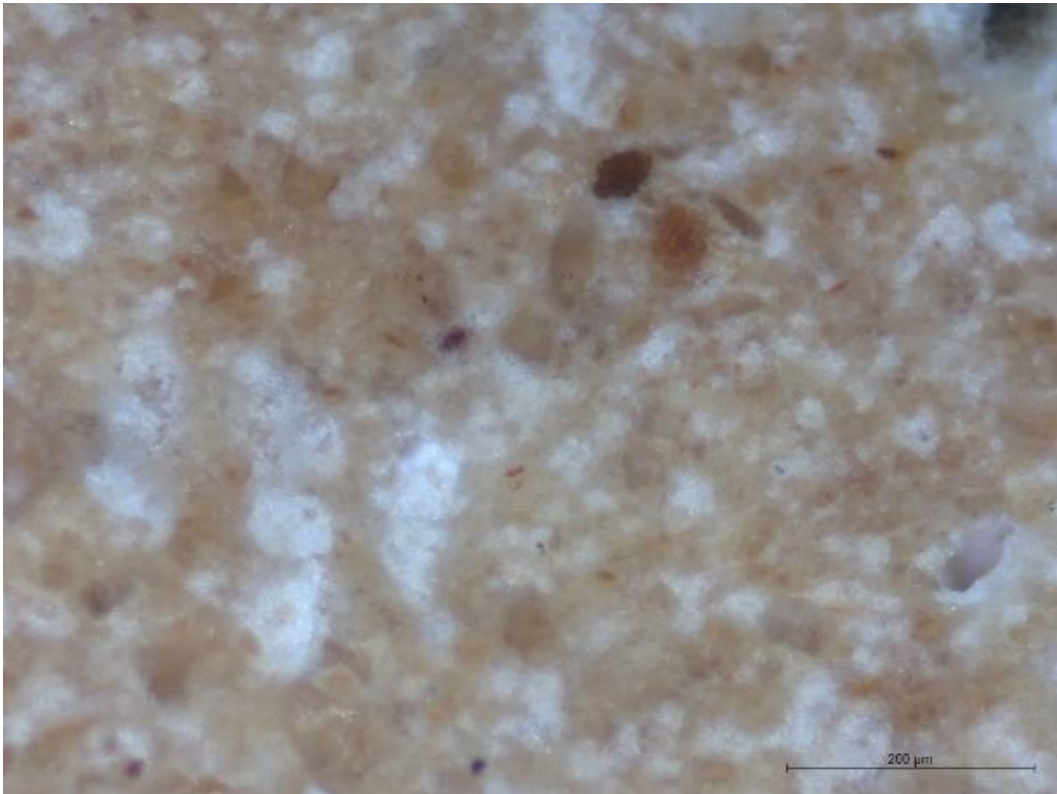


Muestra 2

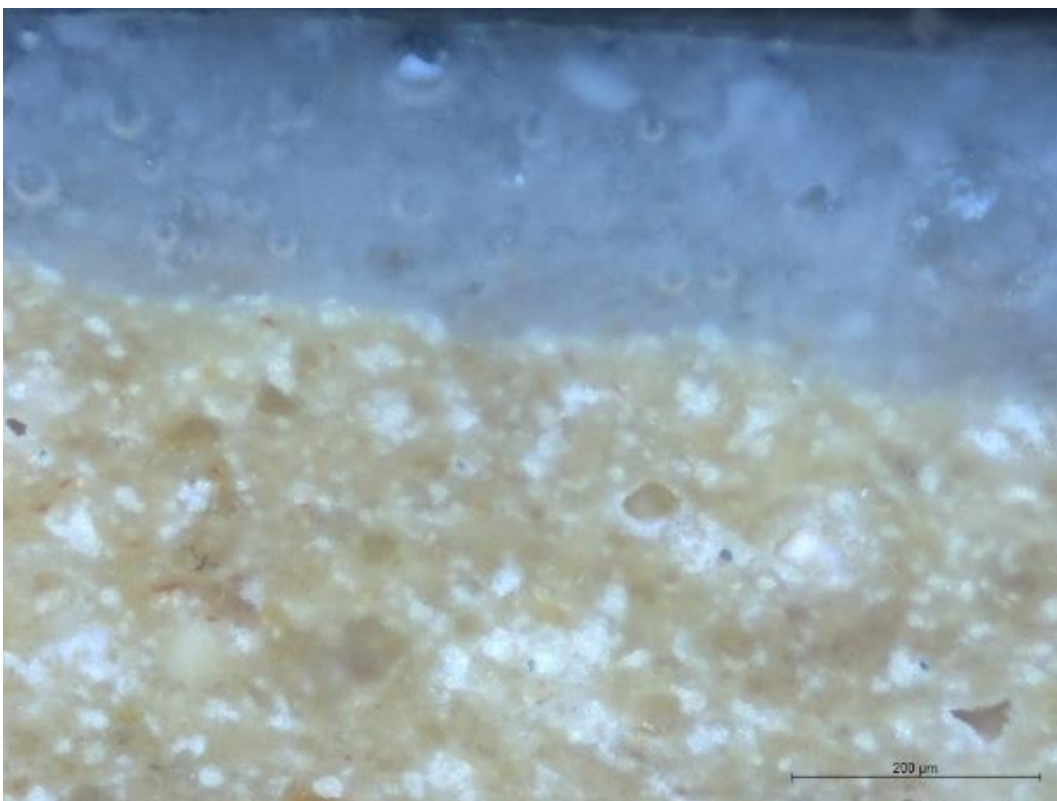


Muestra 1



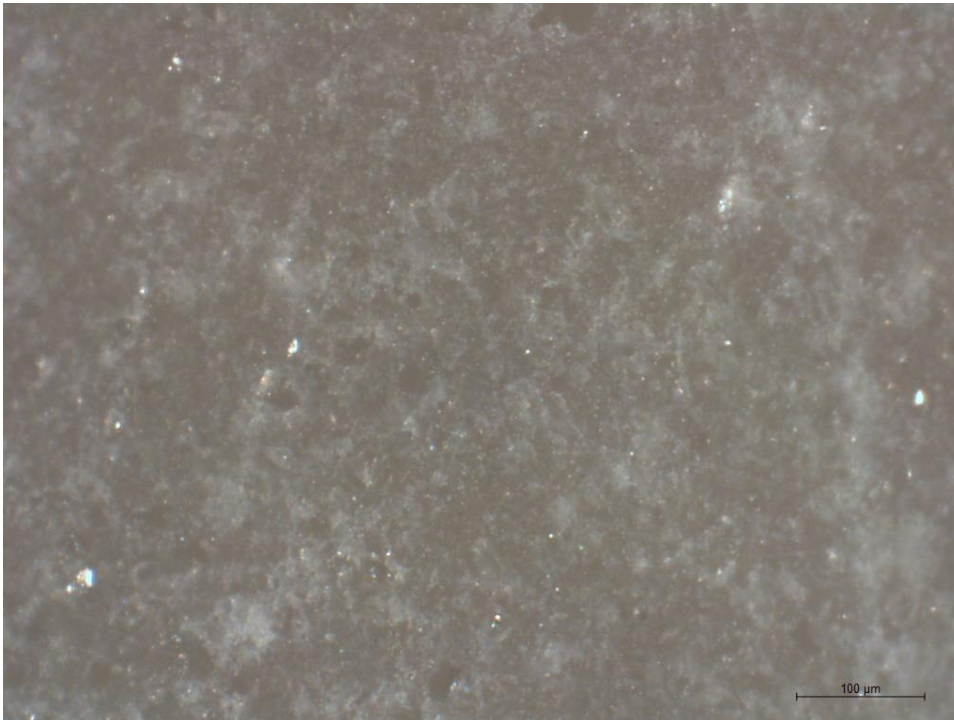


Muestra 2

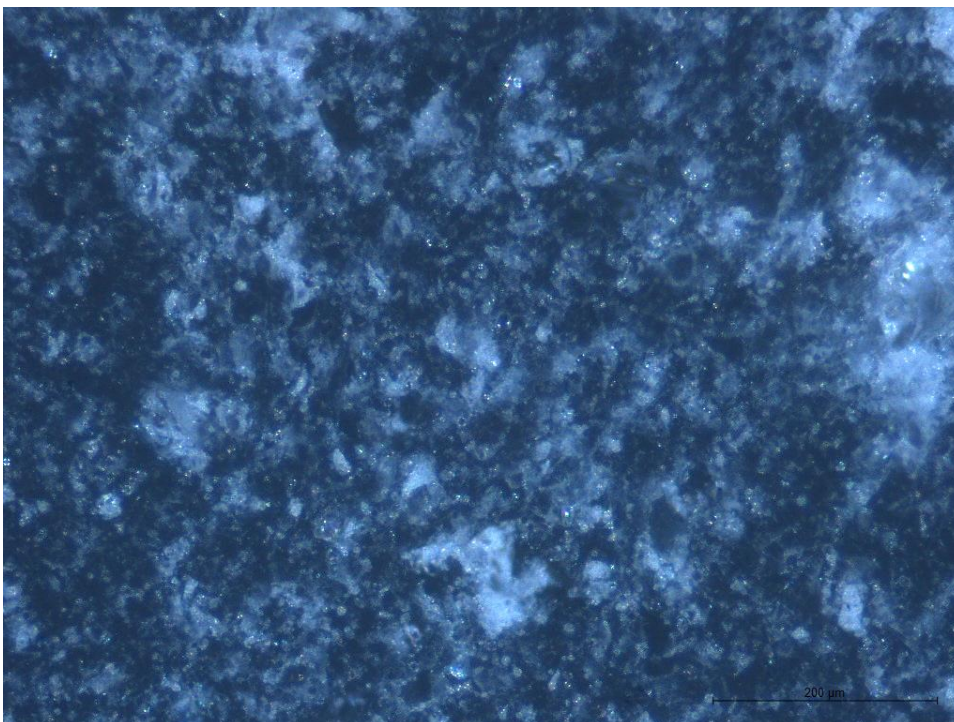


FOTOGRAFÍAS CON LUPA BINOCULAR (MUESTRAS DE RESINA DE IMPRESIÓN CERAMIC RESIN)

MUESTRA 1 SIN COCER

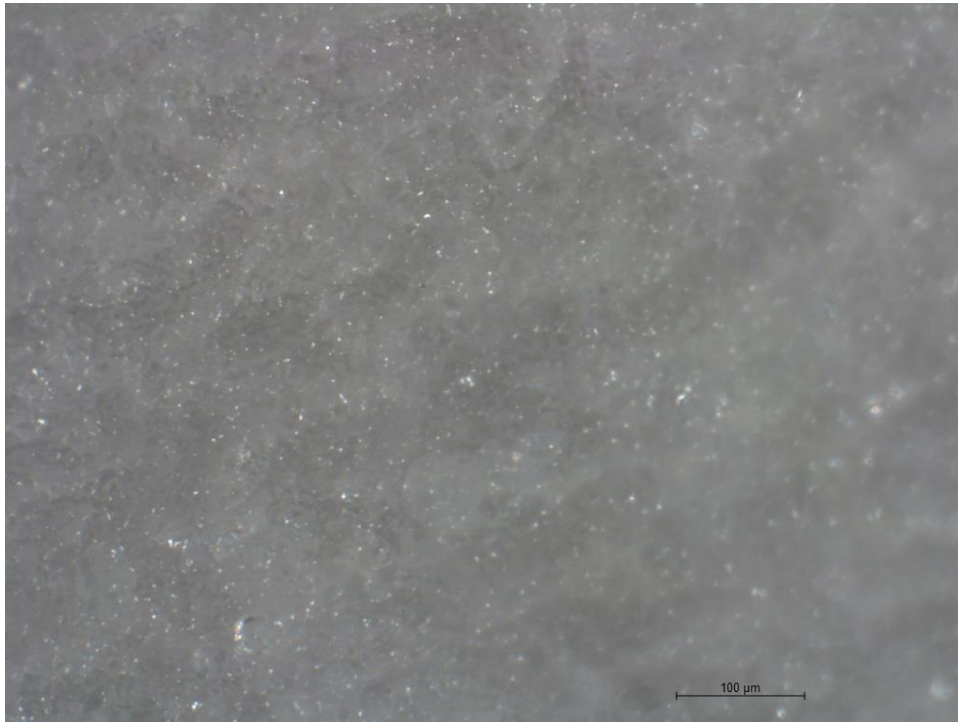


Luz directa

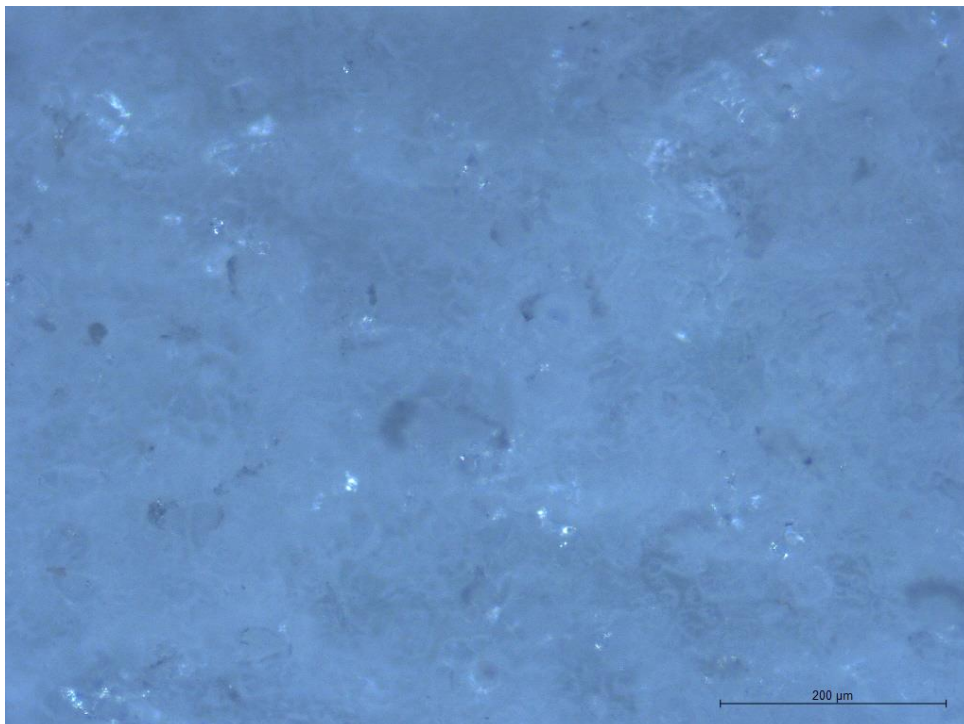


Luz rasante

MUESTRA 2 COCIDA



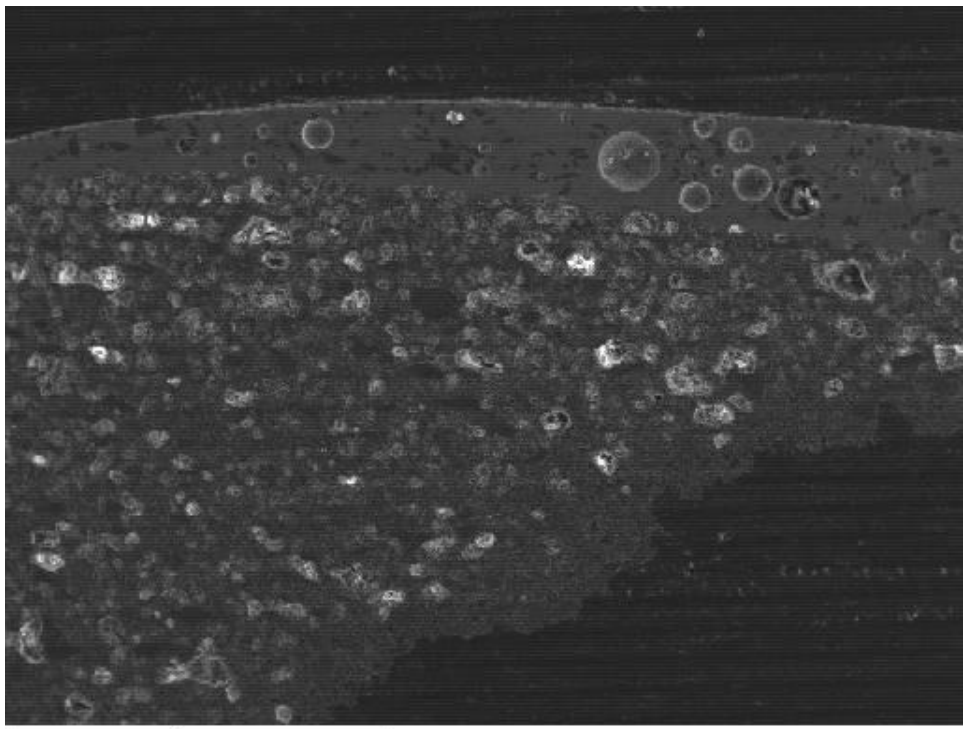
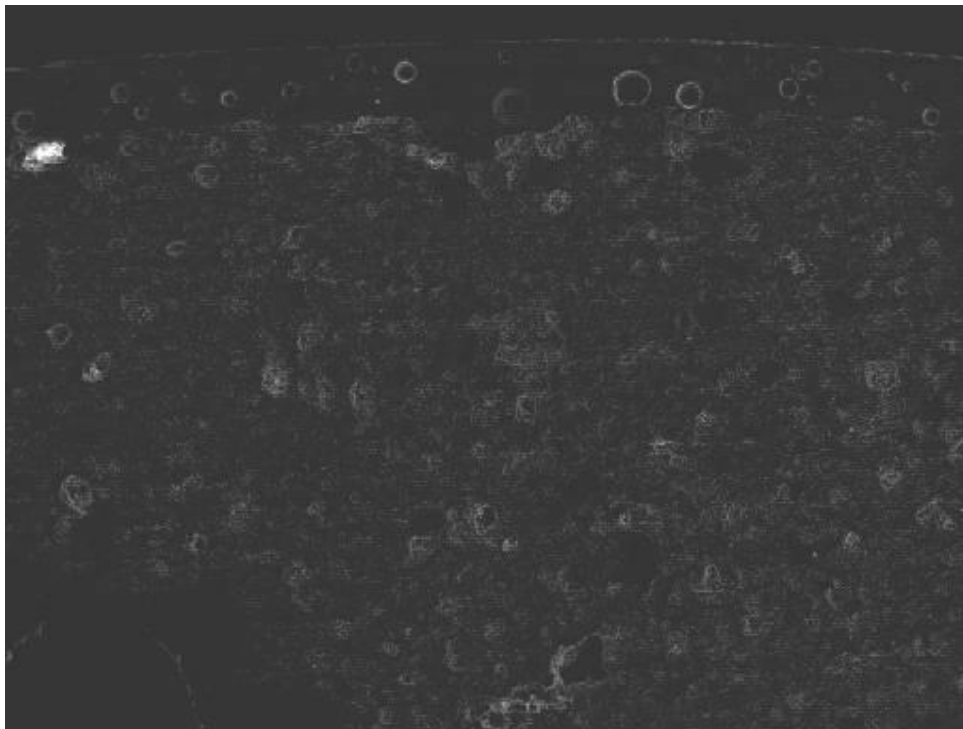
Luz directa



Luz rasante

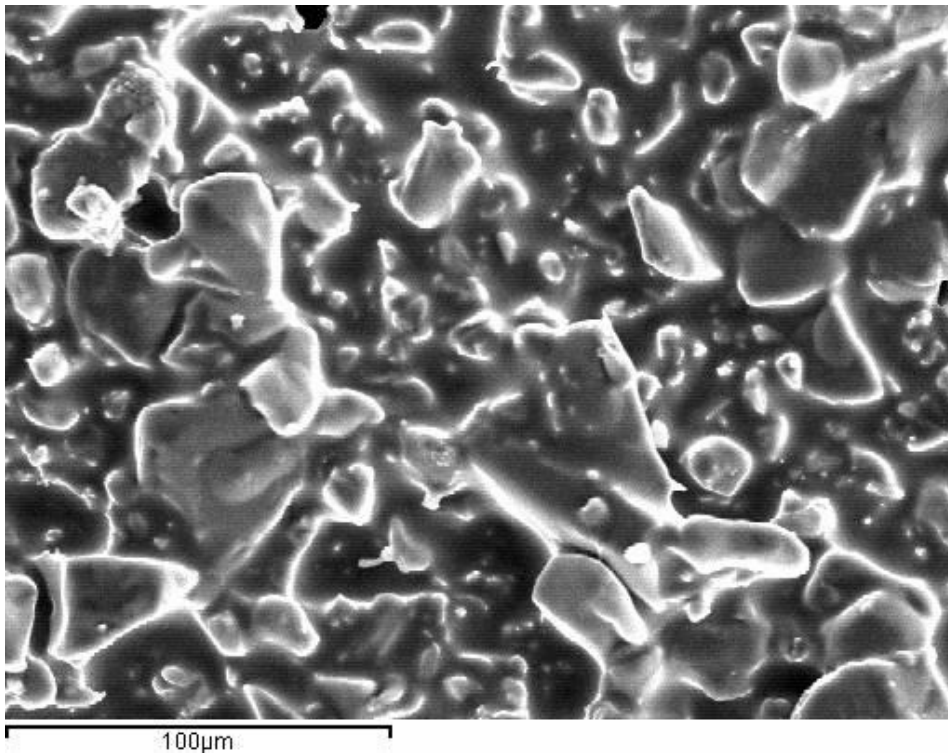
IMÁGENES OBTENIDAS POR MICROSCOPIO ELECTRÓNICO

MUESTRA 1 DE PASTA CERÁMICA DE LA MANCERINA

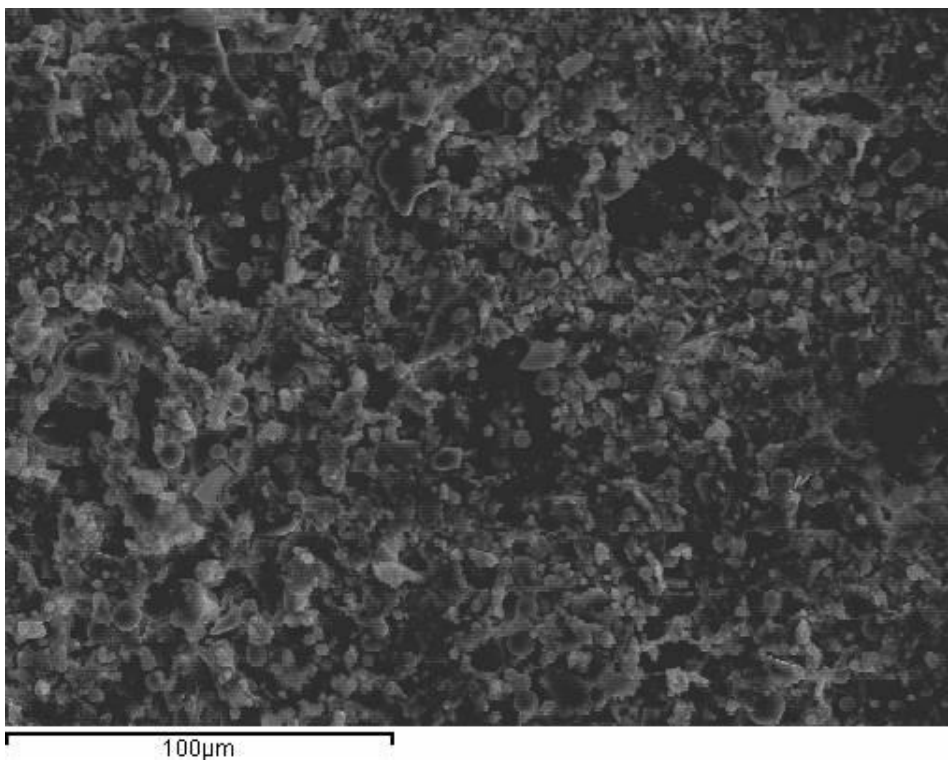


MUESTRA DE RESINA DE IMPRESIÓN CERAMIC RESIN

MUESTRA 1 RESINA COCIDA



MUESTRA 1 RESINA SIN COCER



FOTOGRAFÍAS DE LA MANCERINA JUNTO CON LAS REINTEGRACIONES VOLUMÉTRICAS EJECUTADAS.

MANCERINA Y REINTEGRACIÓN VOLUMÉTRICA EN FILAMENTO DE IMPRESIÓN 3D PLA E.P.



MANCERINA Y REINTEGRACIÓN VOLUMÉTRICA EN PASTA CERÁMICA PA




MANCERINA Y REINTEGRACIÓN VOLUMÉTRICA EN RESINA DE IMPRESIÓN 3D CERAMIC RESIM



ANEXO 2. FICHA TÉCNICA (PLATO DE MANCERÍNA)

DATOS GENERALES

Objeto	Plato de Mancerina	Fotografía inicial
Propietario	Colección privada	
Procedencia	Real Fábrica de Alcora	
Cronología	Siglo XVIII-XIX	
Autor	Desconocido	
Tipología	Menaje, vajilla	
Peso	342 gramos	
Dimensiones	19.5 cm de diámetro 4.30 cm de alto	
Tipo de material	Loza esmaltada	
Técnica de ejecución	Molde/A torno	
Color	Blanco, azul, ocre y amarillo	
Decoración	Pieza decorada con pequeños ornamentos florales con pigmentos azul, ocre y amarillo, bordes perfilados en azul.	
Descripción morfológica	Plato con forma de concha con bordes ondulados, en el centro un pequeño soporte con forma de vaso con orificios calados en dos tamaños.	
Firma	Sin marca de fábrica	
Fecha de recepción	15/01/2021	Inicio de la intervención 06/02/2021
Final de la intervención	Por determinar	

ESTADO DE CONSERVACIÓN

Descripción del estado de conservación

Plato de mancerina sin jícara. Presenta una pérdida del 20% del total de la pieza correspondiente al portajícara y al plato. Se compone por 5 fragmentos adheridos en una antigua intervención de forma descompensada presentando depósitos de adhesivo. Pérdida de esmalte en el perímetro del plato. Pulverulencia por toda la superficie de la pieza

Patologías	<ul style="list-style-type: none"> - Pulverulencia - Rotura - Pérdida - Deficiente adhesión, adhesivos envejecidos y oxidados
-------------------	---

Propuesta de intervención	<ol style="list-style-type: none"> 1. Limpieza mecánica 2. Limpieza fisicoquímica 3. Remoción de antigua intervención: eliminación de antiguos adhesivos. 4. Unión de fragmentos 5. Reintegración volumétrica 6. Reintegración cromática
----------------------------------	--

PROCESO DE INTERVENCIÓN

Limpieza

Método de limpieza	<ul style="list-style-type: none"> - Bisturí - Hisopo - Brocha - Cámara 	Productos	<ul style="list-style-type: none"> - Agua destilada - Acetona
---------------------------	---	------------------	---

Descripción	<ul style="list-style-type: none"> - Limpieza en seco mecánica con brocha en toda la superficie de la pieza para la eliminación de la suciedad pulverulenta menos incrustada. - Limpieza fisicoquímica con agua destilada e hisopo en las partes menos accesibles. - Remoción de antiguos adhesivos de intervenciones anteriores y separado de los fragmentos mal adheridos por medio de una cámara de vapor de acetona. La pieza fue colocada en la cámara durante 15 minutos hasta la separación de los fragmentos. Se dejó secar por oreo y se procedió a la remoción del adhesivo restante de forma físico-mecánica, reblandecimiento el adhesivo con hisopos impregnados en acetona y eliminando con hisopos limpios y bisturí.
--------------------	---

Montaje y adhesión de fragmentos

Método de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> - Pincel 	Productos	<ul style="list-style-type: none"> - Emulsión de resina acrílica y metacrilatos
-----------------------------	--	------------------	--

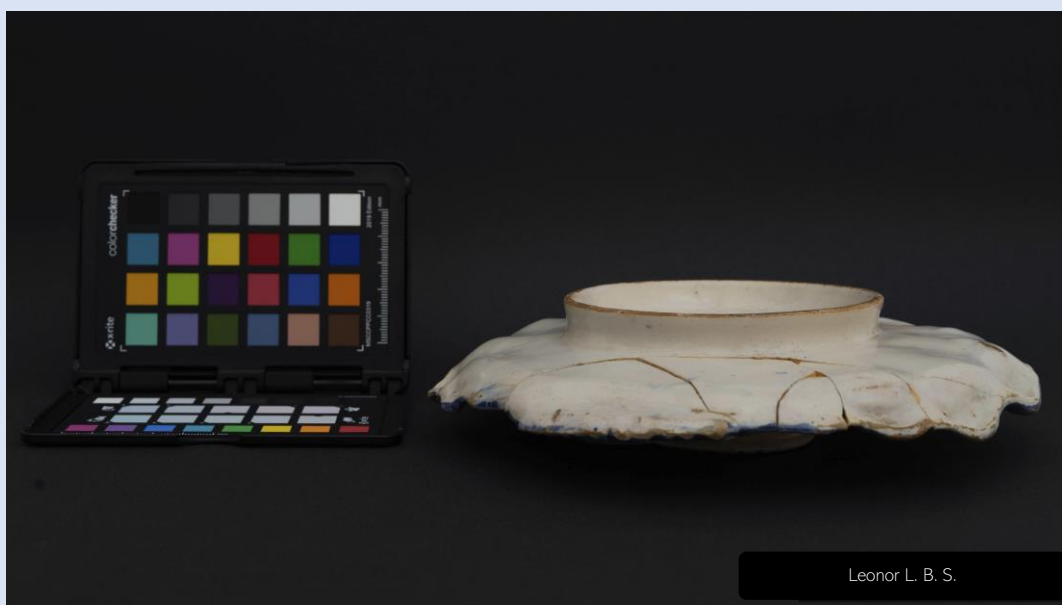
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> - Premontaje provisional para ubicar la colocación y el orden de las piezas. Se realizó por medio de cinta adhesiva papel, numerando el sentido y el orden de colocación. - Aplicación de capa intermedia en las zonas de contacto de las piezas con una solución de 50 % de adhesivo y 50% de acetona. - Adhesión de las piezas en el orden estipulado en el premontaje, aplicando el adhesivo con pincel sobre los cantos y presionando las piezas entre sí. Secado durando 24 horas.
--------------------	---

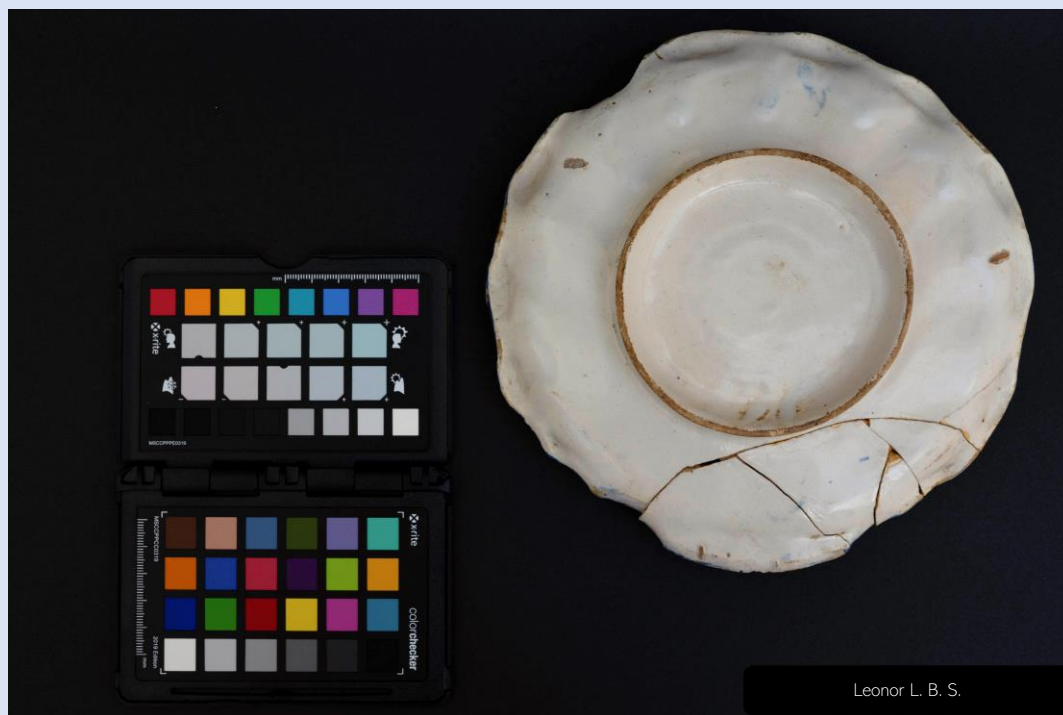
Reintegración volumétrica y cromática

En ejecución

FOTOGRAFÍAS

Fotografías iniciales





Fotografías del proceso

Limpieza



Remoción de adhesivo e intervenciones anteriores



Limpieza de adhesivos

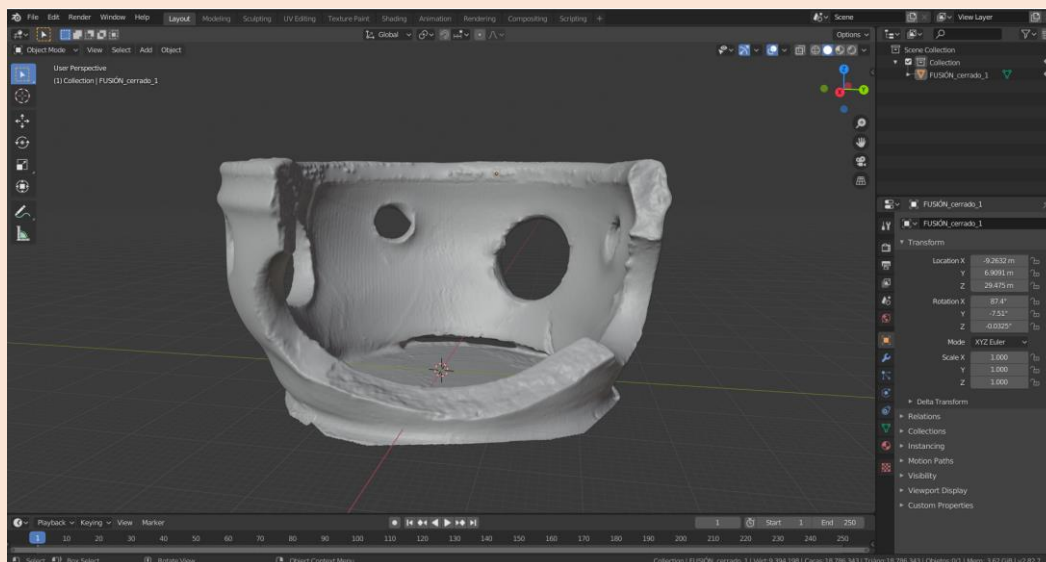


Nueva adhesión de fragmentos

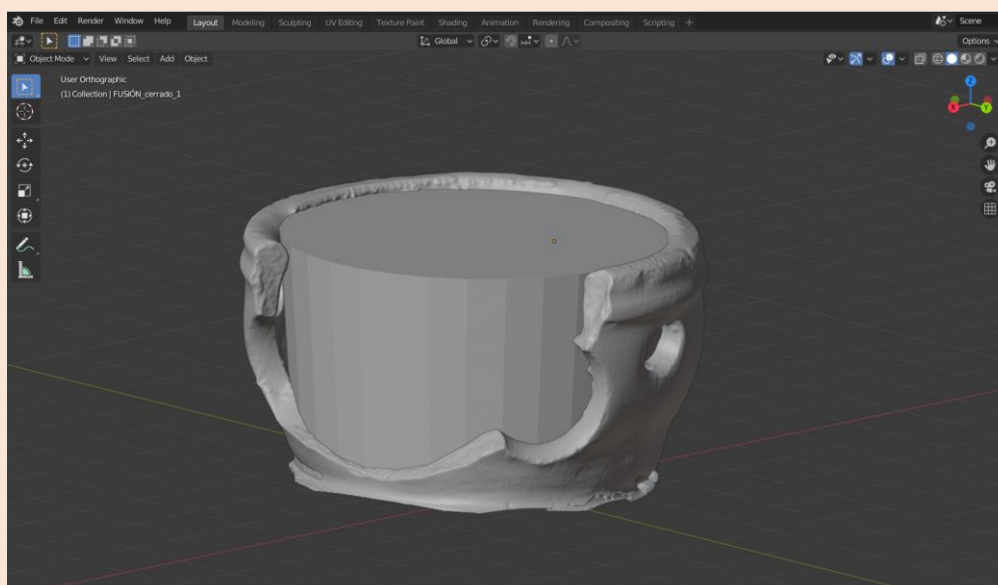


ANEXO 3. CONFORMADO DE LA REINTEGRACIÓN VOLUMÉTRICA VIRTUAL

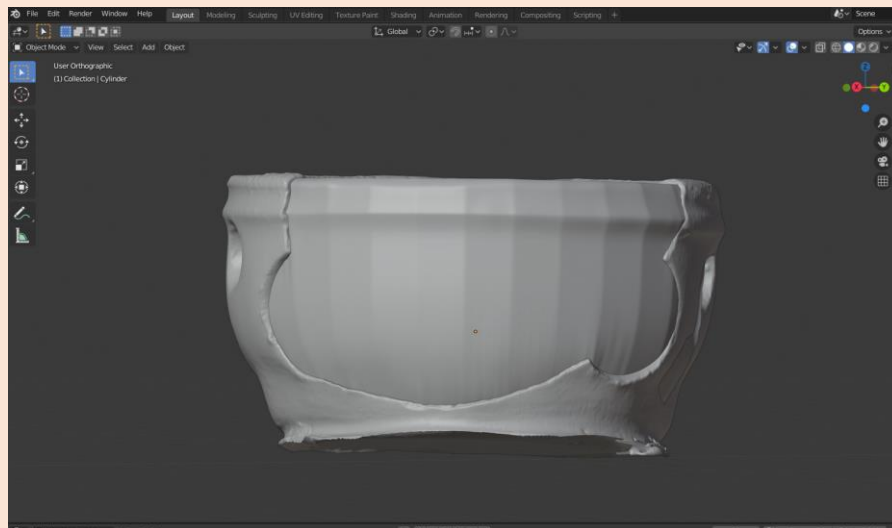
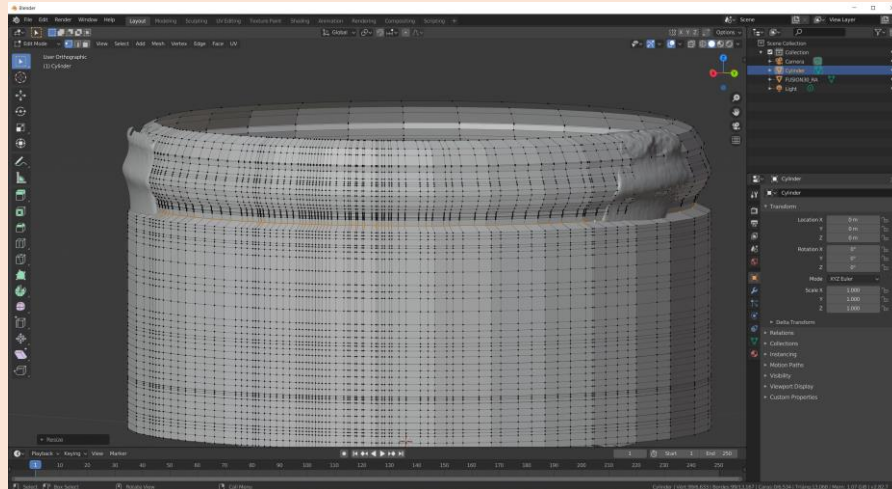
- Apertura del software Blender y limpieza del espacio de trabajo. Eliminación de los objetos generados por defecto.
- Adecuación de las propiedades de escena. Aplicación de unidades métricas en milímetros, escala 1:1.
- Importado del modelo obtenido mediante el escaneado, con la extensión Wabefront (.OBJ).
- Posicionamiento correcto del objeto en el espacio de trabajo.



- Guardado del objeto en formato nativo antes del tratamiento.
- Modelado de la reconstrucción
 - Añadido de un nuevo objeto (cilindro) para su modelado



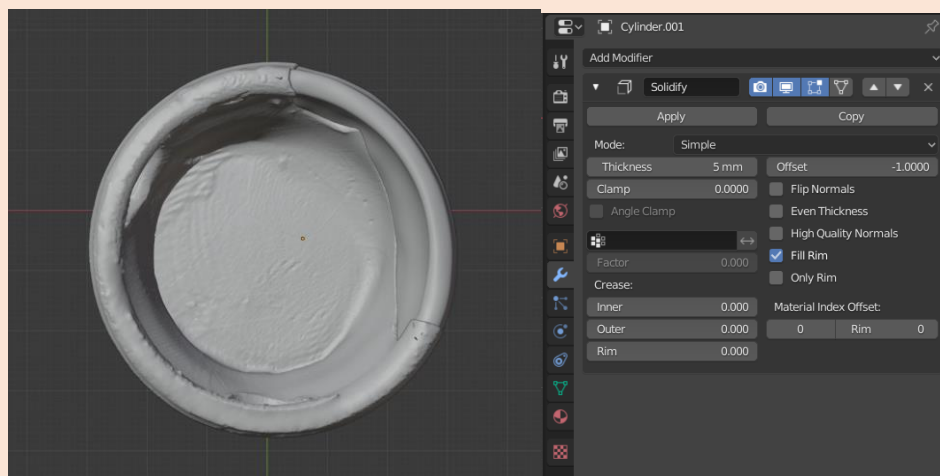
- Escalado del cilindro siguiendo las medidas originales del vaso de la mancerina y su diámetro. Modelado de las curvas del vaso.



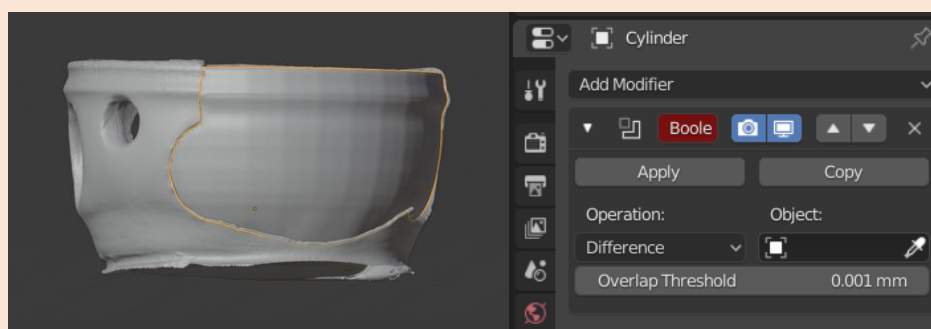
- Eliminación de las partes sobrantes del cilindro.



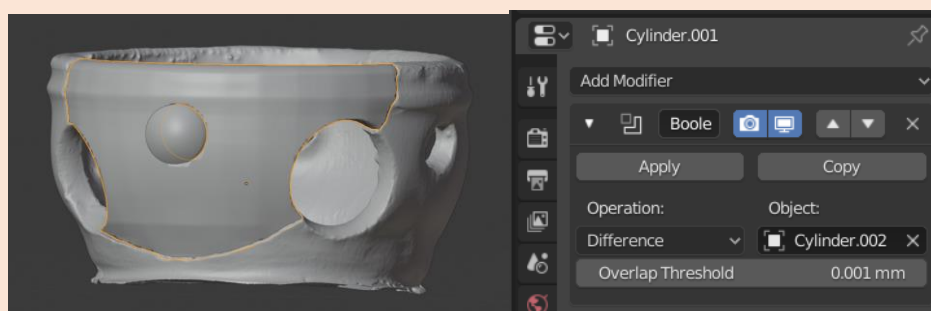
- Aplicación del modificador Solidify_ al objeto generando un grosor de 5mm (grosor calculado a bajo nivel).



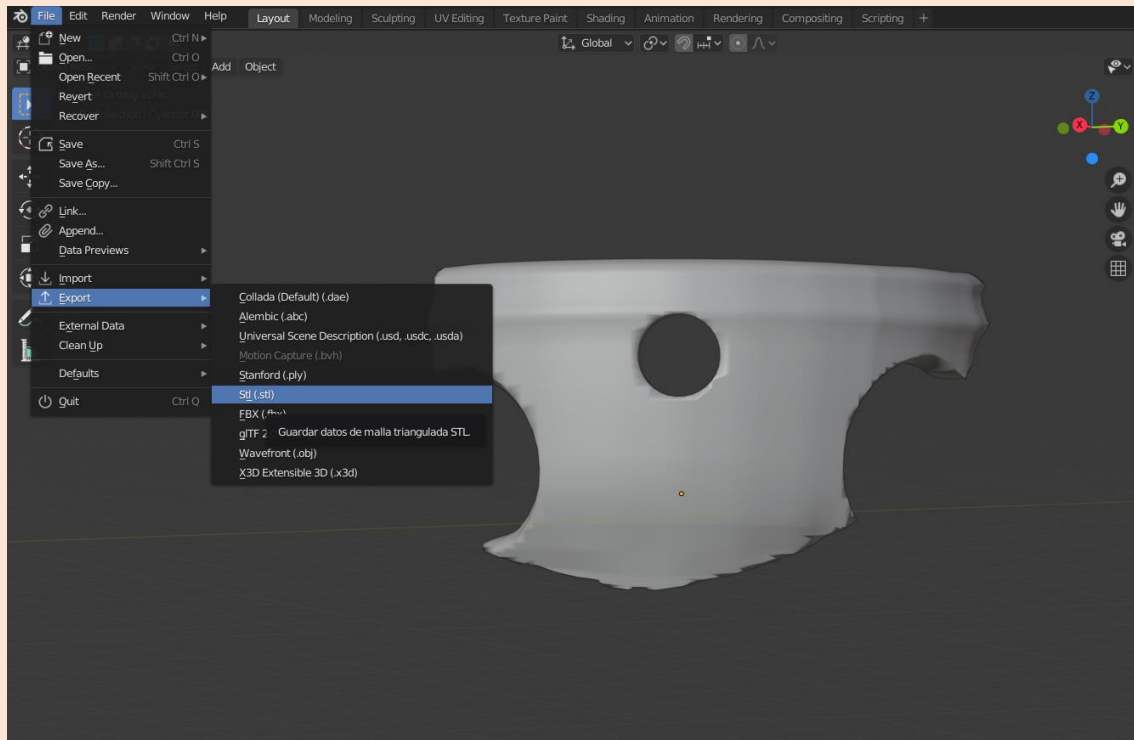
- Aplicación del modificador Boolean_ en modo difference_ seleccionando el modelo de la reconstrucción y aplicando el booleano sobre el objeto de mancerina original, con un overlap thershoid de 0.001 mm.



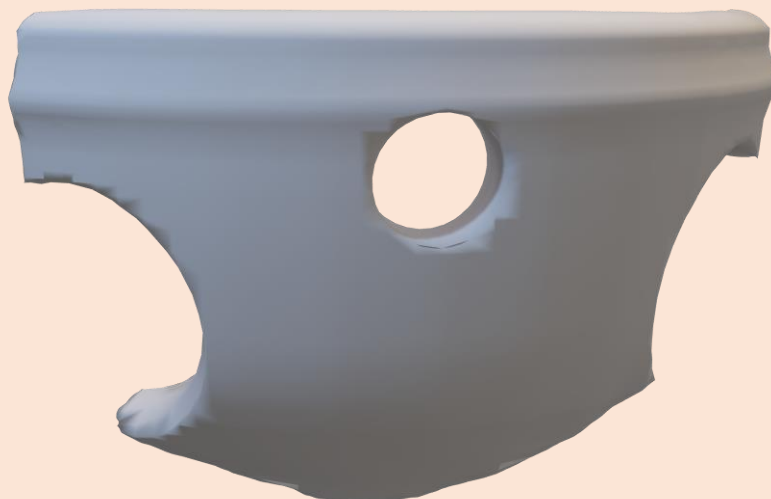
- Modelado de los ahuecamientos en la reconstrucción siguiendo el patrón dispuesto por el estilo. Aplicación del modificador Boolean_ en modo difference_ seleccionando el modelo de la reconstrucción aplicando el booleano sobre los cilindros dispuestos para hacer el ahuecado, con un overlap thershoid de 0.001 mm.



- Guardado de la reconstrucción volumétrica integra en formato nativo y exportado a formato .STL para su impresión.



MUESTRA DE LA RECONSTRUCCIÓN FINAL



*IMAGEN 3D clic con el ratón para su visualización completa.

ANEXO 4. DOCUMENTOS ANALÍTICOS

Resultados del análisis mediante SEM-EDX realizado a dos muestras de la mancerina

Project: Project 1
Owner: Administrador
Site: Site of Interest 2

Sample: Sample 1
Type: Default
ID:

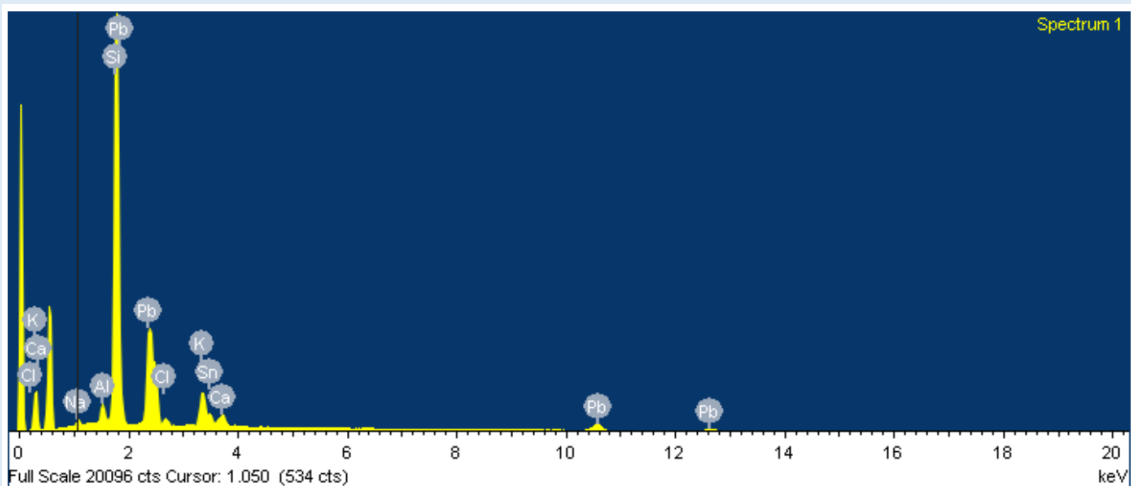
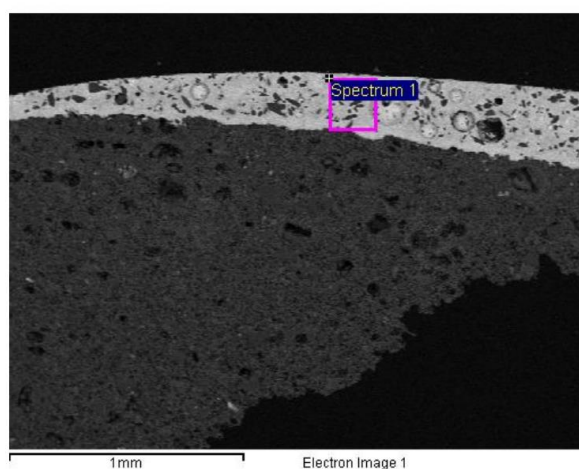
Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :

Na Albite 1-jun-1999 12:00 AM
Al Al₂O₃ 1-jun-1999 12:00 AM
Si SiO₂ 1-jun-1999 12:00 AM
Cl KCl 1-jun-1999 12:00 AM
K MAD-10 Feldspar 1-jun-1999 12:00 AM
Ca Wollastonite 1-jun-1999 12:00 AM
Sn Sn 1-jun-1999 12:00 AM
Pb PbF₂ 1-jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Na K	0.73	1.61
Al K	1.58	2.96
Si K	39.11	70.40
Cl K	0.62	0.88
K K	7.16	9.26
Ca K	1.11	1.40
Sn L	7.45	3.17
Pb M	42.24	10.31
Totals	100.00	



Project: Project 1
 Owner: Administrador
 Site: Site of Interest 2

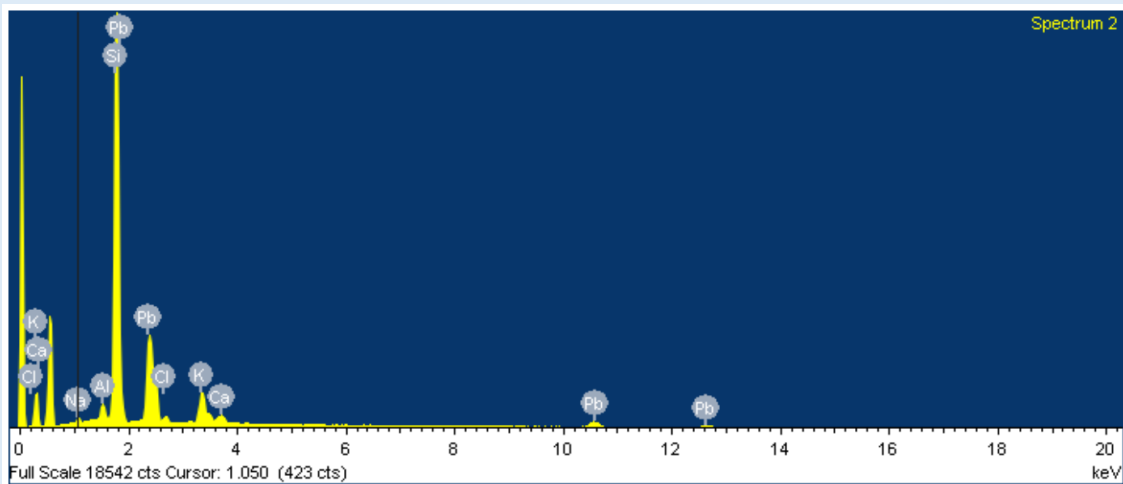
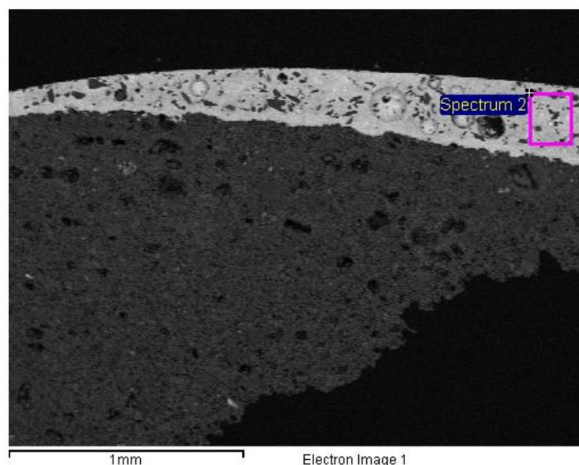
Sample: Sample 1
 Type: Default
 ID:

Spectrum processing :
 Peak possibly omitted : 0.521 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
 Number of iterations = 3

Standard :
 Na Albite 1-jun-1999 12:00 AM
 Al Al₂O₃ 1-jun-1999 12:00 AM
 Si SiO₂ 1-jun-1999 12:00 AM
 Cl KCl 1-jun-1999 12:00 AM
 K MAD-10 Feldspar 1-jun-1999 12:00 AM
 Ca Wollastonite 1-jun-1999 12:00 AM
 Pb PbF₂ 1-jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Na K	0.72	1.48
Al K	1.55	2.73
Si K	44.17	74.60
Cl K	0.70	0.94
K K	6.43	7.80
Ca K	1.91	2.26
Pb M	44.51	10.19
Totals	100.00	



Project: Project 1
 Owner: Administrador
 Site: Site of Interest 2

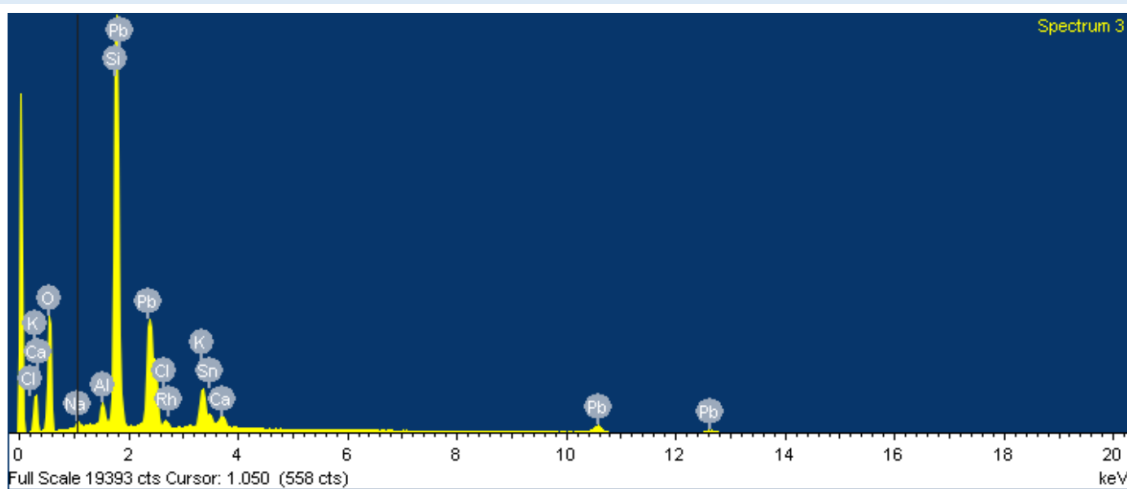
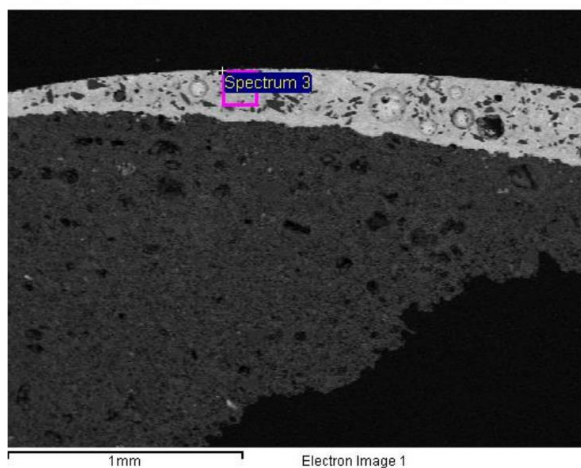
Sample: Sample 1
 Type: Default
 ID:

Spectrum processing :
 No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
 Number of iterations = 3

Standard :
 O SiO2 1-jun-1999 12:00 AM
 Na Albite 1-jun-1999 12:00 AM
 Al Al2O3 1-jun-1999 12:00 AM
 Si SiO2 1-jun-1999 12:00 AM
 Cl KCl 1-jun-1999 12:00 AM
 K MAD-10 Feldspar 1-jun-1999 12:00 AM
 Ca Wollastonite 1-jun-1999 12:00 AM
 Rh Rh 1-jun-1999 12:00 AM
 Sn Sn 1-jun-1999 12:00 AM
 Pb PbF2 1-jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	38.25	65.87
Na K	0.62	0.75
Al K	1.16	1.18
Si K	24.37	23.91
Cl K	0.34	0.26
K K	4.49	3.17
Ca K	0.51	0.35
Rh L	0.33	0.09
Sn L	4.52	1.05
Pb M	25.41	3.38
Totals	100.00	



Project: Project 1
 Owner: Administrador
 Site: Site of Interest 3

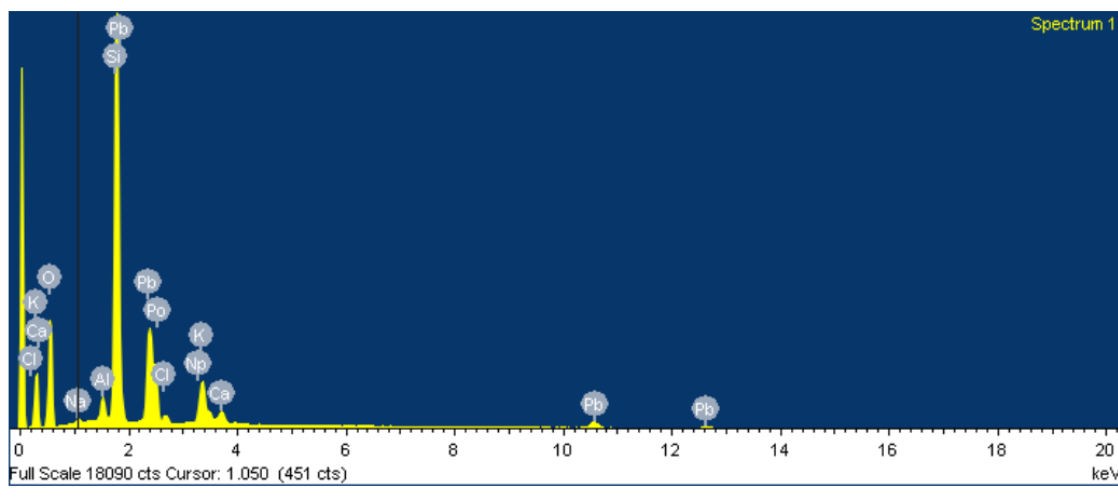
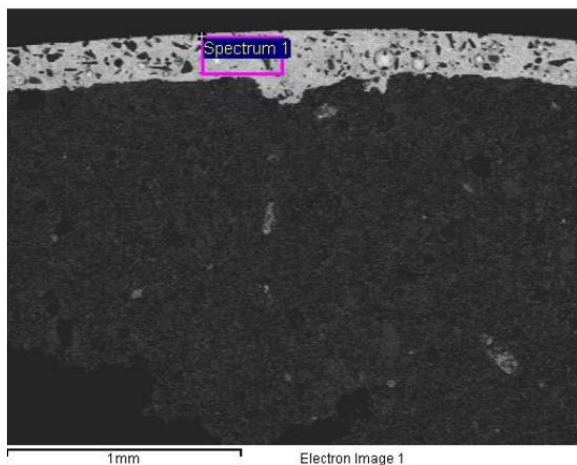
Sample: Sample 2
 Type: Default
 ID:

Spectrum processing :
 Peak possibly omitted : 0.704 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
 Number of iterations = 3

Standard :
 O SiO2 1-jun-1999 12:00 AM
 Na Albite 1-jun-1999 12:00 AM
 Al Al2O3 1-jun-1999 12:00 AM
 Si SiO2 1-jun-1999 12:00 AM
 Cl KCl 1-jun-1999 12:00 AM
 K MAD-10 Feldspar 1-jun-1999 12:00 AM
 Ca Wollastonite 1-jun-1999 12:00 AM
 Pb PbF2 1-jun-1999 12:00 AM
 Po Not defined 1-jun-1999 12:00 AM
 Np Not defined 1-jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	35.20	62.45
Na K	0.45	0.56
Al K	1.36	1.43
Si K	26.71	26.99
Cl K	0.32	0.26
K K	4.57	3.32
Ca K	1.31	0.93
Pb M	25.80	3.54
Po M	1.03	0.14
Np M	3.24	0.39
Totals	100.00	



Project: Project 1
 Owner: Administrador
 Site: Site of Interest 3

Sample: Sample 1
 Type: Default
 ID:

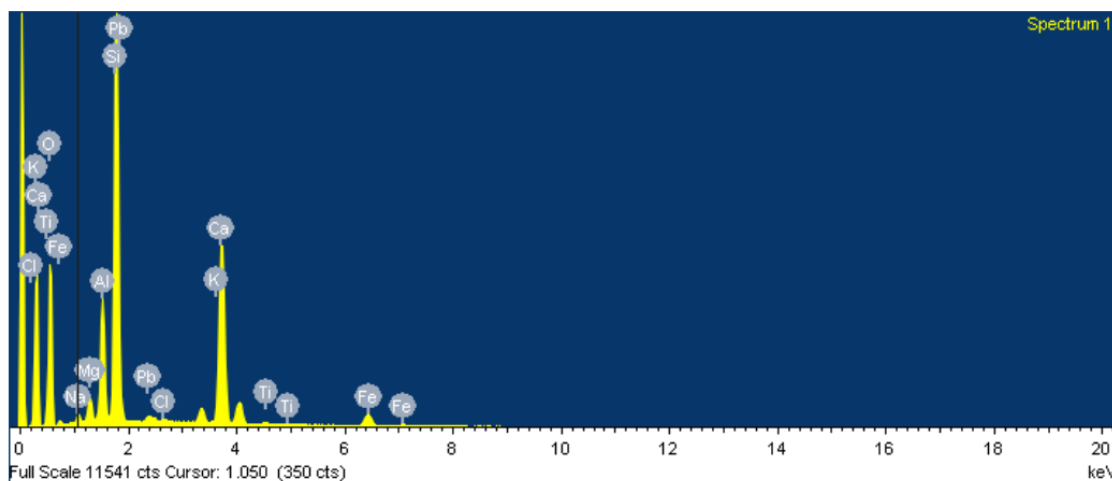
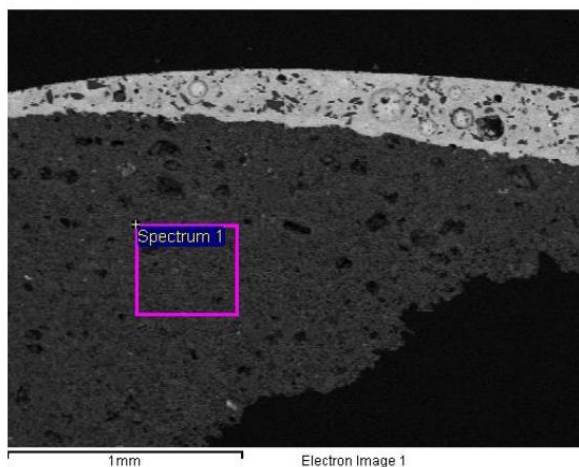
Spectrum processing :
 No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
 Number of iterations = 4

Standard :

O SiO2 1-jun-1999 12:00 AM
 Na Albite 1-jun-1999 12:00 AM
 Mg MgO 1-jun-1999 12:00 AM
 Al Al2O3 1-jun-1999 12:00 AM
 Si SiO2 1-jun-1999 12:00 AM
 Cl KCl 1-jun-1999 12:00 AM
 K MAD-10 Feldspar 1-jun-1999 12:00 AM
 Ca Wollastonite 1-jun-1999 12:00 AM
 Ti Ti 1-jun-1999 12:00 AM
 Fe Fe 1-jun-1999 12:00 AM
 Pb PbF2 1-jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	47.78	65.01
Na K	0.60	0.57
Mg K	1.47	1.32
Al K	6.08	4.91
Si K	22.41	17.37
Cl K	0.15	0.09
K K	1.22	0.68
Ca K	16.07	8.73
Ti K	0.29	0.13
Fe K	2.77	1.08
Pb M	1.16	0.12
Totals	100.00	



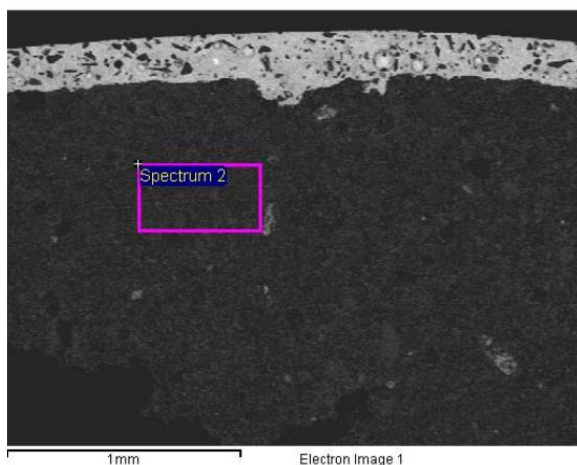
Project: Project 1
 Owner: Administrador
 Site: Site of Interest 3

Sample: Sample 2
 Type: Default
 ID:

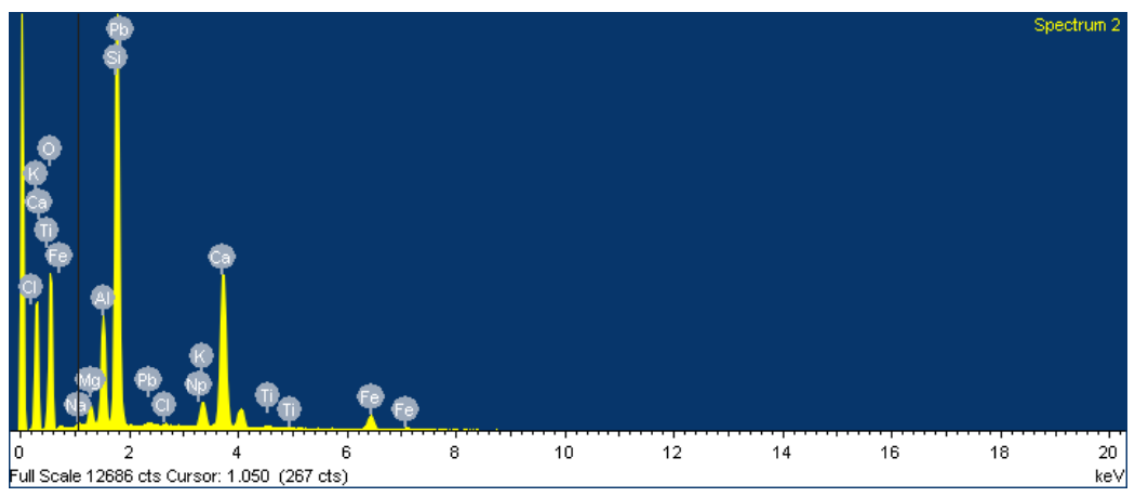
Spectrum processing :
 No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
 Number of iterations = 4

Standard :
 O SiO2 1-jun-1999 12:00 AM
 Na Albite 1-jun-1999 12:00 AM
 Mg MgO 1-jun-1999 12:00 AM
 Al Al2O3 1-jun-1999 12:00 AM
 Si SiO2 1-jun-1999 12:00 AM
 Cl KCl 1-jun-1999 12:00 AM
 K MAD-10 Feldspar 1-jun-1999 12:00 AM
 Ca Wollastonite 1-jun-1999 12:00 AM
 Ti Ti 1-jun-1999 12:00 AM
 Fe Fe 1-jun-1999 12:00 AM
 Pb PbF2 1-jun-1999 12:00 AM
 Np Not defined 1-jun-1999 12:00 AM



Element	Weight%	Atomic%
O K	47.69	65.02
Na K	0.30	0.29
Mg K	1.29	1.15
Al K	5.76	4.65
Si K	23.34	18.12
Cl K	0.17	0.11
K K	2.11	1.18
Ca K	14.54	7.91
Ti K	0.30	0.14
Fe K	3.35	1.31
Pb M	0.67	0.07
Np M	0.47	0.04
Totals	100.00	



Resultados del análisis mediante SEM-EDX realizado a dos muestras de Resina cerámica de impresión 3D (Ceramic Resin)

Project: Project 1
 Owner: Administrador
 Site: Site of Interest 1

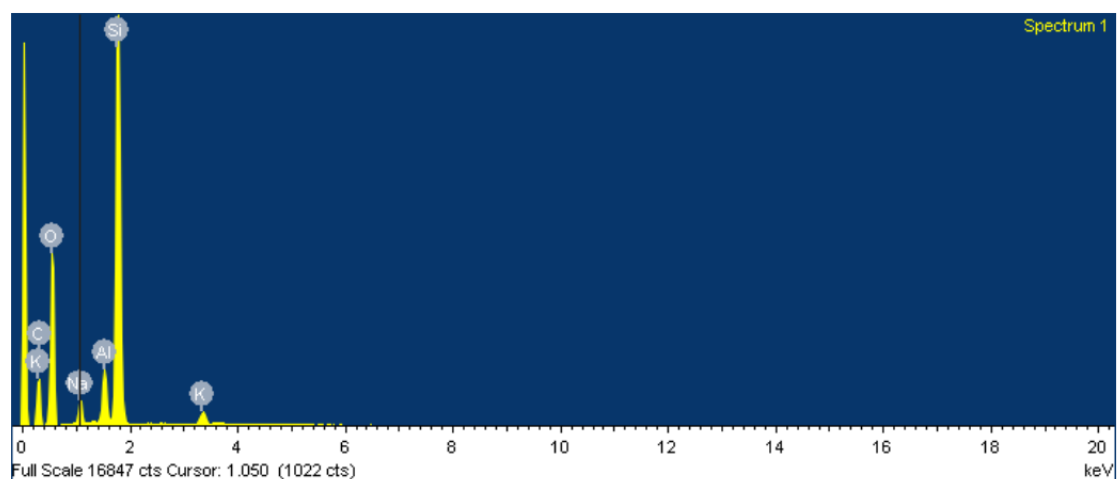
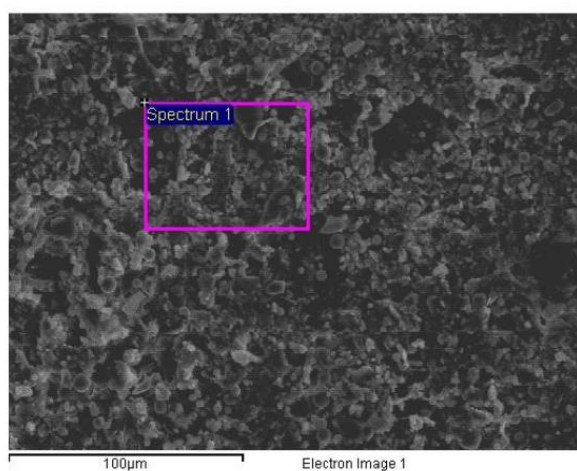
Sample: Sample 3
 Type: Default
 ID:

Spectrum processing :
 Peak possibly omitted : 8.215 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
 Number of iterations = 6

Standard :
 C CaCO3 1-jun-1999 12:00 AM
 O SiO2 1-jun-1999 12:00 AM
 Na Albite 1-jun-1999 12:00 AM
 Al Al2O3 1-jun-1999 12:00 AM
 Si SiO2 1-jun-1999 12:00 AM
 K MAD-10 Feldspar 1-jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	28.76	38.88
O K	45.36	46.03
Na K	1.81	1.28
Al K	2.44	1.47
Si K	20.66	11.94
K K	0.98	0.41
Totals	100.00	



Project: Project 1
 Owner: Administrador
 Site: Site of Interest 1

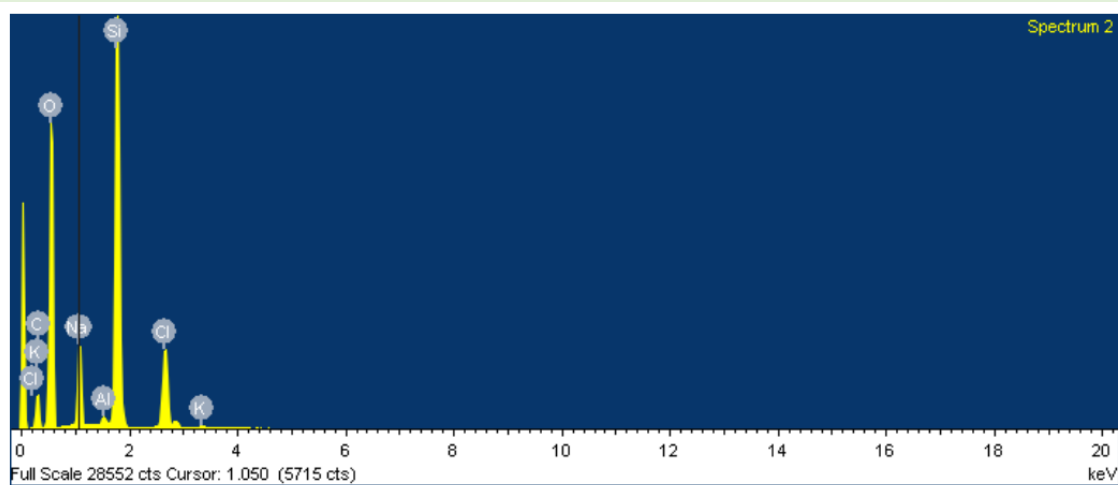
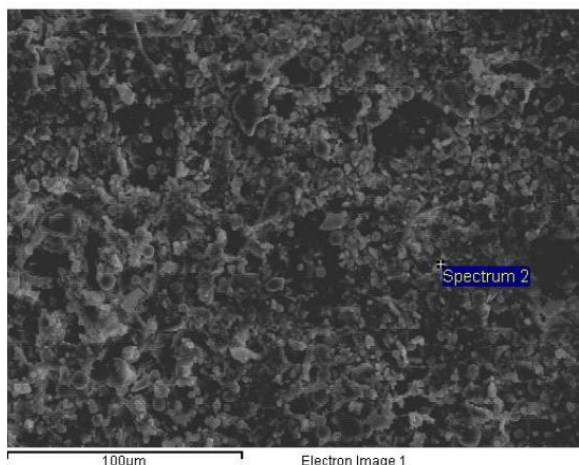
Sample: Sample 3
 Type: Default
 ID:

Spectrum processing :
 No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
 Number of iterations = 7

Standard :
 C CaCO3 1-jun-1999 12:00 AM
 O SiO2 1-jun-1999 12:00 AM
 Na Albite 1-jun-1999 12:00 AM
 Al Al2O3 1-jun-1999 12:00 AM
 Si SiO2 1-jun-1999 12:00 AM
 Cl KCl 1-jun-1999 12:00 AM
 K MAD-10 Feldspar 1-jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	19.24	27.09
O K	53.13	56.15
Na K	5.52	4.06
Al K	0.31	0.19
Si K	16.99	10.22
Cl K	4.70	2.24
K K	0.11	0.05
Totals	100.00	



Project: Project 1
 Owner: Administrador
 Site: Site of Interest 1

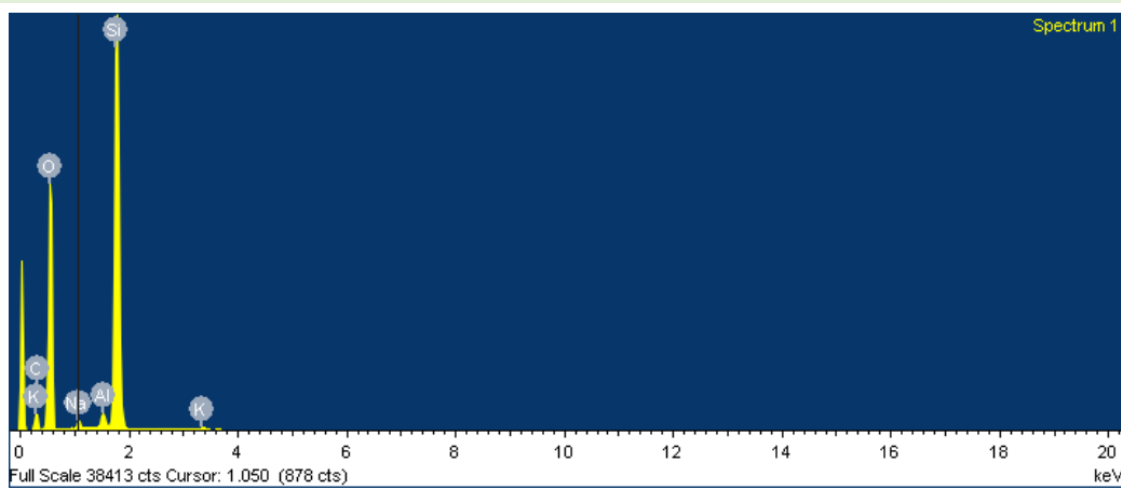
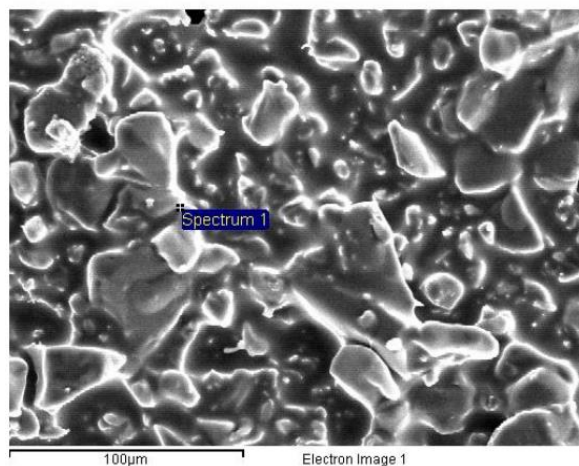
Sample: Sample 5
 Type: Default
 ID:

Spectrum processing :
 No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
 Number of iterations = 6

Standard :
 C CaCO3 1-jun-1999 12:00 AM
 O SiO2 1-jun-1999 12:00 AM
 Na Albite 1-jun-1999 12:00 AM
 Al Al2O3 1-jun-1999 12:00 AM
 Si SiO2 1-jun-1999 12:00 AM
 K MAD-10 Feldspar 1-jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	14.20	20.34
O K	58.41	62.81
Na K	0.71	0.53
Al K	0.78	0.50
Si K	25.65	15.71
K K	0.25	0.11
Totals	100.00	



Project: Project 1
 Owner: Administrador
 Site: Site of Interest 1

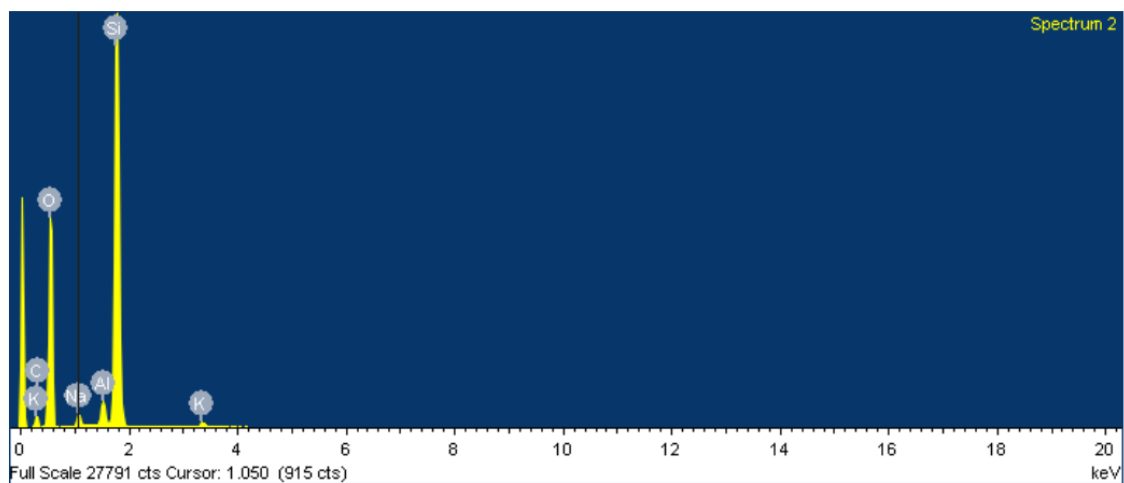
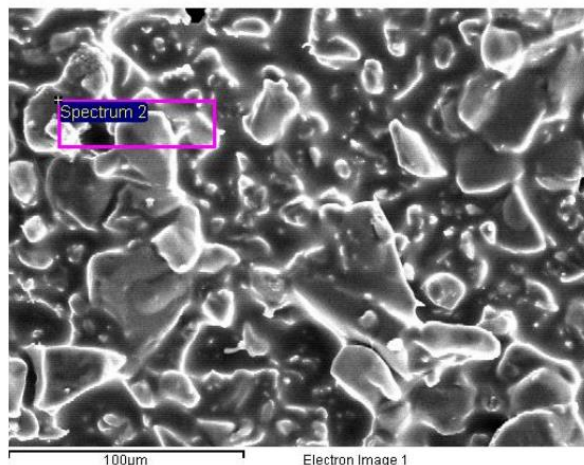
Sample: Sample 5
 Type: Default
 ID:

Spectrum processing :
 No peaks omitted

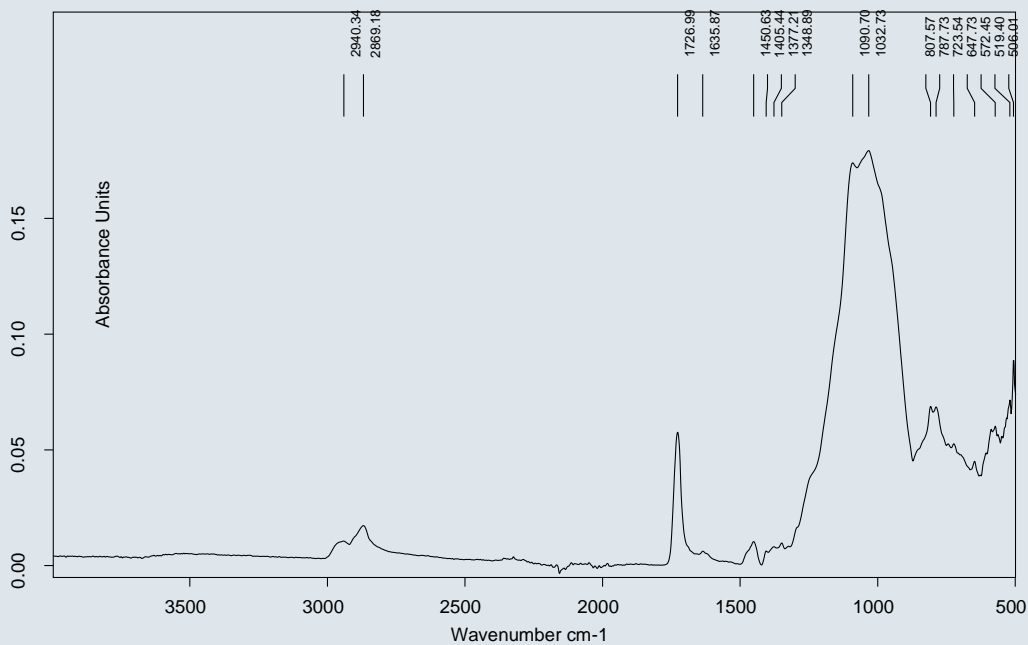
Processing option : All elements analyzed (Normalised)
 Number of iterations = 6

Standard :
 C CaCO3 1-jun-1999 12:00 AM
 O SiO2 1-jun-1999 12:00 AM
 Na Albite 1-jun-1999 12:00 AM
 Al Al2O3 1-jun-1999 12:00 AM
 Si SiO2 1-jun-1999 12:00 AM
 K MAD-10 Feldspar 1-jun-1999 12:00 AM

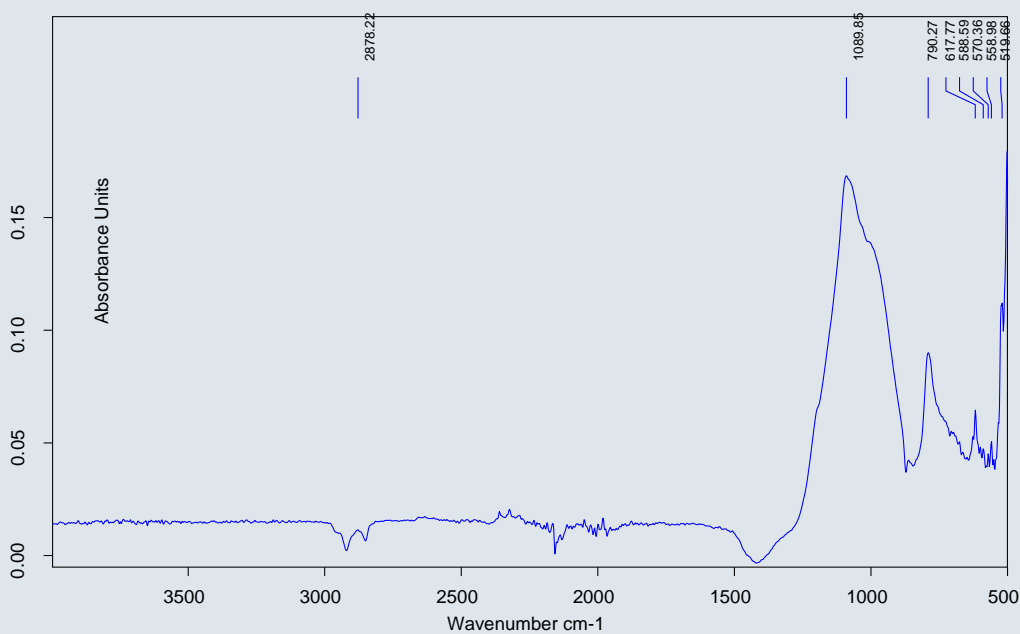
Element	Weight%	Atomic%
C K	11.72	17.30
O K	56.31	62.39
Na K	1.34	1.03
Al K	1.48	0.97
Si K	28.63	18.07
K K	0.53	0.24
Totals	100.00	



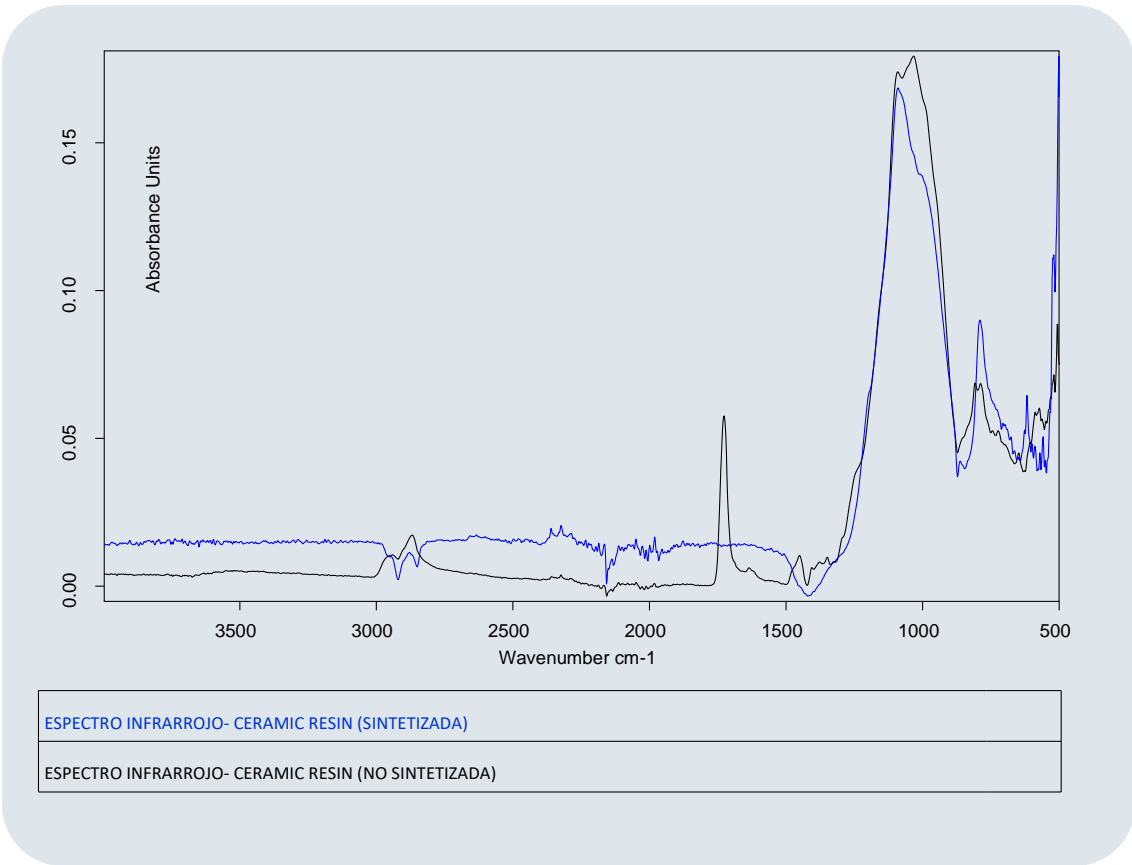
Resultados del análisis mediante F-TIR realizado a dos muestras de Resina cerámica de impresión 3D (Ceramic Resin)



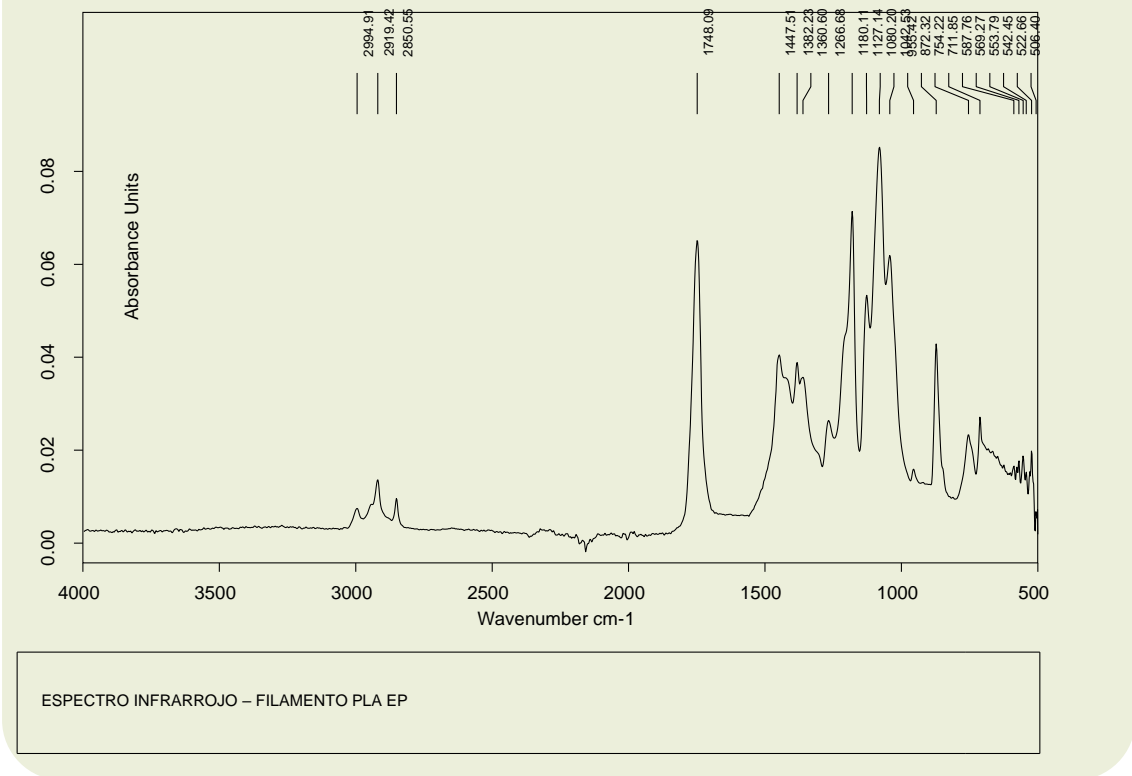
ESPECTRO INFRARROJO- CERAMIC RESIN (NO SINTETIZADA)



ESPECTRO INFRARROJO- CERAMIC RESIN (SINTETIZADA)

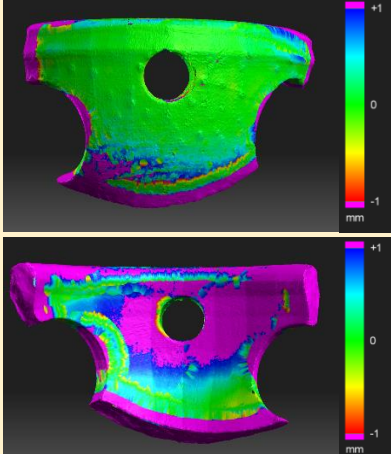
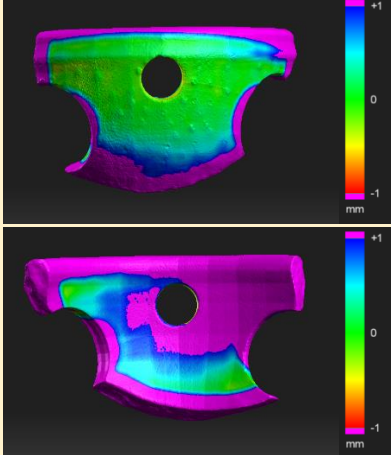
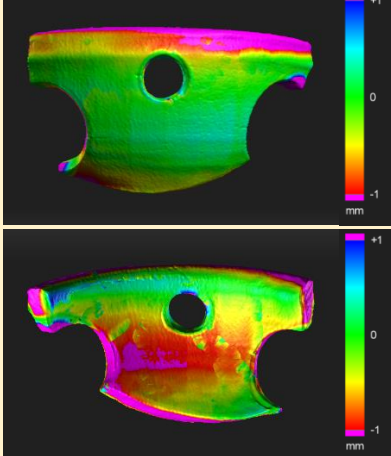


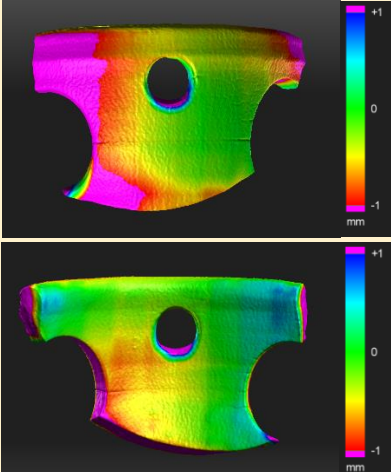
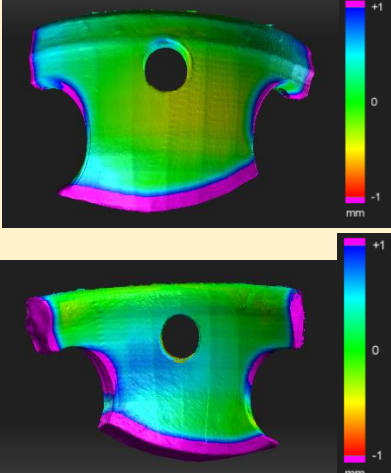
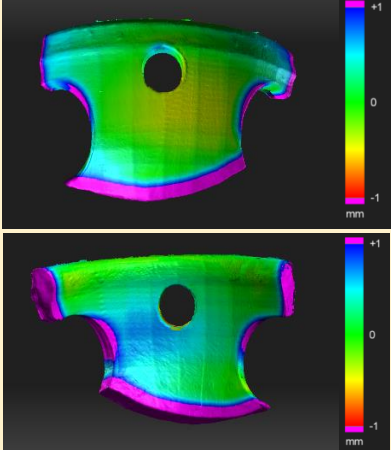
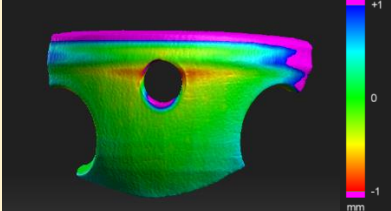
Resultados del análisis mediante F-TIR realizado a una muestra de filamento PLA E.P.

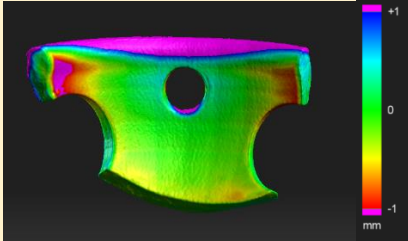
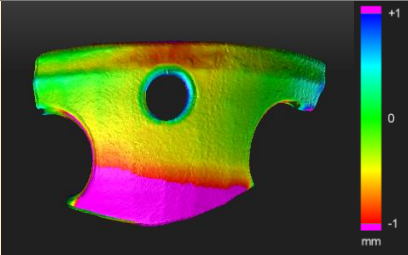
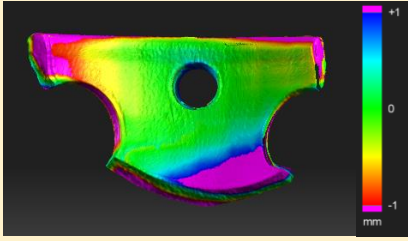
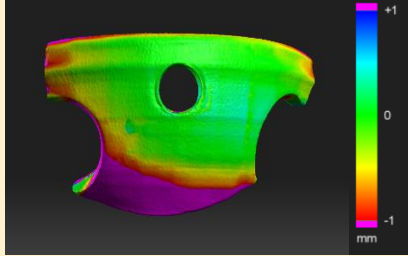
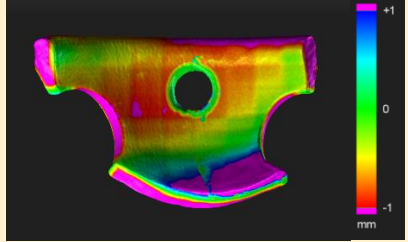


ANEXO 5 COMPARACIÓN DE MODELOS REALIZADOS EN RESINA CERÁMICA CERAMIC RESIN.

Comparación del volumen del modelo original con las reproducciones ejecutadas en Resina Cerámica después de su cocción. Esta comparación del volumen de los objetos se ha realizado mediante la herramienta *comparación* del software HP SCAN TRIAL. La tolerancia aplicada a la comparación ha sido de 1 milímetro. La escala de color indica la coincidencia de los modelos siendo el color verde la coincidencia total.

Nº y asignación de Probeta	Deformación aplicada	Dimensión original de la pieza comparado	Visualización de la comparación con tolerancia 1mm
1 R	Sin deformación Modelo original	X- 28.35 Y-43.80 Z-29.33	
2 R	Aplicación de deformación porcentual en aumento. Z-27% X e Y-15%	X-32.60 Y-50.03 Z-37.25	
3 R	Aplicación de deformación por Volumen	X- 32.15 Y-50.23 Z- 33.64	

4 R	Aplicación de deformación porcentual en aumento. Z-26% X e Y-14%	X- 32.22 Y- 49.93 Z-36.96	
5 R	Aplicación de deformación porcentual en aumento. Z-25% X e Y-13%	X- 32.04 Y-49.50 Z- 36.66	
6 R	Aplicación de deformación porcentual en aumento. Z-24% X e Y-12%	X- 31.76 Y- 49.06 Z- 36.37	
7 R	Aplicación de deformación porcentual en aumento. Z-23% X e Y-11%	X- 31.47 Y- 48.62 Z- 36.08	

			
8 R	<p>Aplicación de deformación con calculo predeterminado. Aumento de escala a 1.150 factor de escala en Z- 1.123.</p>	<p>X- 33.02 Y-49.99 Z- 33.78 Escala: 1.150</p>	 
9 R	<p>Aplicación de deformación con calculo predeterminado. Factor de escala en Z- 1.123.</p>	<p>X- 28.71 Y-43.48 Z- 28.37</p>	 

ANEXO 6. FICHAS DE PRODUCTOS

Ceramic Resin

Photoreactive Resin for Form 2

SAFETY DATA SHEET

Prepared: 12/15/2017



GHS Format



1. CHEMICAL PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

Product Identification: Photoreactive Resin
 Product Class: Mixture of acrylic acid esters, photoinitiators, proprietary filler and additive package
 Product Use: For use in Formlabs printer Form 2

Company: Formlabs, Inc.
 35 Medford Street, Suite #201
 Somerville, MA

Date of Preparation: 12/15/2017

For Emergencies:
 North America call +1 800 255 3924
 Worldwide Intl. call +01 813 248 0585
 Reference Contract Number MIS4707563

2. HAZARDS IDENTIFICATION

Emergency Overview
 Color: OFF WHITE
 Physical state: THICK liquid
 Odor: LIGHT acrylic

*Classification of the substance or mixture:
 Eye damage, Category 1
 Skin sensitization, Category 1
 Chronic aquatic toxicity, Category 3

GHS-Labeling

Hazard pictograms:



Signal word: Danger

Formlabs MSDS - CERAMIC Photoreactive Resin for Form 2

Hazard Statements

H318 Causes serious eye damage
 H317 May cause an allergic skin reaction
 H412 Harmful to aquatic life with long lasting effects

Precautionary statement(s)

Prevention:
 P261 Avoid breathing gas/mist/vapors/spray
 P264 Wash skin thoroughly after handling
 P272 Contaminated work clothing should not be allowed out of the workplace
 P273 Avoid release into the environment
 P280 Wear protective gloves/protective clothing/eye protection/face protection

Response:

P302 + P352: IF ON SKIN (or hair) : Wash with plenty of soap and water
 P305 + P351 + P338: IF IN EYES : Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.
 P310: IF SWALLOWED : Immediately call a POISON CENTER or doctor/physician
 P333 + P313 : If skin irritation or rash occurs: Get medical advice/attention
 P362 : Take off contaminated clothing and wash before reuse
 P391 : Collect spillage

Supplemental Health Information

POTENTIAL HEALTH EFFECTS:

Effects due to processing releases: irritating to eyes, respiratory system and skin. Prolonged or repeated exposure may cause: headache, drowsiness, nausea, weakness (severity of effects depends on extent of exposure).

Other: this product may release fume and/or vapor of variable composition depending on processing time and temperature. Possible cross sensitization with other acrylates and methacrylates.

If CERAMIC Photoreactive Product is photopolymerized and subsequently subjected to grinding or polishing, care needs to be taken to avoid breathing generated particle dust. Inhaled generated dust particles may cause damage to breathing organs.

Formlabs MSDS - CERAMIC Photoreactive Resin for Form 2

3

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Components	Approximate % by weight	C.A.S. No. & EINECS No.	Hazard Statements	UK/EU Classification according to Directive 67/548/EEC
A. Acrylated monomers	Proprietary	Proprietary	H315, H317, H318	XI; Irritant, R36, R43 S3, S7/9, S20, S26, S29, S37/39
B. Photoinitiator(s)	Proprietary	Proprietary	H317, H411	
C. Additives	<1wt%	Proprietary		
D. Filler	Proprietary	Proprietary		

4. FIRST-AID MEASURES

Emergency Overview: This product is an off white thick liquid with a characteristic odor. This product may cause skin and eye irritation. The inhalation of high vapor concentration may cause a headache and nausea.

Inhalation: In case of exposure to a high concentration of vapor or mist, remove person to fresh air. If breathing has stopped, administer artificial respiration and seek medical attention.

Eye Contact: Immediately flush with plenty of clean water (under eye lids) for at least 20 minutes. Hold eyelids apart to ensure flushing. Washing within one minute of contact is essential to achieve maximum effectiveness. Seek medical attention immediately. Do not apply oil or oily ointments unless ordered by a physician.

Skin Contact: Remove contaminated clothing and rinse contact area thoroughly with soap and water. Particular attention should be paid to hair, nose, and ears, and other areas not easily cleaned. Wash clothing before reuse. If irritation develops, consult a physician.

Ingestion: If ingested, dilute by giving glasses of water or milk to the victim. Do not give anything by mouth if the victim is rapidly losing consciousness, is unconscious, or convulsing. Do not induce vomiting. If vomiting occurs naturally, keep airways clear. Get medical attention. Provide an estimate of the time at which the material was ingested and the amount of the substance that was swallowed.

Formlabs MSDS - CERAMIC Photoreactive Resin for Form 2

4

5. FIRE-FIGHTING MEASURES

Flash point: > 93°C / 200°F

Method: Setofflash

Ignition temperature: n.d

Lower explosion limit: n.d

Upper explosion limit: n.d

Extinguishing media: Use carbon dioxide or dry chemical for small fires; aqueous foam or water spray for large fires.

Special firefighting procedures: Firefighters should wear full protection clothing and self-contained breathing apparatus (SCBA). Thoroughly decontaminate firefighting equipment including all firefighting apparel after the incident.

Unusual Fire & Explosion: Emits irritating vapors. High temperatures, accidental impurities, or exposure to radiation or oxidizers may cause spontaneous polymerization generating heat/pressure and rupture/explosion of closed containers.

Exposure Hazard(s): Material – Irritant

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Procedures of Personal Precautions: Wear adequate personal protective clothing and equipment, as outlined in Section 8.

Environmental Precautions: Contain spill to prevent spread into drains, sewers, water supplies, or soil. Avoid release into the environment. Dispose of in accordance with all applicable federal, state and local regulations.

Methods of Cleaning Up: In the event of a spill, immediately remove all sources of ignition. Cover the liquid with inert absorbent. Using appropriate personal protective equipment and non-sparking tools, contain spilled material.

Waste Disposal Method: Do not dispose of in sewers, lakes, rivers or streams. Scoop all contaminated material into compatible bottles or drums for proper disposal. Dispose of in accordance with all applicable federal, state and local regulations. National or regional provisions may also be in force.

7. HANDLING AND STORAGE

Handling Precautions: User Exposure – This product should be used in well-ventilated areas. Product may cause irritation. Avoid contact with eyes. Avoid prolonged or repeated contact with skin. Wash hands with soap and water before eating, drinking, smoking, applying cosmetics, or using toilet facilities. Launder contaminated clothing before reuse. Contaminated leather articles, including shoes, cannot be decontaminated and should be destroyed to prevent reuse. Solvents

Formlabs MSDS – CERAMIC Photoreactive Resin for Form 2

5

controls. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU). Respiratory protection is strongly recommended in handling of this product when grinding or polishing photopolymerized parts.

Protective Gloves: Wear impervious gloves (nitrile or neoprene) for routine handling.

Eye and Face Protection: Chemical splash goggles or a face shield is recommended during operations where splashing could occur.

Skin Protection: Avoid all skin contact. Depending on the conditions of use, cover as much of the exposed skin area as possible by wearing gloves, aprons, long pants, and long sleeved shirts.

Other Controls: For operations where contact can occur a safety shower and eye wash facility should be available. Always use good personal hygiene and housekeeping practices. Wash hands thoroughly after handling.

Environmental Exposure Controls: Keep product from waterways and watersheds. This substance is not readily biodegradable and is dangerous for the environment. Avoid release into the environment.

9. PHYSICAL & CHEMICAL PROPERTIES

Appearance: Liquid, off white

Odor: Light/Characteristic/Acrylate

	Value	Unit	Method
Specific Gravity:	1.6	g/cm ³	
Boiling Point:	> 100	°C	
Flash Point:	> 100	°C	
Ignition Temperature:	n.d.		
Lower Explosion Limit:	n.d.		
Upper Explosion Limit:	n.d.		
Viscosity:		cps	@ 25°C (77°F)

Vapour pressure: not established

Solubility in water: only very slightly soluble

Solubility in organic solvents: soluble in organic solvents

Volatile characteristics: negligible

Electrostatic discharge: safe

Electric conductivity: dielectric

Formlabs MSDS – CERAMIC Photoreactive Resin for Form 2

7

should never be used to clean hands or skin because they increase the penetration of the material into skin.

Storage Precautions: Suitable – Store in a cool, dry place out of direct sun light, in opaque or amber containers. Store the containers at 10-35°C (50-95°F). Do not exceed 60°C (140°F) when in storage. Keep containers closed. Avoid ignition sources.

Special Requirements: Do not heat containers with steam or electrical equipment. Heating this product above 150°C (300°F) in the presence of air may cause slow oxidative decomposition; above 260°C (500°F) polymerization may occur. Fumes and vapors from this thermal decomposition may be dangerous (nitrous vapors, carbon monoxide, carbon dioxide). Do not breathe fumes.

8. EXPOSURE CONTROLS & PERSONAL PROTECTION

Exposure Limits:

Component	HSIS Australia	IOELVs (UK)	ACGIH TLV	OSHA PEL	WEEL
1. Acrylated monomers	None	None	None	None	None
2. Photoinitiator(s)	None	None	None	None	None
3. Filler	None	None	None	None	None

No occupational exposure limit values exist for the materials contained in this product.

Notations:

IOELVs – Indicative Occupational Exposure Limit Values

TWA – Time Weighted Average

OEL – Occupational Exposure Limits

PEL – Permissible Exposure Limit

TLV – Threshold Limit Value

STEL – Short Term Exposure Limit

WEEL – Workplace Environmental Exposure Level by the American Industrial Hygiene Association

EXPOSURE CONTROLS

Ventilation Controls: Ensure adequate ventilation.

Respiratory Protection: Respirators are generally not needed under normal conditions of use. If this material is handled at elevated temperature, under mist forming conditions or in case of accidental release of large quantities of product use a full-face respirator with multi-purpose combination (US) or type ABEK (EN 14387) respirator cartridges as a backup to engineering

Formlabs MSDS – CERAMIC Photoreactive Resin for Form 2

6

10. STABILITY AND REACTIVITY

Stability: Stable when stored in original container designed for use with light sensitive materials under 35°C (95°F) in dark, cool place.

Conditions to Avoid: Storage >38°C (100°F), exposure to light, loss of dissolved air, and contamination with incompatible materials.

Incompatible Materials to Avoid: Polymerization initiators, including peroxides, strong oxidizing agents, alcohols, copper, copper alloys, carbon steel, iron, rust, and strong bases.

Hazardous Decomposition Products: Hazardous decomposition products may include oxides of carbon, nitrogen and various hydrocarbon fragments.

Hazardous Polymerization: Hazardous polymerization may occur. Uncontrolled polymerization may cause rapid evolution of heat and increase in pressure that could result in violent rupture of sealed storage vessels or containers.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

A. Acrylated monomers	Acute Oral toxicity (rat) LD50 > 2000 mg/kg body weight (vendor literature) Acute Dermal toxicity (rabbit) LD50 > 3000 mg/kg body weight (vendor literature)
B. Photoinitiator(s)	Acute Oral Toxicity (rat) LD50 > 2000 mg/kg body weight (vendor literature) Acute Dermal Toxicity LD50 > 2000 mg/kg body weight (vendor literature)
C. Fillers	No data available

Individual components of this product are not reported to produce mutagenic effects in humans. None of the components of this material are listed by IARC, NTP, OSHA or ACGIH as carcinogens.

12. ECOLOGICAL INFORMATION

Keep product from waterways and watersheds. This substance is not readily biodegradable. Dispose of in accordance with all applicable federal, state and local regulations.

A. Acrylated monomers	May be harmful to various species of fish, algae and water microorganisms
B. Photoinitiator(s)	May be harmful to various species of fish, algae and water microorganisms
C. Filler	No data available

Formlabs MSDS – CERAMIC Photoreactive Resin for Form 2

8

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Dispose of in accordance with governmental regulations (community, national or regional). Contact a licensed professional waste disposal service to dispose of this mixture. As with all foreign substances, do not allow to enter storm or sewer drainage systems. Avoid release into the environment.

Contaminated Packaging: Dispose of as unused product. Expose the open emptied container to light until material has solidified, then dispose.

14. TRANSPORT INFORMATION

Department of transportation classification: Not hazardous by D.O.T. regulations
D.O.T. proper shipping name: Not regulated
International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG): not regulated
International Air Transportation Association (IATA): not regulated
Other requirements: N/A
Australian HazChem Code: N/A

15. REGULATORY INFORMATION

The following provides a summary of the legal requirements.

Ingredient	EPA TSCA	CA Prop 65	European Economic Community (EEC)			Canada Regs		
			EINECS	European Community Standards	Listed as dangerous chemicals per ESIS	EC 1272/2008	DSL	NDSL
A. Acrylated monomers	Yes	No	Yes	None	No	GHS07, H315, H317, H318	Yes	Yes
B. Photoinitiator(s)	Yes	No	Yes	None	No	H317, H411	Yes	No
C. Filler	Yes	No	Yes	None			No	

All the components present in this product at concentrations equal to or greater than 0.1% are listed, or excluded from listing, on the United States Environmental Protection Agency Toxic Substances Control Act (TSCA) inventory.

Substance Preparation Classification:

Formlabs MSDS – CERAMIC Photoreactive Resin for Form 2

9

Irritant

FULL TEXT OF ANY R-PHRASES AND S-PHRASES

Risk Phrases:

R36/37/38 – Irritating to eyes, respiratory system and skin
R43 – May cause sensitization by skin contact

Safety Phrases:

S3 – Keep in a cool place
S7/9 – Keep container
S20 – When using do not eat or drink
S26 – In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice
S29 – Do not empty into drains
S36 – Wear suitable protective clothing
S37/39 – Wear suitable gloves and eye/face protection

SARA 302: No chemicals in this material are subject to the reporting requirements of SARA Title III, Section 302.

Pursuant to Title III of the Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986, (SARA) and 40 CFR 372 Part 372, this product does not contain chemicals subject to the reporting requirements under Section 313.

California Proposition 65: This product does not contain chemicals which are known to the state of California to cause cancer.

16. OTHER INFORMATION

HMIS (Hazardous Materials Information System) for secondary labeling:

HEALTH	2
Fire Hazard	1
Reactivity	1
Personal Protective Equipment	D

Formlabs MSDS – CERAMIC Photoreactive Resin for Form 2

10


REFERENCES:

- 2011 Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices. American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- MSDS + Cheminfo CD-ROM, Canadian Centre for Occupational Health and Safety
- SAX'S Dangerous Properties of Industrial Materials, Tenth Edition
- TSCA & SARA Title III, U.S. Environmental Protection Agency and the National Technical Information Services
- Raw Material Manufacturers Material Safety Data Sheets
- US National Institute of Medicines Toxnet current edition
- ESIS: European Chemical Substance Information System, <http://ecb.jrc.it/esis>
- NOHSC Hazardous Information Substances Information System, Department of Employment and Workplace Relations, Australian Government, 2005

To the best of our knowledge the information contained herein is accurate. However, Formlabs, Inc. makes no warranty, expressed or implied, regarding the accuracy of these results to be obtained from the use thereof. Although certain hazards are described herein, we cannot guarantee that these are the only hazards that exist. Formlabs, Inc. assumes no responsibility for injury from the use of the product described herein.

Formlabs MSDS – CERAMIC Photoreactive Resin for Form 2

11

CERAMICA COLLET S.A. Fundada en 1874 Pol. Ind. L'Oliva, s/n. Apdo. de correus 205 08292 Espareguera - BARCELONA (Spain) Tel. +34 93 777 23 44 Fax +34 93 770 94 11 com@ceramicacollet.com www.sio-2.com	FICHA TÉCNICA / TECHNICAL SHEET		
	PA 1050-1080°C	PASTA BLANCA WHITE EARTHENWARE BODY	

DESCRIPCIÓN / DESCRIPTION

Pasta blanca especial para torno y modelado de alta calidad. Pasta muy polivalente y apreciada por su finura, plasticidad y regularidad. Destaca su compensada proporción de carbonato cálcico (15%) que le confiere mayor estabilidad respecto a las pastas tradicionales de loza, presentando además unos coeficientes de dilatación idóneos para los esmaltes estándares de alfarería, tanto en mono como en bicocción. Temperatura de cocción recomendada 1050-1060°C.

Special white earthenware body for modelling. It is a high quality and polyvalent clay, very popular for its finesse and plasticity. Its balanced calcium carbonate content (15%) confers higher stability than traditional white earthenware bodies. Its coefficients of thermal expansion are ideal for standard glazes for pottery, in both once and twice firing processes. Firing temperature recommended: 1050-1060°C.

GAMA Y PRESENTACIÓN / RANGE AND SUPPLYING FORM

Ref.	Humedad Water content % aprox.	Descripción Description	Consistencia* Consistency*		Presentación Supplying form
			Base mm	kg	
PA'E	20	Pasta blanca para modelado White earthenware body for modelling	20	4.0 – 5.5	cortes envasados / wrapped units = 12.5 kg 1 pallet = 96 cortes / units = 1200 kg

* Consistencia de extrusión. / Extrusion consistency (softness).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS / TECHNICAL DATA

Análisis Químico / Chemical Analysis %									Plasticidad / Plasticity (Atterberg)		Calcimetría CaCO ₃ %
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI	LL	IP	
53.53	20.50	0.67	0.98	8.58	0.30	1.17	2.20	11.63	37	17	15

Características en crudo Green and drying data			Características en cocido Firing data					Coeficientes de dilatación térmica lineal Coefficient of thermal expansion x10 ⁻⁶ °C ⁻¹			
Humedad Water content %	Contracción secado Drying shrinkage %	Resistencia seca Dry strength N/mm ²	Temperatura Temperature °C	Pérdida de peso Loss on ignition %	Absorción agua Water absorption %	Contracción cocción Firing shrinkage %	Resistencia cocido Fired strength N/mm ²	025-300	0300-500	0500-650	025-650
20	6.0	-	1000 1050 1100	11.6 11.6 11.7	13.7 12.5 12.0	0.0 0.1 0.0	- 25.9 -	70.1	86.4	115.7	86.2

Los datos especificados son indicativos, procedentes de análisis de caracterización de muestras representativas y de promedios de controles rutinarios de fabricación. Las características de los productos son susceptibles de modificación.
The specified data is only an indication, stemming from the analysis of the characterization of representative samples, and from routine production averages. Product characteristics are subject to modifications.

REV 1008



SMARTFIL® E.P.

Como su nombre indica, se trata de un material muy fácil de imprimir, que no requiere de cama caliente y sin warping, lo que le permite obtener piezas de grandes dimensiones. También se trata de un material excelente para ser lijado y pintado tras la impresión. Otros aspectos a destacar del SMARTFIL E.P. es que es más rígido que el PLA.

This filament is really easy to print as it doesn't need heated bed and has no warping, which let you get big pieces. As well, it can be sanded, or filed, easily and its compatible with many painting materials. Other aspect you may like is that our SMARTFIL EP is harder than PLA.

E.P.

Physical Properties	Typical Value	Test Method
Material Density	1,10 g/cm ³	ISO 1183
Mechanical Properties	Typical Value	Test Method
Flexural Strength	110 MPa	ASTM D790
Flexural Modulus	3900 MPa	ASTM D790
Notched Izod Impact	32 kJ/m ²	ASTM D256
Tensile Yield Strength	60 MPa	ASTM D638
Thermal Properties	Typical Value	Test Method
Heat Distortion Temperature	60 °C	ASTM D1505
Vicat Softening Temperature	70 °C	ASTM D1525
Printing Properties	Typical Value	
Print Temperature	200±10 °C	
Hot Pad	0-60 °C	
Fan Layer	On (100%)	
Layer Height	> 0,2 mm	

Size	Net W.	Gross W.	Diameters	Packaging Characteristics
M	750 g	975 g	175/285 mm	SmartBag, security seal
XL ¹	3300 g	3884 g	175/285 mm	SmartBag, security seal
XXL ²	5600 g	6346g	175/285 mm	SmartBag, security seal
XXXL ¹	8000 g	8746 g	175/285 mm	SmartBag, security seal

¹ XL, XXL and XXXL are fabricated using alternative filament sizes. Please do not mix them. ² 1.5 diameter.

² XL and XXXL require extra heated bed and fan. Additional item required. 1 unit of nozzle.

Colores Disponibles / Available Colours

Color	Name	Colour
Blanco	Ivory White	White
Negro	True Black	Black



Reciclable
Recycled
PLA



Apto para contacto
con alimentos
Food Approved
Food safe



Biocompostable
Biodegradable
Compostable

Nota: Ninguno de nuestro filamentos contiene material reciclado con el fin de ofrecer filamentos de la mejor calidad.

Note: None of our filaments is produced with recycled material in order to get the highest quality filaments.

SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O DE LA MEZCLA Y DE LA EMPRESA**IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO****Nombre del producto:**

SMARTFIL® EP INKRY WHITE
 SMARTFIL® EP TRUE BLACK

Tipo de producto: Termoplástico

USOS PERTINENTES IDENTIFICADOS DE LA SUSTANCIA O DE LA MEZCLA Y USOS DESA CONSEJADOS

Uso recomendado: Filamento para impresión 3D. Fabricación aditiva.

Usos desaconsejados: No hay información disponible.

1.3 IDENTIFICACIÓN DE LA COMPAÑÍA

SMART MATERIALS 3D PRINTING SL
 Polígono Industrial El Retamar - C/ Tormillo 7 - Vial G
 23680 Alcazón Real (Jaén) SPAIN
 ☎ +34 953 041 993
 ☎ +34 953 113 527
 ✉ info@smartmaterials3d.com
 www.smartmaterials3d.com

1.4 CONTACTO DE EMERGENCIAS

N.º Teléfono emergencia: 112

SECCIÓN 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS**2.1 CLASIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O MEZCLA**

Reglamento (CE) N.º 1272/2008
 Esta mezcla está clasificada como no peligrosa conforme al Reglamento (CE) 1272/2008 [SGA].

2.2 ELEMENTOS DE LA ETIQUETA

Símbolos/Pictogramas: Ninguno

Palabras de advertencia: Ninguno

Indicaciones de Peligro: Ninguno

Consejos de prudencia: Ninguno

2.3 OTROS PELIGROS

No se conocen/ No hay información disponible.

www.smartmaterials3d.com | 1

Equipos de protección especial para el personal de lucha contra incendios: Como en cualquier incendio, llevar un aparato de respiración autónomo de presión a demanda MSHA/NIOSH (aprobado o equivalente) y todo el equipo de protección necesario.

SECCIÓN 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL**6.1 PRECAUCIONES PERSONALES, EQUIPO DE PROTECCIÓN Y PROCEDIMIENTOS DE EMERGENCIA**

Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia: Utilizar el equipo de protección individual obligatorio. Evitar la formación de polvo. Retirar todas las fuentes de ignición. Barer para evitar el riesgo de resacañas.

Para el personal de emergencia: Usar con el equipo de protección personal adecuado (ver Sección 8).

6.2 PRECAUCIONES RELATIVAS AL MEDIO AMBIENTE

- No arrojor a las aguas superficiales ni al sistema de alcantarillado
- Evite que el material contamine el agua del subsuelo.

6.3 MÉTODOS Y MATERIAL DE CONTENCIÓN Y DE LIMPIEZA

Barer y recoger el material solidificado en contenedores apropiados para su eliminación. Los materiales recogidos se tratan como residuos.

SECCIÓN 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**7.1 PRECAUCIONES PARA UNA MANIPULACIÓN SEGURA**

Recomendaciones para manipular sin peligro: Utilizar equipos de protección personal. Evitar el contacto con la piel y los ojos cuando se manipule el filamento fundido.

Consideraciones generales sobre higiene: Manipular el filamento respetando las buenas prácticas de higiene industrial y seguridad.

7.2 CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO SEGURO, INCLUIDAS POSIBLES INCOMPATIBILIDADES

Exigencias con respecto al almacén y los recipientes: Guardar en un lugar seco, proteger de la luz solar, almacenar entre 10°C y 40°C.

Normas en caso de almacenamiento conjunto: No es necesario.

Indicaciones adicionales sobre las condiciones de almacenamiento: Almacenar en envases bien cerrados en un lugar fresco y seco.

SECCIÓN 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL**8.1 PARÁMETROS DE CONTROL**

Ninguno establecido

Este material puede generar partículas no clasificadas según alto criterio (PNOC). La Administración de Seguridad y Salud Ocupacionales de EEUU (OSHA) impone un valor PEL/TWA (Nivel de exposición permisible/promedio ponderado en el tiempo) para PNOC de 15 mg/m³ para el polvo total y de 5 mg/m³ para la fracción respirable.

La Conferencia Americana de Higiéistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) impone un valor TLV/TWA (límites de concentración del producto/promedio ponderado en el tiempo) para PNOC de 10 mg/m³ para partículas inhalables y de 3 mg/m³ para partículas respirables.

www.smartmaterials3d.com | 3

SECCIÓN 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES**3.1 SUSTANCIA**

No aplicable.

3.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA: MEZCLAS

Nombre químico	N.º Cas	% en peso
Polyactide resin	9051-89-2	> 80
CaCO ₃	1317-65-3	< 20
Aditivos y colorantes		< 1

SECCIÓN 4. PRIMEROS AUXILIOS**4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PRIMEROS AUXILIOS**

Contacto con los ojos: En caso de irritación causada por los humos enjuagar inmediatamente con abundante agua. Si los síntomas persisten póngase en contacto con su médico.

Contacto con la piel: Con el material a temperatura ambiente no se esperan efectos adversos, en caso de contacto con el filamento fundido, enfriar rápidamente la zona afectada con agua. No separar de la piel el producto solidificado. Avisar inmediatamente al médico.

Inhalación: Tras la inhalación de los vapores emitidos por el filamento fundido, respirar aire fresco, reposo, si los síntomas persisten póngase en contacto con su médico.

Ingestión: Beber agua como medida de precaución. Nunca dar nada por boca a una persona inconsciente. No inducir el vómito sin asistencia médica.

4.2 PRINCIPALES SÍNTOMAS Y EFECTOS, AGUDOS Y RETARDADOS

No hay información disponible

4.3 INDICACIONES DE ATENCIÓN MÉDICA Y TRATAMIENTOS ESPECIALES QUE DEBAN DISPENSARSE INMEDIATAMENTE

No hay información disponible

SECCIÓN 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS**5.1 MEDIOS DE EXTINCIÓN**

Medios de extinción adecuados: Cualquier método es aplicable

Medios de extinción no apropiados por seguridad: Ninguno conocido

5.2 PELIGROS ESPECÍFICOS DERIVADOS DE LA SUSTANCIA O MEZCLA

La combustión del filamento libera humos, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y tóxicos Aldehídos.

5.3 RECOMENDACIONES PARA EL PERSONAL DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Instrucciones: No se requiere ninguna instrucción de lucha particular.

www.smartmaterials3d.com | 2

Donde sea razonablemente practicable, esto deberá ser realizado usando ventilación local y una buena extracción general. Debe disponer de extracción adecuada en aquellos lugares en los que se forma polvo.

8.2 CONTROLES DE EXPOSICIÓN

Protección de los ojos: Ninguno durante la manipulación y uso normal. Gafas protectoras con cubiertas laterales para proteger contra el filamento fundido.

Protección de la piel y el cuerpo: Ninguno durante la manipulación y uso normal. Use ropa adecuada de trabajo. Use guantes para protección contra quemaduras cuando se utilice material fundido.

Inhalación: Mantener las concentraciones de aire por debajo de los límites de exposición recomendados (cuando correspondan), en caso contrario se debe de usar un respirador aprobado.

Medidas de Higiene: Manipular el filamento respetando las buenas prácticas de higiene industrial y seguridad.

Controles de Ingeniería: Proporcionar sistemas de ventilación de escape local. La ventilación debe ser suficiente para eliminar con eficacia y evitar la acumulación de polvos o humos que puedan generarse durante y la manipulación o en el procesamiento térmico del filamento.

SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**9.1 INFORMACIÓN SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS BÁSICAS**

Estado físico:	: Sólido
Aspecto/apariencia:	: Filamento
Color:	: Varios colores
Olor:	: Dulce
Densidad:	: 1.3 g/cm ³
Temperatura de descomposición:	: 250°C
Intervalo de fusión:	: 180°C – 230°C
Temperatura de autoignición:	: 388°C
Solubilidad:	: No determinada

9.1 OTRA INFORMACIÓN

No disponible

SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**10.1 REACTIVIDAD**

No se espera ninguna bajo condiciones de uso normal.

10.2 ESTABILIDAD QUÍMICA

Estable en condiciones de almacenamiento recomendadas.

www.smartmaterials3d.com | 4

 Versión 1.0/ES Fecha de revisión: 18/12/18

FICHA DE SEGURIDAD SMARTFIL® EP
Según Reglamento (CE) 1907/2006

10.3 POSIBILIDAD DE REACCIONES PELIGROSAS
No se espera ninguna bajo condiciones de uso normal.

10.4 CONDICIONES QUE DEBEN EVITARSE
Temperaturas superiores a (240° C). Evite mantener la resina fundida por excesivos períodos de tiempo a temperaturas elevadas. La exposición prolongada provocará la degradación del polímero.

10.5 MATERIALES INCOMPATIBLES
Oxidantes. Bases fuertes.

10.6 PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN PELIGROSOS
Ver sección 5.2

SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA
11.1 INFORMACIÓN SOBRE LOS EFECTOS TOXICOLÓGICOS

Vías principales de exposición : Contacto con los ojos, la piel, inhalación e ingestión.

Toxicidad aguda : En estudios realizados en animales no se observó ningún efecto sobre los órganos estudiados tras la ingestión o exposición dérmica.

Efectos locales : El polvo producido producto puede irritar los ojos, la piel y el aparato respiratorio. Las partículas del material, tal como los otros materiales inertes, son mecánicamente irritantes para los ojos. La ingestión puede causar irritación gastrointestinal, náuseas, vómitos y diarrea.

Efectos específicos : Puede provocar irritación cutánea o dermatitis. La ingestión puede causar irritación gastrointestinal, náuseas, vómitos y diarrea. La inhalación del polvo puede provocar dificultad para respirar, opresión en el pecho, dolor de garganta y tos. La combustión produce humos irritantes.

Toxicidad a largo plazo : No provocó reacciones alérgicas en la piel en estudios de sensibilización cutánea con conejos de Indio.

Efectos mutagénicos : No mutagénico en la prueba de AMES

Toxicidad para la reproducción : Sin datos disponibles.

Efectos carcinogénicos : Este producto no contiene ningún carcinógeno o posible carcinógeno según lo recogido en las listas OSHA, IARC o NTP

SECCIÓN 12. INFORMACIONES ECOLÓGICAS
12.1 ECOTOXICIDAD
No se espera que sea muy tóxico, pero si son ingeridas por aves o la vida acuática, pueden causar efectos mecánicos adversos.

12.2 PERSISTENCIA Y DEGRADABILIDAD
No existe información disponible.

www.smartmaterials3d.com | 5

 Versión 1.0/ES Fecha de revisión: 18/12/18

FICHA DE SEGURIDAD SMARTFIL® EP
Según Reglamento (CE) 1907/2006

12.3 POTENCIAL DE BIOACUMULACION
No se espera bioacumulación

12.4 MOVILIDAD EN EL SUELO
No se prevé bio-concentración debido al alto peso molecular (PM> 1000). En el medio ambiente terrestre, se espera que el material permanezca en el suelo. En el material de medio ambiente acuático se hundirá y permanecerá en el sedimento.

12.5 RESULTADOS DE LA VALORACION PBT Y mPmB
No aplicable

12.6 OTROS EFECTOS ADVERSOS
No hay información disponible

SECCIÓN 13. CONSIDERACIONES SOBRE SU ELIMINACIÓN
13.1 MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS
Deshecho de acuerdo con las regulaciones locales/regionales/nacionales/ internacionales. Esta liberación al medio ambiente. La incineración debe realizarse de acuerdo con las leyes municipales, estatales, y las leyes y normas de las agencias ambientales locales.

SECCIÓN 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE
ADR : No regulado
RID : No regulado
IATA : No regulado
IMOC : No regulado

SECCIÓN 15. INFORMACIÓN REGULATORIA
15.1 NORMAS / LEGISLACIÓN DE SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE ESPECÍFICAS PARA LA SUSTANCIA DE LA MEZCLA
Sin información disponible

15.2 EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD QUÍMICA
No es aplicable

SECCIÓN 16. OTRAS INFORMACIONES
Los datos que pueden extraerse de esta hoja de seguridad se basan sobre el estado actual de nuestros conocimientos, esta información debe tratarse como una guía para el transporte, almacenamiento seguro y manejo. La información proporcionada no constituye garantía alguna de cualidades del producto. Además, es responsabilidad de usuario manejar el producto de acuerdo con las regulaciones y normas locales.

La información proporcionada en esta hoja de seguridad no genera ninguna relación jurídica contractual.

www.smartmaterials3d.com | 6