



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

OBTENCIÓN DE MODELOS 3D POR INGENIERÍA INVERSA MEDIANTE EL USO DE UN ESCÁNER DE LUZ ESTRUCTURADA

Alumno: Castillo Castillo, Francisco José

Tutor: Martin Doñate, Cristina
Dpto: Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos.

Septiembre, 2018



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Informática

Don CRISTINA MARTÍN DOÑATE , tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado: OBTENCIÓN DE MODELOS 3D POR INGENIRÍA INVERSA MEDIANTE EL USO DE UN ESCÁNER DE LUZ ESTRUCTURADA, que presenta FRANCISCO JOSÉ CASTILLO CASTILLO, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, SEPTIEMBRE de 2018

El alumno:

FRANCISCO JOSÉ
CASTILLO CASTILLO

Los tutores:

MARTIN DOÑATE
CRISTINA -
20157801A

Firmado digitalmente por MARTIN
DOÑATE CRISTINA - 20157801A
Nombre de reconocimiento (DN):
c=ES, serialNumber=20157801A,
sn=MARTIN DOÑATE,
givenName=CRISTINA, cn=MARTIN
DOÑATE CRISTINA - 20157801A
Fecha: 2018.09.05 12:17:31 +02'00'

CRISTINA MARTÍN DOÑATE

Índice

RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	5
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Funcionamiento general.	6
1.2. Diferentes usos de un escáner 3D.....	8
1.3. Tipos de escáner.	11
2. OBJETIVO DEL PROYECTO.....	14
2.1. Objetivo general.	14
2.2. Objetivo específico.	14
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1. Materiales.	14
3.2. Métodos.	21
3.2.1 Calibración.....	22
3.2.2 Preparación de la pieza.	24
3.2.3 Escaneado con plato rotatorio.....	25
3.2.4 Escaneado con plataforma de marcadores.	27
4. RESULTADOS.....	29
4.1. Resultados pieza hexagonal.....	30
4.2. Resultados pieza de porcelana.	36
4.3. Comparación de los resultados con el objeto real.	40
4.4. Otros resultados y casos de estudio.	44
5. CONCLUSIONES.....	53
Bibliografía.....	55

Índice de figuras.

Figura 1. Esquema de funcionamiento por triangulación óptica.....	7
Figura 2. Esquema de formación de la superficie del modelo 3D.	8
Figura 3. Escáner 3D aplicado a la industria.....	9
Figura 4. Obtención del modelo 3D mediante ingeniería inversa.....	9
Figura 5. Aplicación del escáner 3D como patrimonio cultural.	10
Figura 6. Aplicación del escáner para animaciones cinematográficas.....	10
Figura 7. Escáner 3D por contacto.	11
Figura 8. Escáner 3D activo.	12
Figura 9. Escáner 3D pasivo.	12
Figura 10. Escáner 3D de luz estructurada.....	13
Figura 11. Escáner 3D láser.	13
Figura 12. Trípode.....	15
Figura 13. Proyector.....	15
Figura 14. Cámaras.	16
Figura 15. Interfaz del programa.....	17
Figura 16. Principales comandos de la interfaz.....	17
Figura 17. Figura de porcelana.....	18
Figura 18. Pieza de acero.	19
Figura 19. Líquido preparador de superficies.	19
Figura 20. Plataforma de marcadores.....	20
Figura 21. Plato rotatorio.	20
Figura 22. Paneles de marcadores.	21
Figura 23. Marcadores.....	22
Figura 24. Calibración completa.	23
Figura 25. Ajuste de cámaras.	23
Figura 26. Posiciones panel de marcadores.	24
Figura 27. Resultado de la calibración.....	24
Figura 28. Pieza hexágono con líquido preparador de superficies.....	25
Figura 29. Calibración de los ejes de plato rotatorio.....	26
Figura 30. Escaneado de la pieza hexagonal.....	26
Figura 31. Crear modelo con marcadores.	27
Figura 32. Escaneado de figura de porcelana. (a) Sin líquido. (b) Con líquido.....	28
Figura 33. Diferentes posiciones escaneado pieza de porcelana.....	29
Figura 34. Herramientas de limpieza del modelo.	29
Figura 35. Modelos hexágono sin limpiar.....	31
Figura 36. Modelo 1 y 2 una vez limpiado de fragmentos.....	32
Figura 37. Controles de movimiento de los modelos.....	32
Figura 38. Ambos modelos unidos manualmente.	33
Figura 39. Ambos modelos unidos.....	33

Figura 40. Resultados modelo 3D hexágono.	35
Figura 41. Modelo 3 antes y después de limpiar los fragmentos.	36
Figura 42. Modelo 4 antes y después de limpiar los fragmentos.	37
Figura 43. Modelo 5 antes y después de limpiar los fragmentos.	37
Figura 44. Modelo 3 y 4 antes de ser unidos manualmente.	38
Figura 45. Modelo 3 y 4 unidos.	38
Figura 46. Resultado ambos modelos unidos.	39
Figura 47. Modelo 3D final pieza de porcelana.	40
Figura 48. Diferencias pieza hexágono: modelo 3D - pieza real	41
Figura 49. Diferencias pieza hexágono: modelo 3D - pieza real	41
Figura 50. Diferencias pieza hexágono: modelo 3D - pieza real	42
Figura 51. Diferencias pieza porcelana: modelo 3D - pieza real	42
Figura 52. Diferencias pieza porcelana: modelo 3D - pieza real.	43
Figura 53. Diferencias pieza porcelana: modelo 3D - pieza real.	43
Figura 54. Diferencias pieza porcelana: modelo 3D - pieza real.	44
Figura 55. Pieza 1 percha - pieza real.	45
Figura 56. Pieza 1 percha - modelo 3D.	45
Figura 57. Pieza 1 percha - impresión 3D.	45
Figura 58. Pieza 2 percha - pieza real.	46
Figura 59. Pieza 2 percha - modelo 3D.	46
Figura 60. Pieza 2 percha - impresión 3D.	47
Figura 61. Pieza 2 percha, detalle agujeros: real - modelo 3D - impresión 3D.	47
Figura 62. Pieza azul - pieza real.	48
Figura 63. Pieza azul - modelo 3D.	48
Figura 64. Pieza azul - impresión 3D.	49
Figura 65. Pieza gris - pieza real.	50
Figura 66. Pieza gris - modelo 3D.	50
Figura 67. Pieza gris - impresión 3D.	51
Figura 68. Tapón - pieza real.	51
Figura 69. Tapón - modelo 3D.	52
Figura 70. Tapón - impresión 3D.	52

Índice de tablas.

Tabla 1. Comandos de edición de modelo.	30
--	----

RESUMEN

Un escáner 3D es un dispositivo el cual se encarga de obtener los datos de forma y superficie de un objeto tridimensional y recrearlo en un modelo 3D con la ayuda de un software adecuado el cual podremos usar a continuación para diversos ámbitos. Existen de diversos tipos, pero en este proyecto nos vamos a centrar en la utilización del escáner de luz estructurada.

Se eligieron dos tipos de piezas para la realización de este proyecto: una pequeña y de acero con forma de hexágono y otra, una pieza mediana en dimensiones compuesta de un material de porcelana. El objetivo de este proyecto es obtener el modelo 3D de estas piezas mediante el cual se han empleado dos formas diferentes de escaneado, una para cada pieza.

Una vez obtenidos los resultados de ambos modelos, se han editado estos para que el resultado sea lo más preciso posible al elemento real, obteniendo así muy buenos resultados.

ABSTRACT

A 3D scanner is a device which is responsible for obtaining the shape and surface data of a three-dimensional object and recreate it in a 3D model with the help of a suitable software which we can then use for various areas. There are different types, but in this project we are going to focus on the use of the structured light scanner.

Two types of pieces were chosen for the realization of this project: a small steel one with a hexagon shape and another, a medium sized piece composed of a porcelain material. The objective of this project is to obtain the 3D model of these pieces by means of which two different forms of scanning have been used, one for each piece.

Once obtained the results of both models, these have been edited so that the result is as accurate as possible to the real element, thus obtaining very good results.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, las impresoras 3D nos muestra cómo de fácil es recrear un objeto virtual en uno físico, pero ¿y si queremos obtener el objeto virtual a través de uno real? ¿Cómo podemos hacerlo? Ahí es donde entra la obtención de la geometría inversa haciendo uso del escáner 3D.

A lo largo del tiempo, se han recreado bocetos, dibujos o planos de piezas y figuras para poder tener las dimensiones y características de estas piezas. Actualmente, con la gran cantidad de programas dedicados al diseño, esta tarea se ha vuelto más fácil, pero el problema viene cuando tenemos una pieza y queremos obtener su geometría ya que no tenemos el diseño 3D previamente.

Así surgieron los escáneres 3D, son dispositivos capaces de capturar la forma y el relieve, así como sus características físicas del objeto y con la ayuda de un software específico, recrear una nube de puntos obteniendo así la superficie de dicho objeto. Tal es la precisión de estos dispositivos, que los hay capaces de obtener el color del objeto y representarlo en el modelo 3D, el cual podremos a continuación, mediante una impresora 3D adecuada, imprimirlo y obtener una réplica muy precisa. [3]

1.1. Funcionamiento general.

Ya hemos hablado de lo que son estos dispositivos, pero vamos a conocer un poco más de ellos sobre su funcionamiento en general, ya que hay diferentes tipos y cada uno de ellos tiene un funcionamiento diferente.

Estos dispositivos están compuestos normalmente por foco de luz o proyector (independientemente del tipo de haz de luz que utilice) y un sensor receptor que capta la interferencia de dicho haz de luz con el objeto o pieza que vayamos a escanear. Éste es el método más empleado para el escaneado y se conoce como *triangulación óptica*. [5]

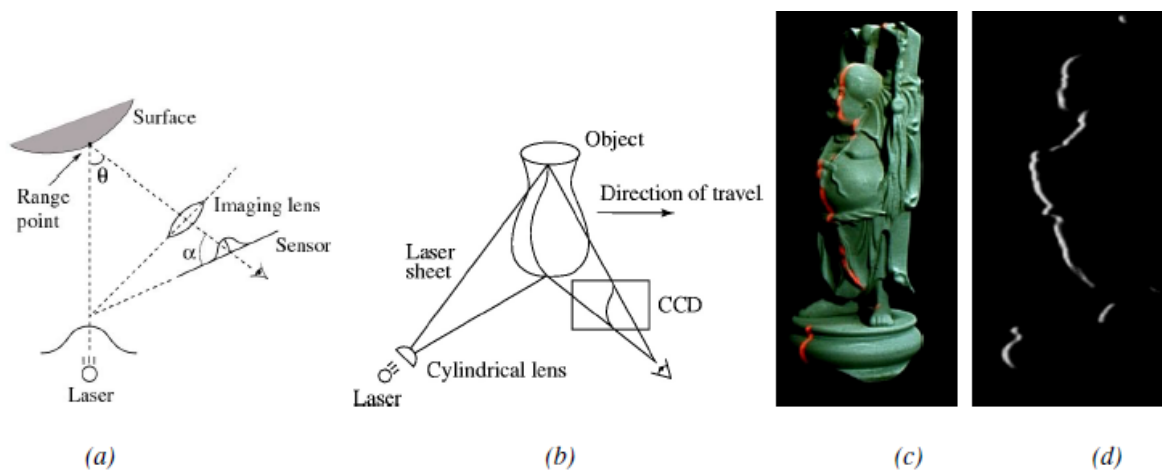


Figura 1. Esquema de funcionamiento por triangulación óptica.

(a) Triangulación en 2D usando un haz de luz láser. (b) Triangulación en 3D. (c) Línea roja proyectada sobre el objeto. (d) Luz captada por la cámara o sensor.

En la figura 1. (a) y (b) podemos ver cómo el haz de luz láser (en este caso) choca con la pieza dejando así una pequeña zona iluminada en la pieza, la cual es registrada por la cámara o sensor. Pero si solo hacemos una captura, sólo tendremos lo que se puede apreciar en la imagen (c) y (d) no resultando útil para el procesamiento 3D. Para ello tendremos que hacer un barrido con dicho haz de luz a lo largo del objeto, obteniendo así una nube de puntos de la superficie de dicho objeto.

Para que nos hagamos una idea, en la siguiente imagen, (figura 2.), se refleja cómo se forma el objeto 3D mediante triangulación [5]. En la primera parte (a), podemos ver como tenemos una serie de puntos aislados unos de otros, los cuales solo disponen de una determinada profundidad y altura respecto unos de otros. Estos puntos son captados por el sensor o cámara, el cual usa los píxeles de ésta para almacenar las posiciones de dichos puntos. En el (b) ya podemos ver como los puntos anteriores están unidos entre sí mediante triángulos. Esto es encargado el software de dicho escáner. Las imágenes (c) y (d) se crean a partir de la (b) dándole una superficie acorde a dichos triángulos y suavizando estas uniones ya que si no tendríamos formas muy afiladas o agudas.

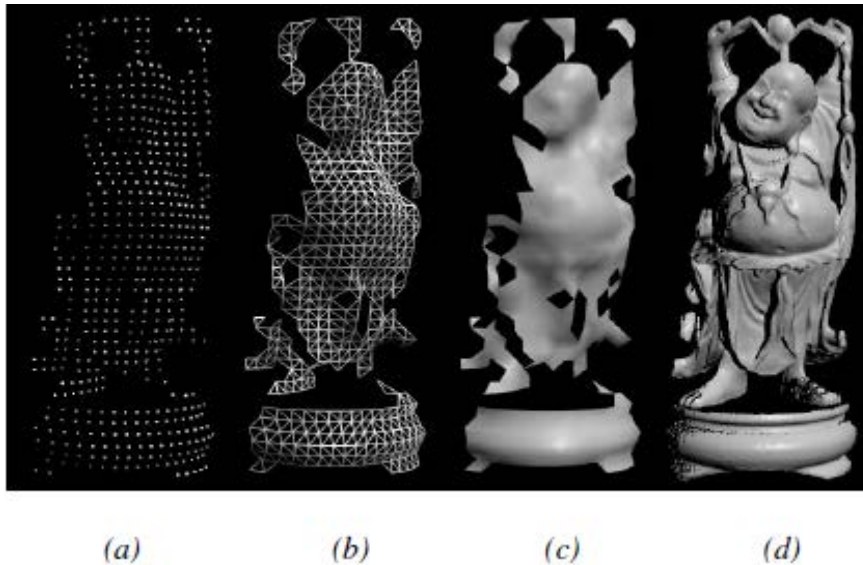


Figura 2. Esquema de formación de la superficie del modelo 3D.

(a) Nube de puntos. (b) Triangulación de dichos puntos. (c) Representación sombreada. (d) Alta resolución de la superficie.

1.2. Diferentes usos de un escáner 3D.

Hoy en día son muchas las aplicaciones a las que podemos dar el uso de sistemas de digitalización como son los escáneres 3D, algunas de ellas voy a nombrarlas a continuación:

- **INDUSTRIA:** cuando una pieza es fabricada en una empresa, requiere pasar unos determinados controles los cuales determinen la calidad que es requerida por el cliente. Para ello, el escáner 3D puede comparar la pieza fabricada con el modelo 3D obteniendo así unas tolerancias y si estas están permitidas por cliente, la producción será correcta.



Figura 3. Escáner 3D aplicado a la industria.

- INGENIERÍA INVERSA: la ingeniería inversa se basa en obtener el modelo 3D de un objeto real del cual no disponemos de sus planos o formatos 3D. Este sistema fue originado en un principio como método para hacer copias de modelos que ya existían para piezas de recambio. Por ejemplo, en la figura 4, una aplicación puede ser el obtener el modelo 3D (el cual no disponemos) del carenado de una motocicleta para poder ponerle un apéndice aerodinámico del cual sí tenemos el 3D y necesitamos saber cómo es su forma para adaptarlo.



Figura 4. Obtención del modelo 3D mediante ingeniería inversa.

- PATRIMONIO CULTURAL: otro tipo de aplicación sería crear modelos tridimensionales de objetos históricos o edificios de los cuales se puede obtener numerosa información debida a la gran precisión de estos dispositivos. Para preservar en buen estado las esculturas y elementos históricos, se procede al escáner 3D para obtener una réplica de este y poder usarlo como exposición guardando así el original en buen estado.



Figura 5. Aplicación del escáner 3D como patrimonio cultural.

- ENTRETENIMIENTO: desde hace unos años, en la industria del cine, el usar animaciones 3D está muy de moda. De hecho, si el objeto al que se le quiere hacer la animación existe, se suele recurrir al escáner 3D para producir el modelo digital ya que hacerlo mediante software de modelado conllevaría mucho más tiempo y la precisión sería inferior.

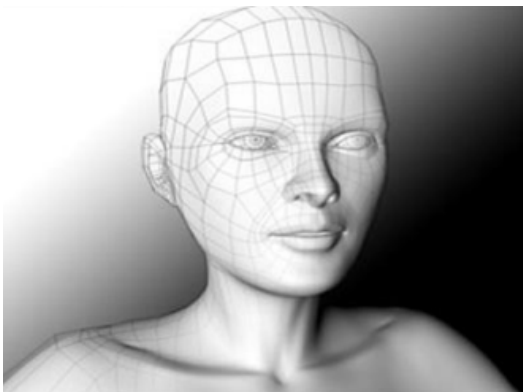


Figura 6. Aplicación del escáner para animaciones cinematográficas.

1.3. Tipos de escáner.

Estos dispositivos de escaneado y obtención de modelos 3D se pueden dividir en dos grandes bloques que son:

- Escáner por contacto.
- Escáner sin contacto.

El primer grupo (por contacto) hacen referencia a su nombre, los cuales, para poder obtener información de la pieza van recorriendo la pieza u objeto a modelar mediante un palpador el cual se apoya sobre la superficie del objeto. Este tipo de escáner tiene un gran inconveniente y es que al ir el palpador “tocando” la pieza, ésta, dependiendo del material que sea, puede deteriorarse en el proceso de escaneado, por lo que este tipo de escáner está muy limitado su uso. Otra desventaja sería su tiempo de escaneado, el cual, al tener que hacer contacto con la pieza, este reduce su velocidad de obtención de la geometría. Sin embargo, tienen una gran ventaja y es que poseen una gran precisión, por lo que su uso se limita a procesos de calidad en empresas de producción, donde verificando “ciertas zonas” de la pieza, el escáner obtiene unas coordenadas XYZ las cuales las contrasta con el modelo 3D y se puede obtener un resultado final sabiendo si las tolerancias son adecuadas o no.



Figura 7. Escáner 3D por contacto.

El otro gran grupo de escáner son aquellos que pueden obtener la geometría de la pieza sin contacto alguno con ésta. Dentro de este tipo, existen diferentes modelos en función de la forma de capturar la geometría del objeto. De esta forma, tenemos los siguientes tipos:

- ACTIVOS: estos dispositivos se basan en emitir una onda en la dirección del objeto a medir y una vez reflejada por este, los sensores captan dicha señal traduciéndola en la forma de dicho objeto. Este tipo de onda suele ser electromagnética o de ultrasonidos. Este tipo de dispositivos se suele usar para escanear terrenos, edificios grandes, ...



Figura 8. Escáner 3D activo.

- PASIVOS: este tipo de escaneado es el más sencillo y económico dado que se utiliza la radiación del ambiente. Por ejemplo, este dispositivo, es un accesorio para una videoconsola, el cual, asociado a un software determinado es capaz de escanear cualquier objeto pero sin embargo no tiene gran precisión.



Figura 9. Escáner 3D pasivo.

- LUZ ESTRUCTURADA: este tipo de dispositivo es el empleado en este proyecto. Su funcionamiento se basa en proyectar un patrón de luz sobre la pieza a escanear. Los sensores correspondientes detectan la deformación de dicho patrón y el software es el encargado de convertirlo en el modelo 3D. Este tipo de dispositivo tiene una serie de ventajas que puede ser su velocidad de trabajo y puede capturar objetos de diversos tamaños (desde 5 cm a 100cm) pero por el contrario depende de la superficie del objeto y tiene un procesado algo complejo.

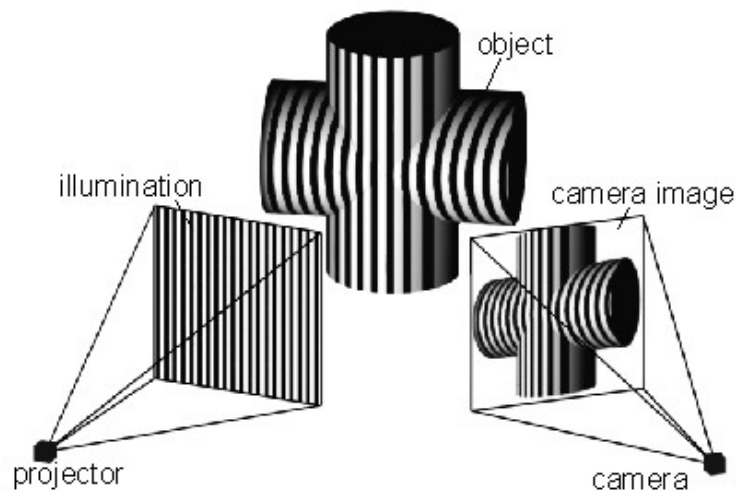


Figura 10. Escáner 3D de luz estructurada.

- LÁSER: este tipo de dispositivo tiene una gran diferencia con respecto al anterior y es el tipo de “luz” empleada para captar la superficie de la pieza. En este caso se proyecta un haz de luz láser que, al interceptar con la pieza, los sensores captan dicha forma para ser procesada a continuación.



Figura 11. Escáner 3D láser.

2. OBJETIVO DEL PROYECTO.

2.1. Objetivo general.

El objetivo general de este proyecto es obtener el modelo 3D de piezas como figuras de decoración o piezas de un conjunto mecánico mediante el uso de un escáner 3D de luz estructurada.

2.2. Objetivo específico.

Objetivos más concretos de este proyecto van a ser:

- Conocer el funcionamiento del escáner de luz estructurada que en este caso es el que hemos usado para este proyecto.
- Aprender el manejo y diferentes métodos que se pueden aplicar a la hora de escanear un objeto con este escáner.
- Comparar los resultados obtenidos de forma cualitativa con los originales.

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

En este apartado vamos a comentar qué materiales necesitaremos para el escaneado de las piezas, así como los métodos y procedimientos necesarios para realizarlo.

3.1. Materiales.

Los materiales que necesitaremos son:

- ESCÁNER: aunque parezca obvio pero el principal elemento es el escáner. Este elemento está formado por:
 - o Trípode: es el elemento que sostiene al proyector y las cámaras. Este tiene regulación en altura, así como permite el movimiento de 360°.

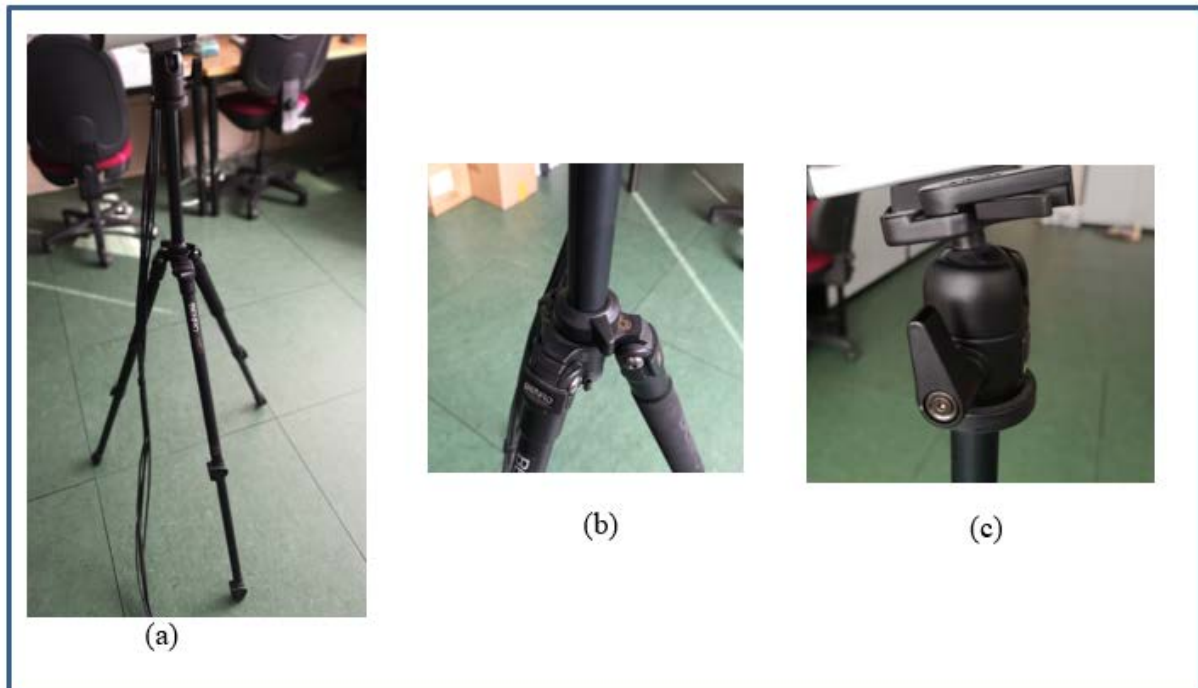


Figura 12. Trípode.

(a) Trípode. (b) Regulación en altura. (c) Regulación 360°.

- o Proyector de luz: es el encargado de proporcionar la luz estructurada sobre el objeto a escanear. El proyector cuenta con un elemento de regulación como es la lente de este, la cual se puede ajustar para proporcionar la visualización correcta del patrón que se proyecta sobre el objeto.



Figura 13. Proyector.

- o Cámaras: estas cámaras son las encargadas de recoger la información del objeto y transmitirla al software que procesará dichos datos. Estas a su vez disponen de 2 tipos de regulación, el anillo de enfoque que permite obtener con más nitidez el objeto y el anillo de apertura del diafragma, el cual permite que la cámara capture más o menos luz.

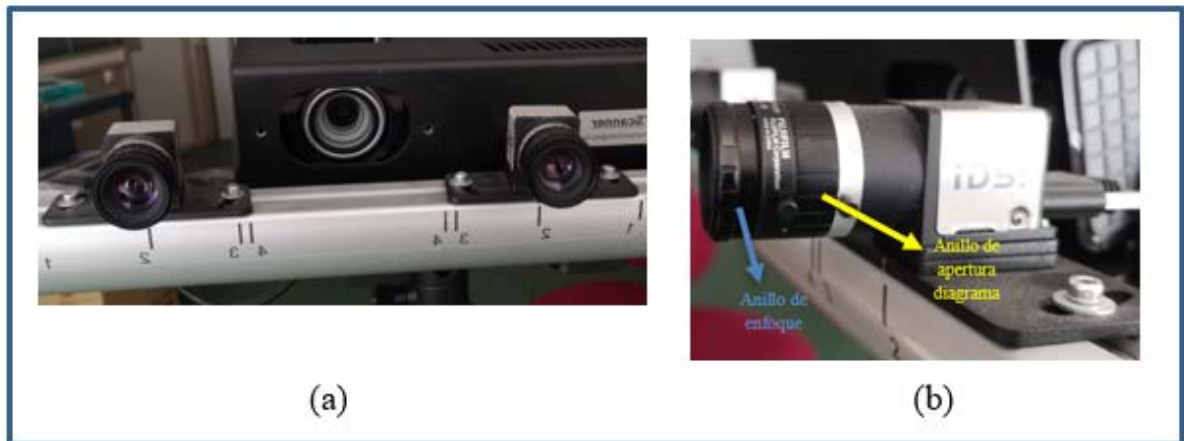


Figura 14. Cámaras.

(a) Doble cámara. (b) Tipos de regulación de cámara.

- SOFTWARE DE ESCANEADO: para poder procesar los datos registrados por las cámaras, el software es el encargado de crear esta nube de puntos y reconstruir el objeto tridimensional. Esta es una interfaz simple, de la que se compone de varias zonas como son [6]:
 - 1) En esta parte del interfaz podemos encontrar los distintos menús desplegables.
 - 2) En esta zona podemos ver información acerca de los fragmentos.
 - 3) En la zona central, nos encontramos el modelo tridimensional.
 - 4) Esta es la zona donde se permite el desplazamiento del objeto tridimensional.
 - 5) En esta zona podemos ver los diferentes grupos de escaneado que hemos realizado.

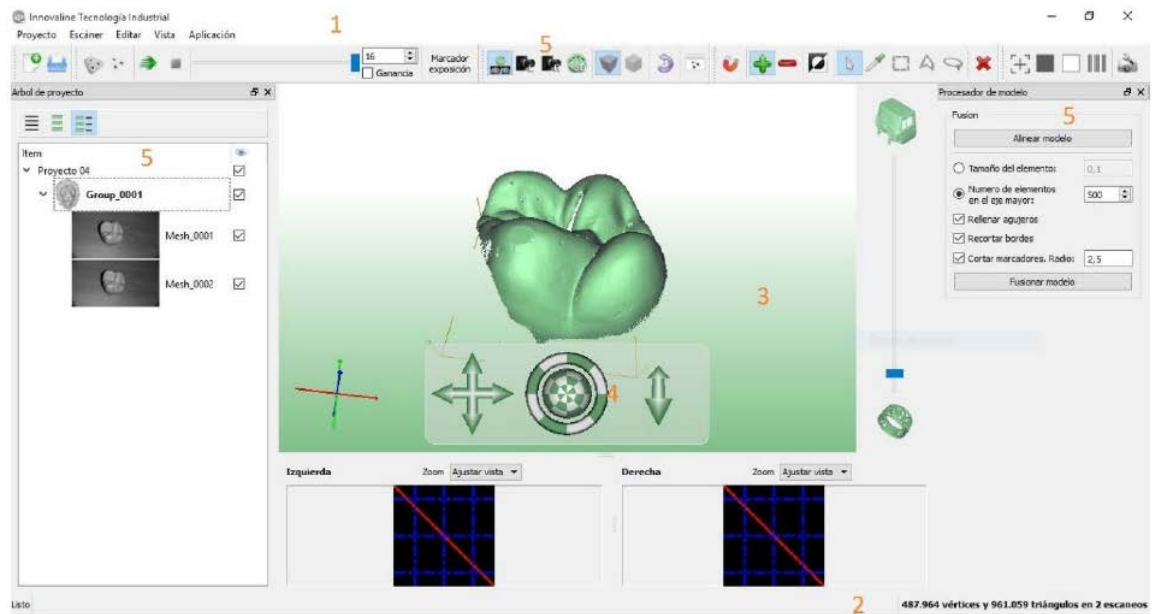


Figura 15. Interfaz del programa.

	Ctrl+N	Crear nuevo proyecto
	Ctrl+O	Abrir proyecto
	Ctrl+F4	Cerrar proyecto
	Ctrl+Q	Salir del programa
	Ctrl+→	Ver cámara derecha
	Ctrl+←	Ver cámara izquierda
	Ctrl+↑	Ver sólo modelo
	Ctrl+↓	Ver cámaras y modelo
	Ctrl+1	Proyectar cruceta
	Ctrl+2	Apagar luz del proyector
	Ctrl+3	Proyectar Luz blanca
	Ctrl+4	Proyectar líneas de enfoque del proyector
	Ctrl+espacio	Escanear
	Ctrl+borrar	Detener escaneo
	Ctrl+[	Escaneo modelo y marcadores
	Ctrl+]	Escaneo solo marcadores

Figura 16. Principales comandos de la interfaz.

- PIEZAS PARA ESCANEAR: para este proyecto hemos elegido dos piezas que escanear, las cuales son de materiales diferentes, porcelana la figura 17 y de acero la figura 18. Sus medidas podemos verlas en la misma imagen. Estas piezas han sido elegidas de la siguiente forma: la pieza de porcelana, a pesar de no ser de tipo

industrial, ha sido elegida debido a la gran cantidad de pequeños detalles que posee, así de esta forma podremos apreciar si los resultados que se obtienen se asemejan a la realidad y el escáner hace uso de su buena precisión a la hora de escanear en detalle. Por otro lado, la pieza de acero ha sido elegida debido a su material y como su posible uso en un determinado mecanismo, el cual lo necesitásemos para una posible adaptación con cualquier otro elemento.



Figura 17. Figura de porcelana.

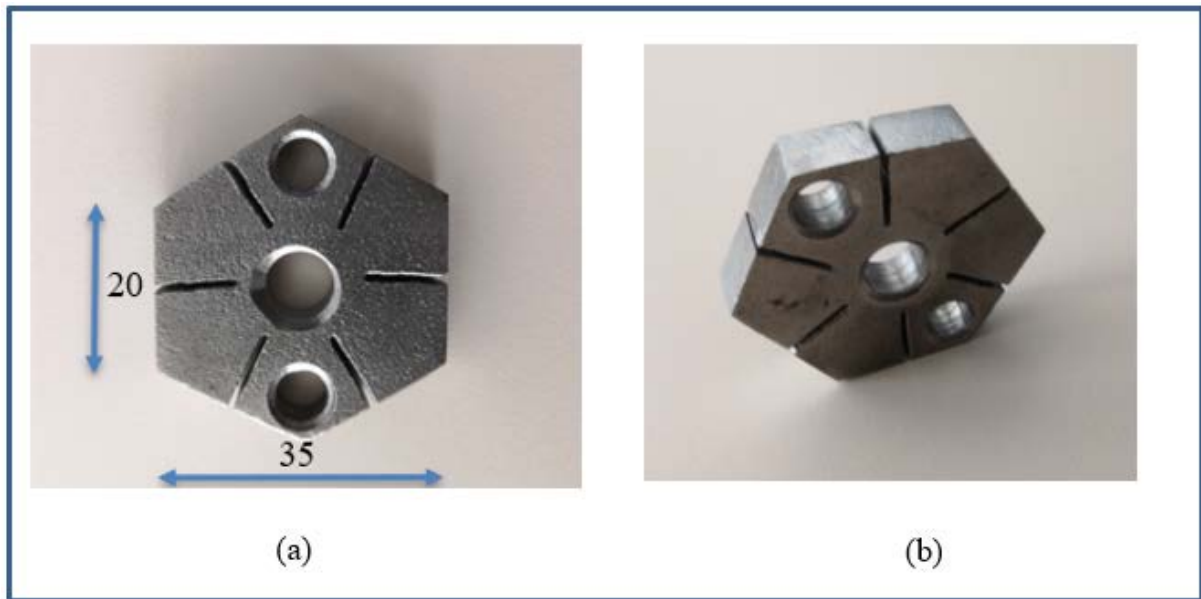


Figura 18. Pieza de acero.

- LÍQUIDO PREPARADOR DE SUPERFICIES: para determinados objetos y piezas, es necesario usar este determinado líquido, el cual, su función no es otra que la de aplicar una película al objeto con el fin de favorecer la recepción del patrón proyectado en la pieza por las cámaras. Este líquido ha de aplicarse en superficies tales como: objetos demasiados oscuros, transparentes, metales, espejos, objetos profundos y con alto contraste [6]. Este líquido es fácilmente removible de la pieza ya que se va al pasar un paño sobre él.



Figura 19. Líquido preparador de superficies.

- PLATAFORMA DE MARCADORES: esta es una plataforma que ha sido creada para poder escanear piezas sin necesidad de usar el plato rotatorio. Para elaborarla, lo único que se necesita es un trozo de cartón con las medidas en función del objeto a escanear e ir pegando los marcadores de forma aleatoria, sin seguir ningún patrón, ya que de lo contrario puede dar lugar a error a la hora de reconocer la posición del objeto.

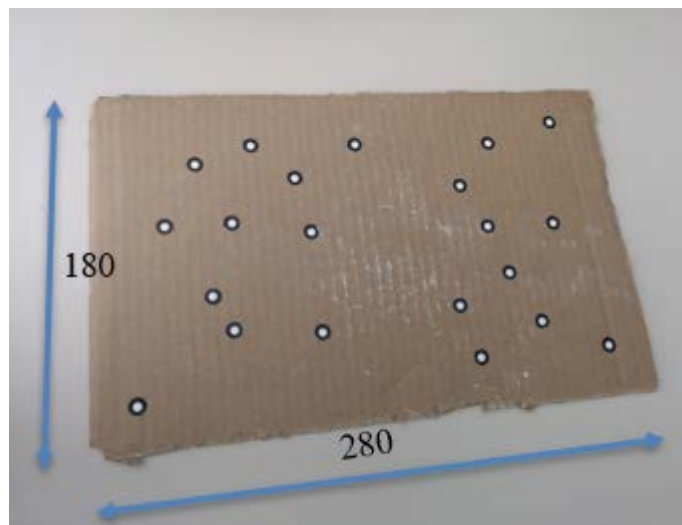


Figura 20. Plataforma de marcadores.

- PLATO ROTATORIO: este es un dispositivo que viene con el escáner cuyo propósito es ir girando la pieza que queramos escanear para poder tomar capturas desde diferentes ángulos de la pieza. Este dispositivo si requiere una calibración, la cual detallaremos más tarde.



Figura 21. Plato rotatorio.

- PANELES DE MARCADORES: estos paneles son necesarios para la calibración del escáner. Hay 3 tipos de tamaños dependiendo del tamaño de la pieza a escanear (pequeñas, medianas y grandes).



Figura 22. Paneles de marcadores.

3.2. Métodos.

Para este proyecto, hemos elegido dos métodos de escaneado que son:

- Escaneado con plataforma de marcadores.
- Escaneado con plato rotatorio.

El último, el cual no hemos realizado, sería mediante geometría. No se ha elegido debido a que este método consiste en colocar un marcador (como los de la siguiente imagen) en una de las superficies del objeto, a ser posible plana, para luego, a la hora de edición del modelo 3D final, se puede rellenar ese hueco vacío que deja mediante una superficie plana.

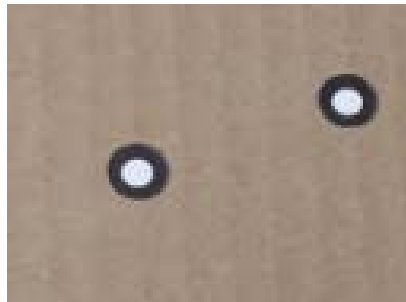


Figura 23. Marcadores.

Antes de proceder a explicar estos dos métodos diferentes de escaneado, voy a explicar la secuencia que hay que seguir para poder escanear un objeto. Para ello hay que seguir los siguientes pasos:

3.2.1 Calibración.

El primer paso para para escanear un objeto es calibrar el escáner para verificarnos que los datos que estamos tomando sean acordes con los resultados. Para ello, yo voy a explicar los pasos a seguir.

Comenzar diciendo que hay dos tipos de calibración: la calibración completa y la orientación por 3 posiciones. Como su nombre indica, la diferencia entre ambas recae en la cantidad de pasos que seguir entre ambas. Vamos a explicar la calibración completa, ya que la calibración por 3 posiciones se basa en la completa pero solo coge 3 de los 11 puntos que hay en la completa. ¿Pero cuándo realizar una u otra? La calibración completa se realizará siempre que [6]:

- Se cambien las lentes de la cámara.
- Cuando al realizar la Orientación por 3 posiciones observemos un valor muy diferente al obtenido por Calibración completa.
- Después de transportar el escáner.

Mientras que la Orientación por 3 posiciones se hará:

- Cuando se cambie la configuración de la cámara sin tocar las lentes.
- Una vez al día.

Para realizar la calibración completa, pulsamos en Escáner / Calibración completa donde nos aparece un menú como el siguiente:

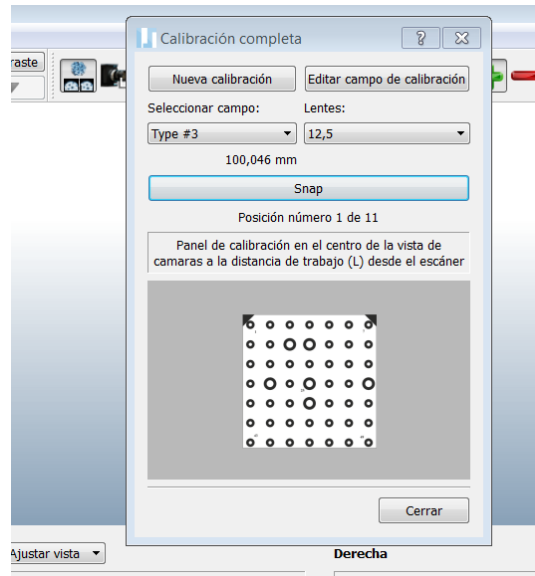


Figura 24. Calibración completa.

En este apartado, debemos seleccionar el tipo de campo que vamos a elegir para la calibración, que en este caso he elegido el 3 que es la placa más pequeña de todas. A la hora de la calibración, debemos tener en cuenta qué tamaño tendrá el objeto para elegir el tipo de placa. El siguiente paso será ajustar las cámaras para hacer coincidir la cruceta del proyector con la cruceta de las cámaras, tal y como se muestra en la siguiente imagen.

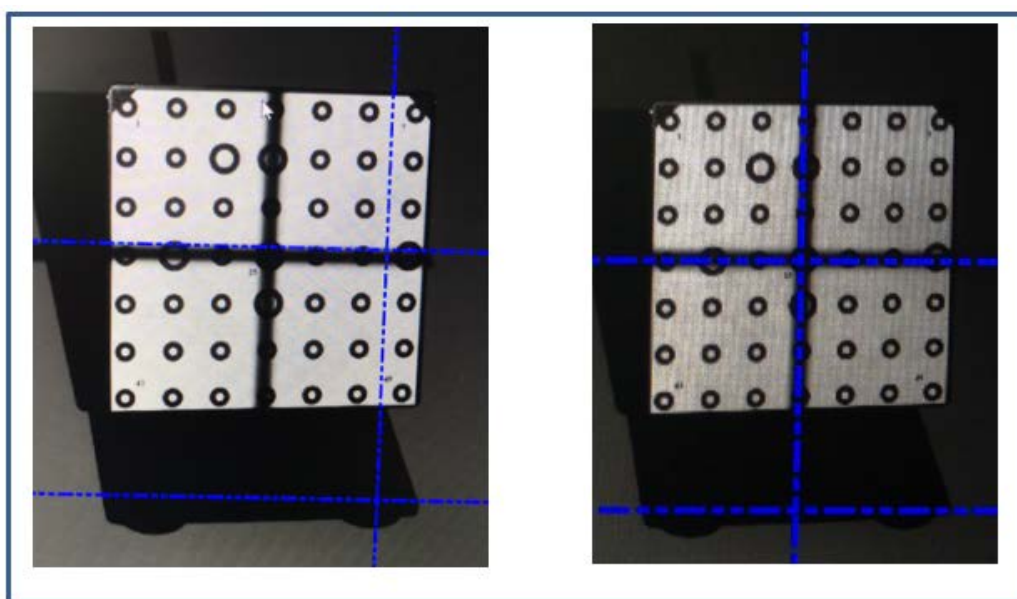


Figura 25. Ajuste de cámaras.

Una vez ajustadas las cámaras, procedemos a seguir las 11 posiciones que nos indica a seguir el programa para la calibración del escáner. En cada paso, nos sale un mensaje el cual nos dice cómo debemos colocar la placa para la calibración.

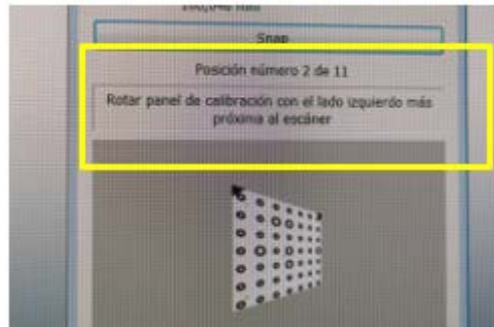


Figura 26. Posiciones panel de marcadores.

Así, hasta llegar a las 11 posiciones donde al finalizar nos saldrá un cuadro como el siguiente en el cual nos indica la precisión de la calibración en pixeles, la cual se dará por buena un resultado inferior a 0.05 pixeles.

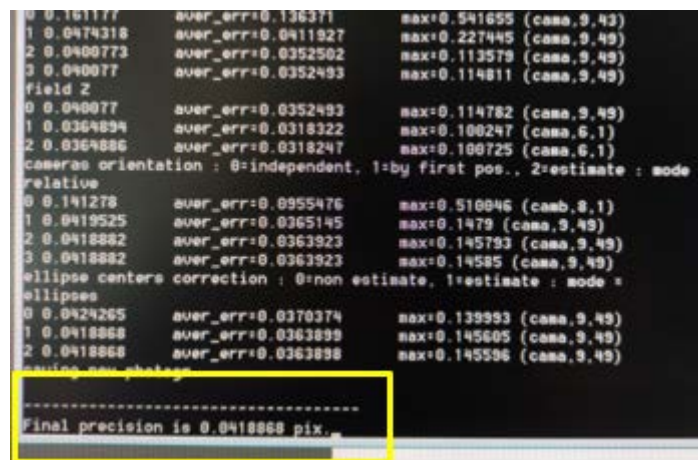


Figura 27. Resultado de la calibración.

3.2.2 Preparación de la pieza.

El siguiente paso será preparar la pieza o la superficie de esta en caso de que sea necesario con el líquido preparador de superficies, tal y como comentamos en su momento. En caso de ser necesario, aplicar una leve capa de este producto por todas las zonas de la pieza quedando como resultado como en la siguiente imagen:

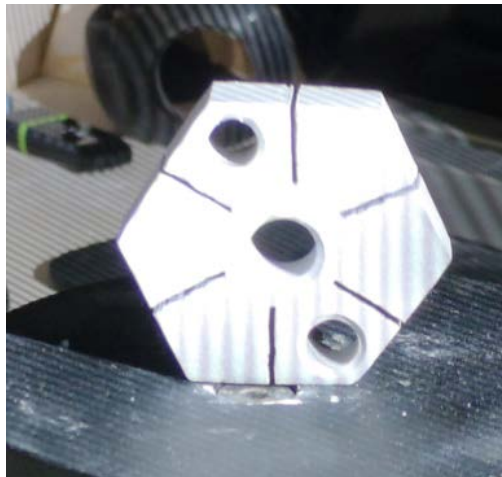


Figura 28. Pieza hexágono con liquido preparador de superficies.

3.2.3 Escaneado con plato rotatorio.

Para este proyecto, el escaneado de las piezas los he decidido de la siguiente manera:

- La pieza hexagonal de acero la he escaneado con el plato rotatorio.
- La pieza de porcelana la he escando con la plataforma de marcadores.

Dicho esto, vamos a proceder al escaneado de la pieza hexagonal con el plato rotatorio. El primer paso antes de comenzar con el escaneado será calibrar este dispositivo. Para ello, pulsamos en Crear / Crear modelo / y elegimos Sin marcadores (o con plato rotatorio). Una vez hecho esto, nos aparece un menú en la parte derecha del interfaz, el cual nos permite configurar las diferentes opciones del que dispone este dispositivo en la que se encuentra Evaluar eje por placa de marcadores. Esta opción es la que vamos a elegir para calibrar el dispositivo antes de escanear cualquier pieza. Para ello cogeremos la plataforma de marcadores más pequeña y la situaremos sobre el dispositivo, a continuación, pulsaremos este botón. Una vez hagamos hecho esto, no podremos mover el plato giratorio o el escáner o de lo contrario habría que volver a evaluarlo de nuevo.

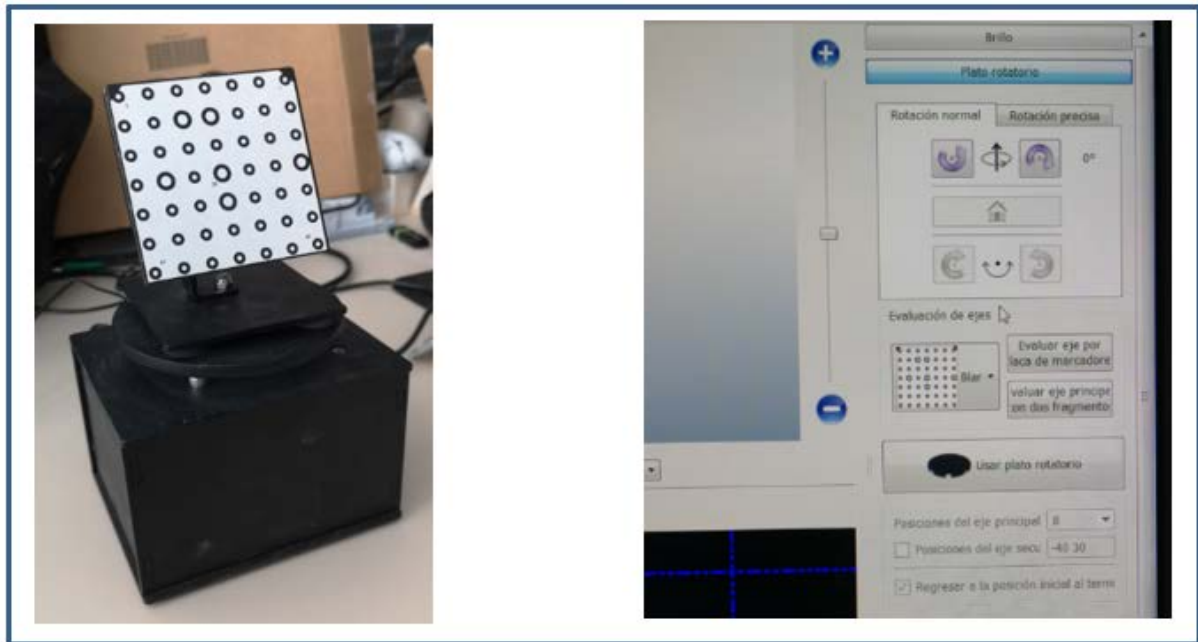


Figura 29. Calibración de los ejes de plato rotatorio.

Una vez hecho lo anterior, procederemos a indicarle el número de posiciones en las que queremos que haga una captura para obtener información de la pieza. Este número de posiciones no depende de ningún criterio, pero sí que es cierto, que, si la pieza es más compleja, se aconseja que este número sea cuanto mayor mejor, ya que obtendremos más información posible. A partir de aquí, pulsamos el botón Comenzar escaneo y él solo tomará los datos tomando tantas capturas de la pieza como le hayamos indicado.

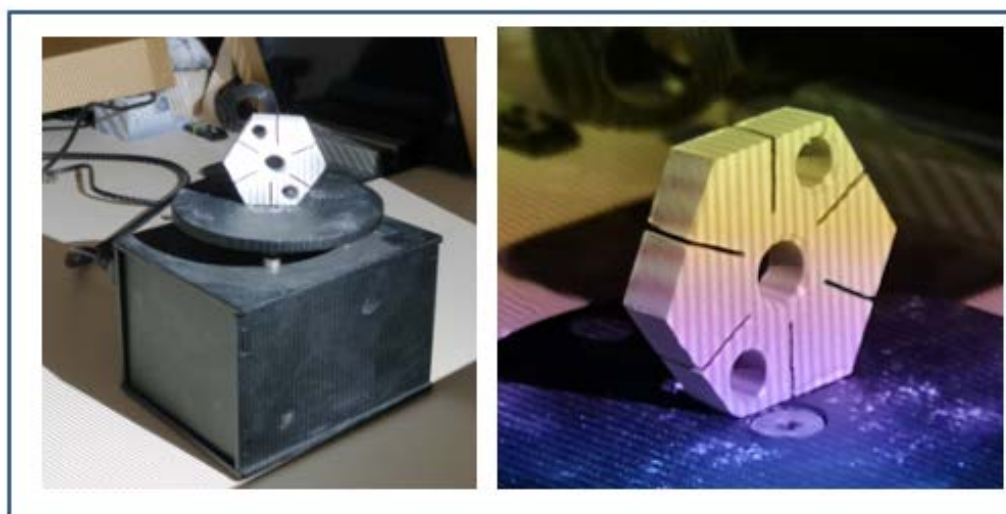


Figura 30. Escaneado de la pieza hexagonal.

Cuando se finaliza este proceso, queda una cara de la pieza sin escanear, la que está apoyada sobre la plataforma. Para solucionar este y la posible falta de datos de la parte baja, debemos girar la pieza y apoyarla sobre otra cara de la pieza para luego en la edición del modelo poder juntar dichos modelos manualmente. Repetir la secuencia de escaneado para este nuevo modelo.

3.2.4 Escaneado con plataforma de marcadores.

Como dijimos en el apartado anterior, el objeto de porcelana se va a escanear usando la plataforma de marcadores. Esta plataforma no requiere ningún tipo de calibración, simplemente se requiere que, a la hora de escanear la pieza, el escáner detecte los marcadores correctamente y que el objeto no se mueva respecto a los marcadores durante este proceso.

El siguiente paso es proceder al escaneado. Para ello, en este caso, pulsaremos en Crear / Crear modelo / y elegimos Con marcadores ya que se trata de una plataforma hecha con marcadores.

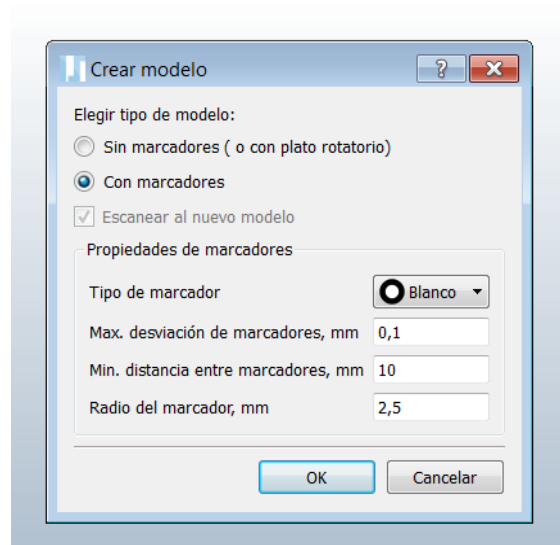


Figura 31. Crear modelo con marcadores.

Al proceder al escaneado de esta pieza, observamos que debido a su superficie brillante de la pieza debía ser necesario usar el líquido preparador de superficies. A continuación, se muestra un ejemplo de la toma de datos sin líquido y otra con líquido mejorando así los resultados.

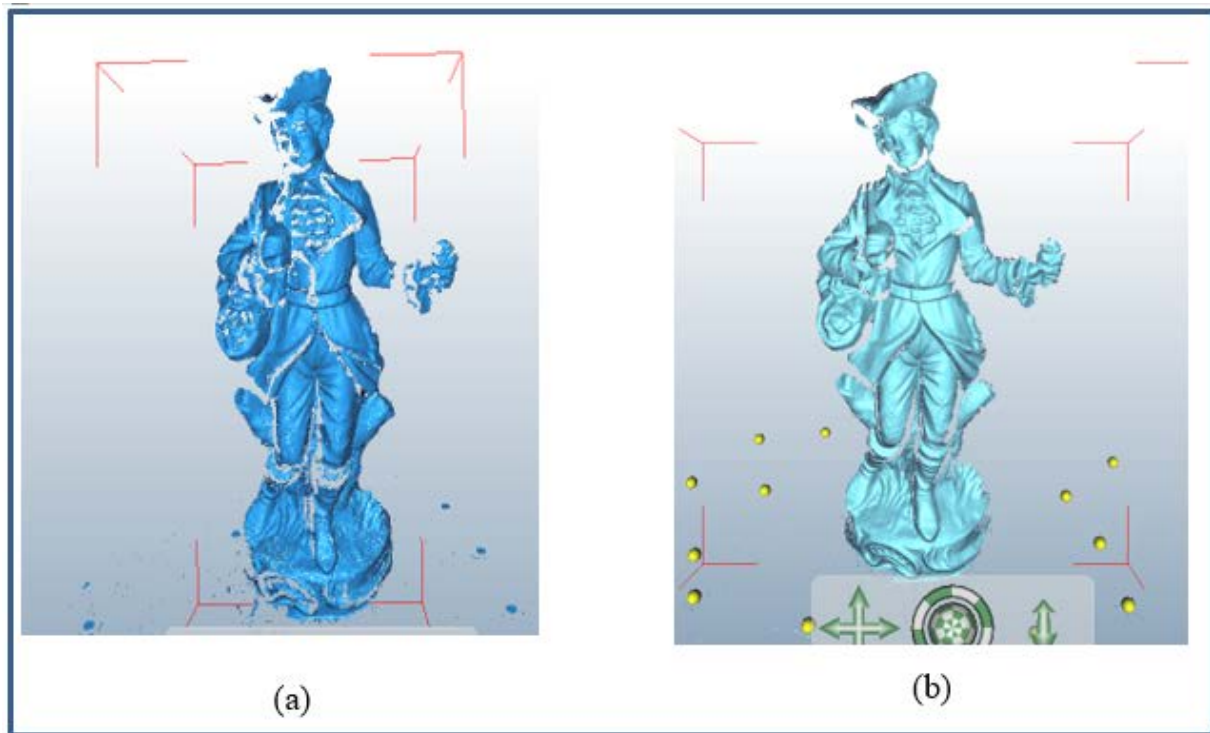


Figura 32. Escaneado de figura de porcelana. (a) Sin líquido. (b) Con líquido.

Una vez preparada la superficie de la pieza se comienza el escaneado tomando varias capturas desde diferentes ángulos. Para el escaneado de esta, se han creado 3 modelos colocándolos de 3 posiciones diferentes para poder capturar su superficie completamente. Estas posiciones han sido: vertical, horizontal hacia arriba y horizontal hacia abajo.



Figura 33. Diferentes posiciones escaneado pieza de porcelana.

4. RESULTADOS.

Una vez hemos escaneado la pieza, procedemos a la edición del modelo. Para ello, el primer paso es limpiar el modelo. Cuando se realiza el escaneado, se obtienen reflejos o zonas de objetos colindantes que no son útiles para nuestro modelo 3D, por eso, tenemos que eliminar dichas partes. Para ello nos ayudamos de las herramientas de limpiar modelo que son las que vienen en la siguiente imagen y tabla:

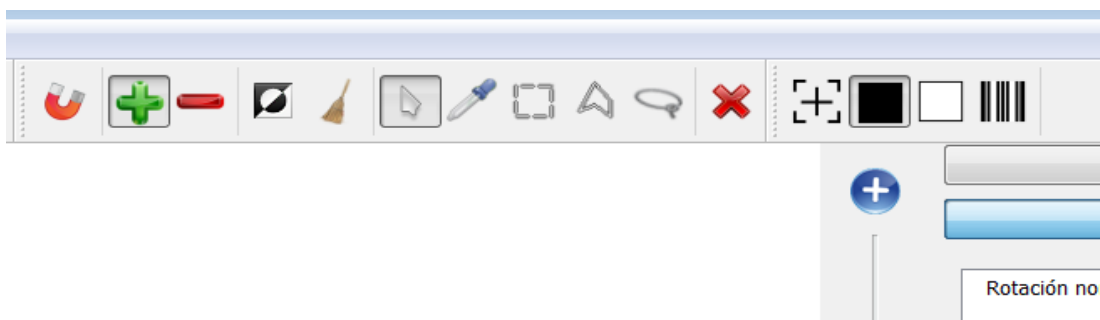


Figura 34. Herramientas de limpieza del modelo.

	Alinear selección a visible.
	Añadir selección de fragmentos seleccionados.
	Quitar selección de fragmentos.
	Invertir selección sobre el área seleccionada en el modelo.
	Cancelar selección
	Modo vista del modelo
	Rectángulo de selección.
	Lazo poligonal de selección.
	Lazo de selección.
	Eliminar elementos seleccionados del modelo.

Tabla 1. Comandos de edición de modelo.

4.1. Resultados pieza hexagonal.

Para este modelo tridimensional, colocamos la pieza en el plato rotatorio de dos posiciones diferentes, siempre apoyada sobre una de las seis caras del hexágono para poder



Figura 35. Modelos hexágono sin limpiar.

escanear la parte que toca dicho plato. Para la primera posición de la pieza, se le asignaron 10 capturas que realizara el plato rotatorio y 8 para la siguiente posición, la cual la pieza fue girada 180°. Tras ambos escaneos y los modelos sin limpiar los fragmentos sobrantes, estos fueron los resultados:

Ahora procedemos a limpiar el modelo 1 y 2 obteniendo los siguientes resultados:

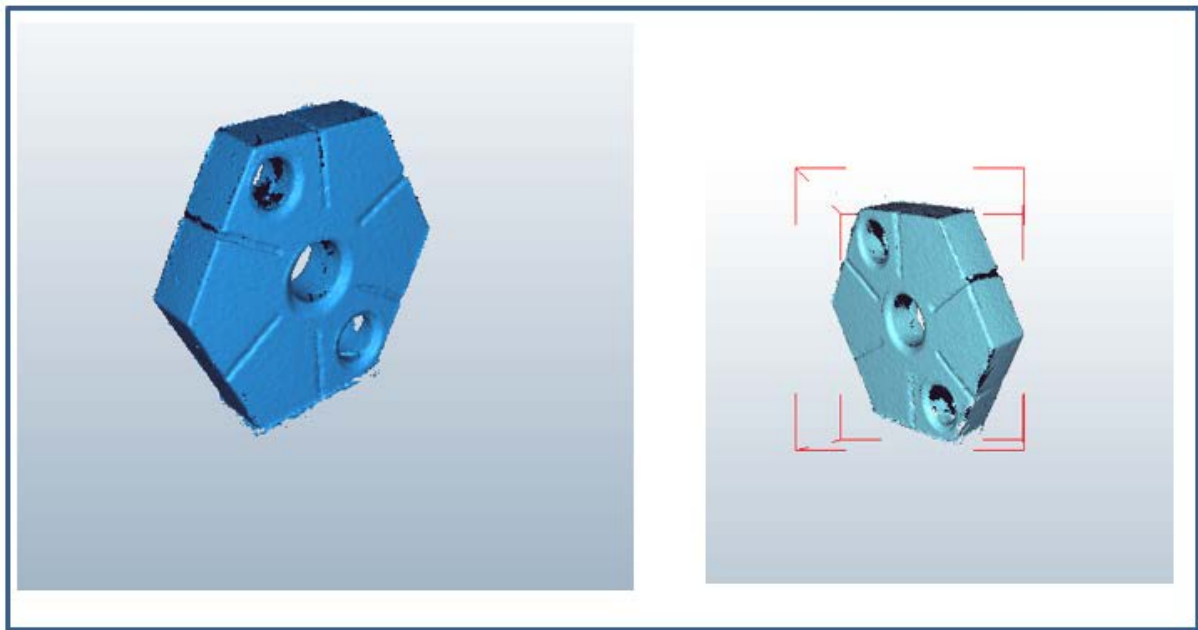


Figura 36. Modelo 1 y 2 una vez limpiado de fragmentos.

Una vez hecho esto, procedemos a juntarlos usando los controles adecuados para ello, los cuales son los siguientes:

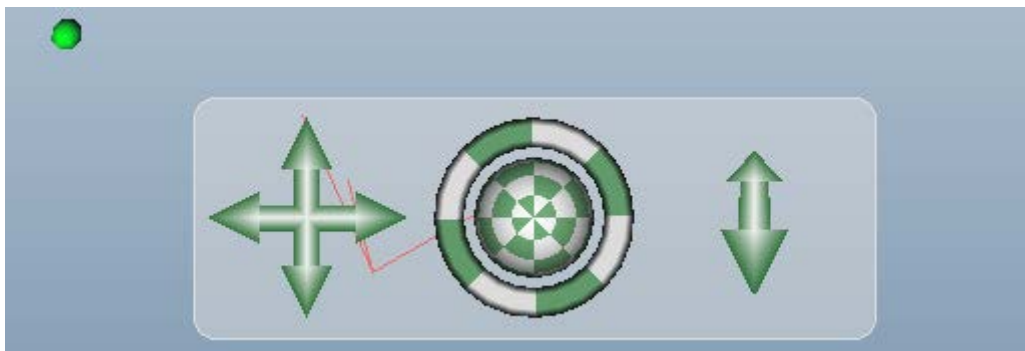


Figura 37. Controles de movimiento de los modelos.

El botón de la izquierda es el encargado de mover el modelo en las direcciones de: arriba, abajo, Izquierda y derecha. El botón central está compuesto por el anillo y la bola. El anillo es el encargado de girar el modelo en el plano de la pantalla, mientras que la bola puede mover el modelo en los otros dos ejes restantes. El último botón, el de la derecha, se encarga de acercar o alejar el modelo.

Una vez dicho esto, procedemos a juntarlos manualmente ambos modelos obteniendo unos resultados lo mejor posible tal y como en la siguiente imagen:

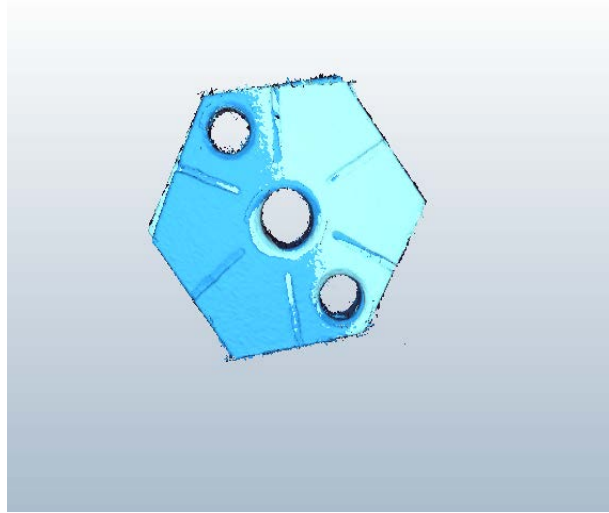


Figura 38. Ambos modelos unidos manualmente.

Como comentamos anteriormente, este software tiene unos comandos dedicados para unir modelos una vez están “casi unidos”, para ello hacemos uso del comando Alinear selección a visible y él, automáticamente se encarga de juntarlos obteniendo el siguiente resultado:

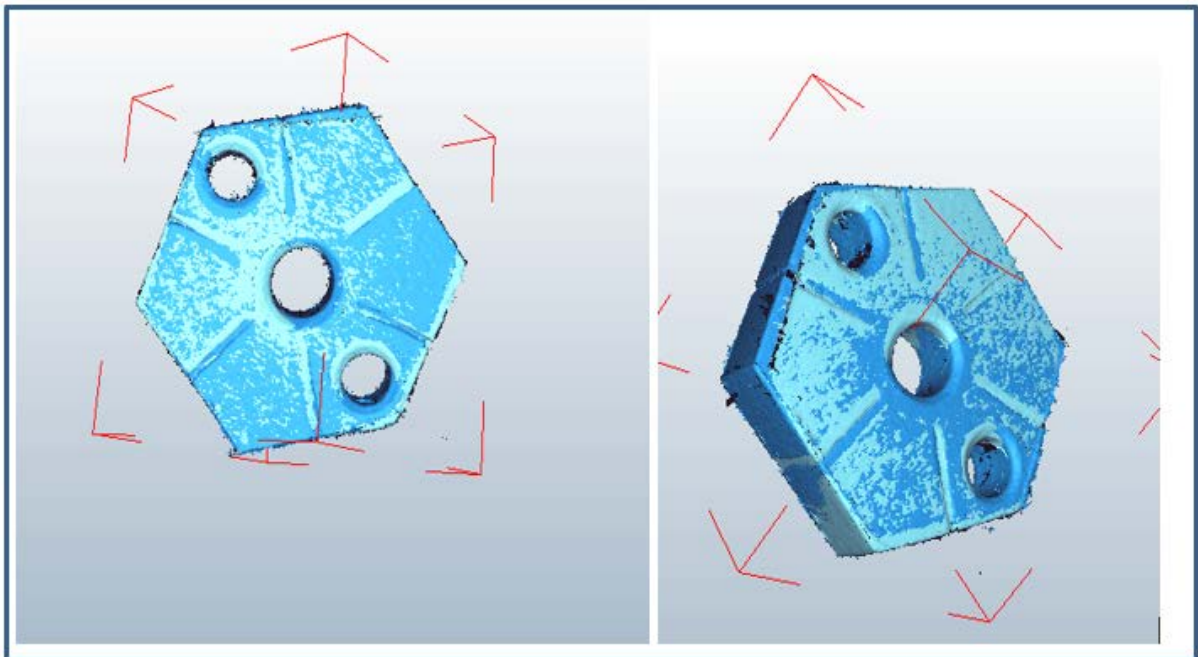


Figura 39. Ambos modelos unidos.

Como podemos comprobar, los colores del modelo único están más entremezclados, lo que significa que los modelos están mejor enlazados a falta del último paso final que es Fusión de modelo. Este comando se encarga de crear un único modelo a partir de los que ya dispongamos previamente para la diferente toma de datos de nuestro objeto a escanear. Para ello es necesario que antes deba estar alineado el modelo y se encargará de suavizar los posibles pequeños fragmentos que queden y/o rellenar los agujeros, si es que los hay, del modelo.

Una vez que pulsamos sobre este comando, obtenemos un resultado final de nuestro modelo quedando así:

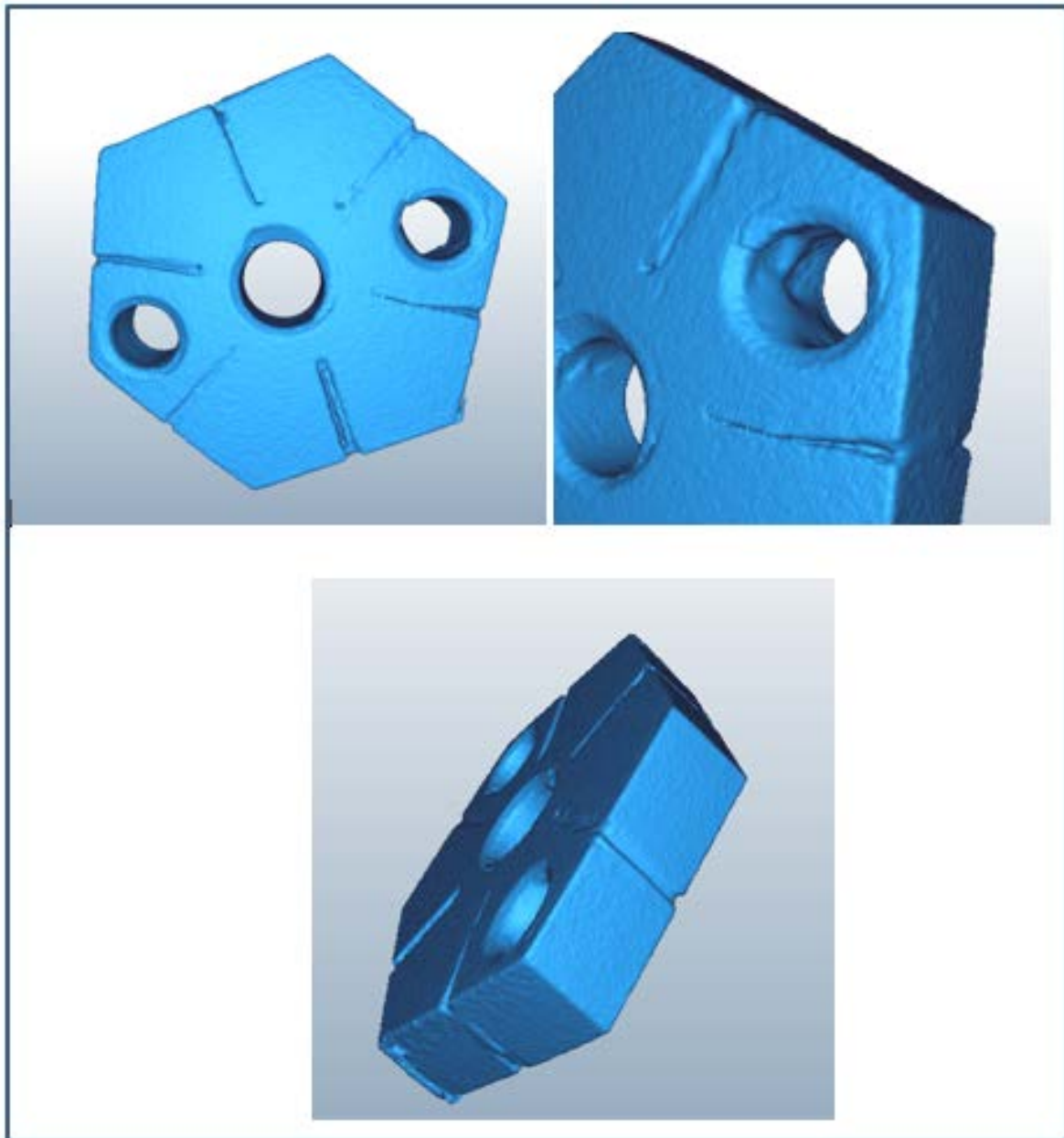


Figura 40. Resultados modelo 3D hexágono.

Una vez tenemos el resultado final, pulsamos botón derecho sobre el modelo fusionado y pulsamos en Exportar modelo, el cual lo guarda como archivo “.stl” el cual podrá ser usado posteriormente en otros programas para visualizarlo o poder trabajar con él como Catia.

Como podemos observar, en la zona de las ranuras no está completamente definido llegando a casi taparlas debido a que, al pasar la luz estructurada por estas pequeñas zonas, las cámaras no consiguen captar correctamente la forma real de la pieza por lo que termina rellenando ese hueco. De igual forma pasa con los agujeros central y laterales, que debido a la

profundidad de estos y su diámetro, la luz no puede entrar correctamente por lo que crea ciertas zonas las cuales no se asemejan a la realidad.

4.2. Resultados pieza de porcelana.

Para el escaneado de la pieza de porcelana se realizaron 3 modelos con 3 posiciones diferentes: vertical, horizontal hacia abajo y horizontal hacia arriba. Estos son los resultados de los 3 modelos antes y después de haber limpiado los fragmentos sobrantes a la hora de escanear el objeto:

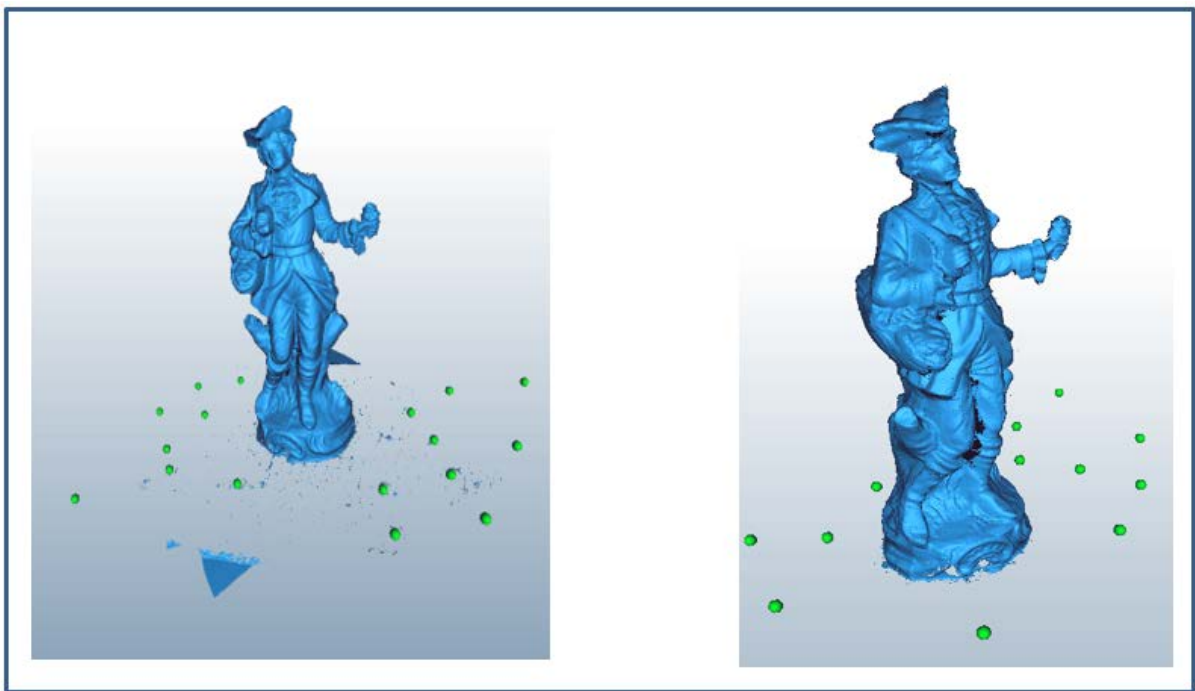


Figura 41. Modelo 3 antes y después de limpiar los fragmentos.

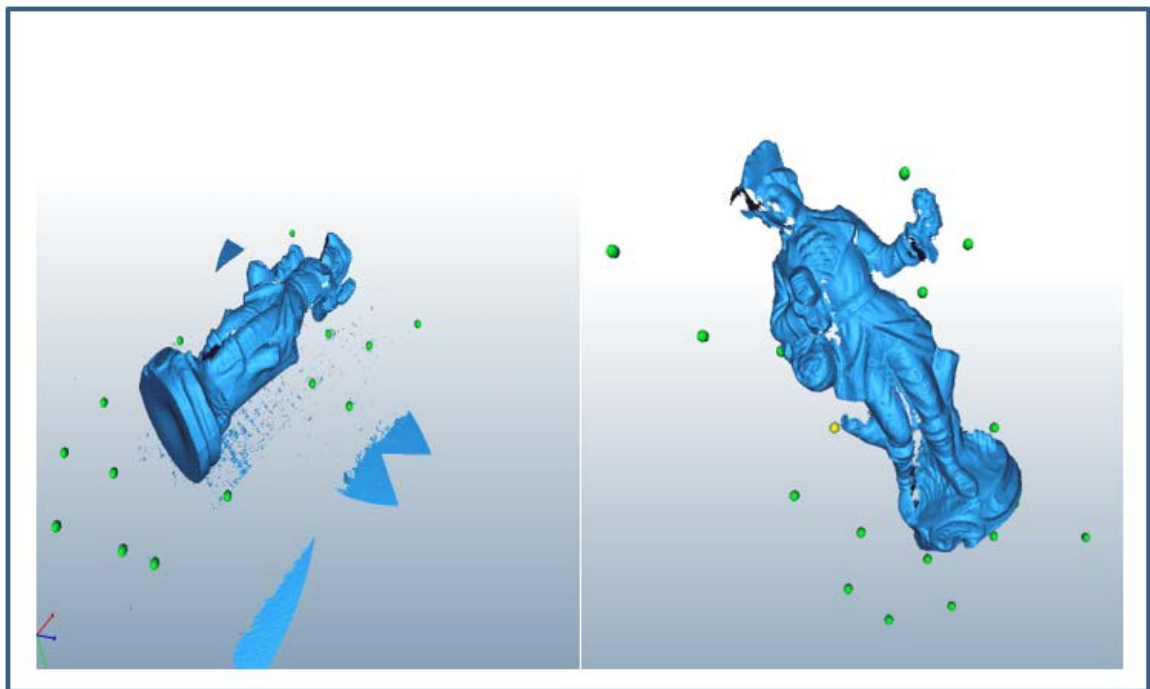


Figura 42. Modelo 4 antes y después de limpiar los fragmentos.

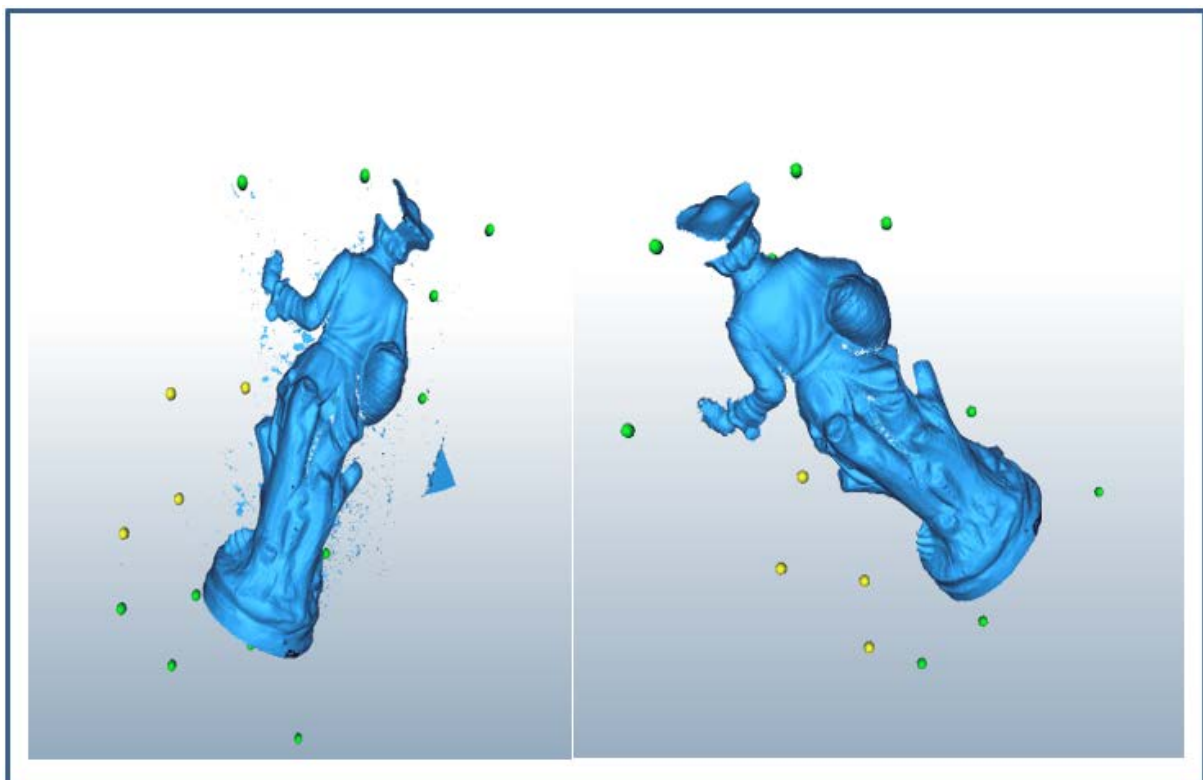


Figura 43. Modelo 5 antes y después de limpiar los fragmentos.

Una vez limpios los 3 modelos de fragmentos, procedemos a unirlos manualmente. Para ello comenzamos a unir el modelo 3 y 4 en cual, aquí se muestra el antes y el después de cómo quedaron al ser unidos manualmente:

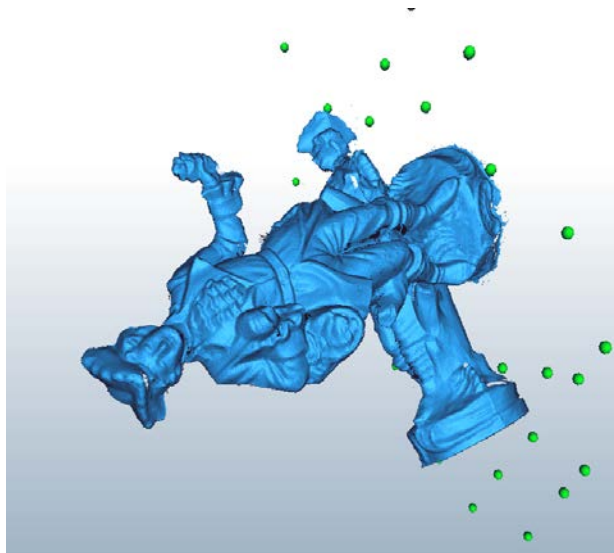


Figura 44. Modelo 3 y 4 antes de ser unidos manualmente.

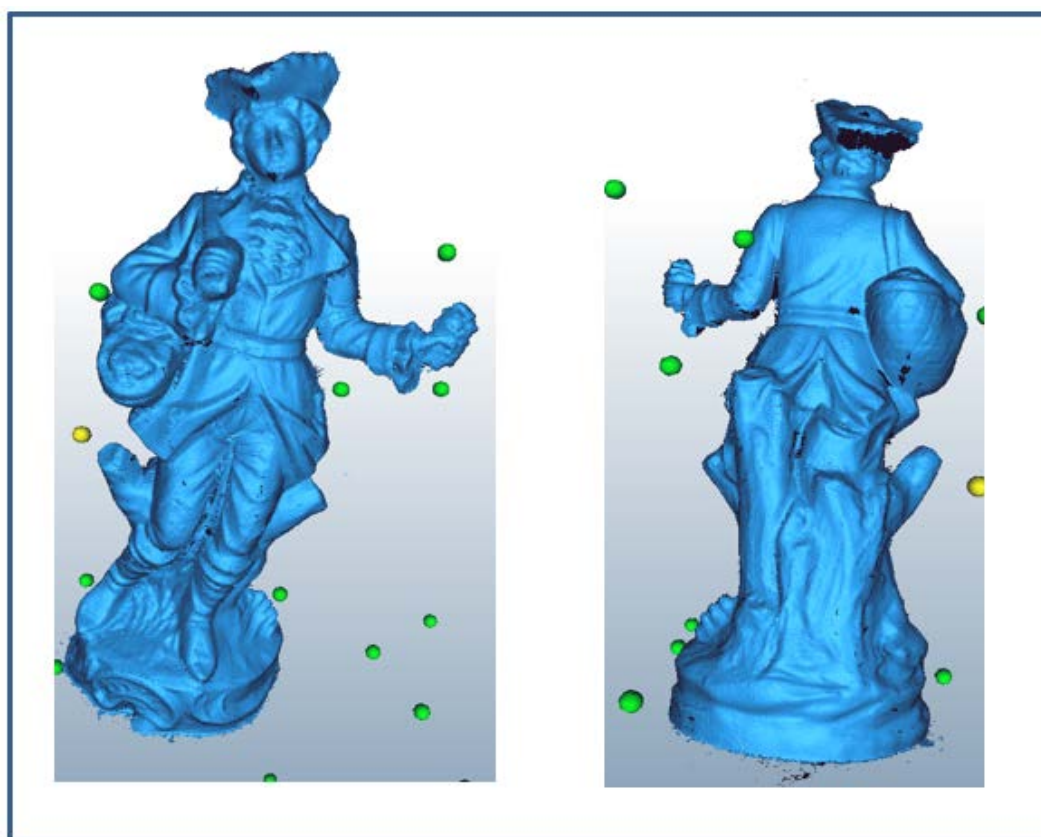


Figura 45. Modelo 3 y 4 unidos.

Como podemos comprobar en la figura anterior, a pesar de estar bien unidos ambos modelos, por la parte trasera de la pieza se observa que no hay datos tomados de algunas zonas, por lo que al unir el modelo 5, que fue escaneado completamente por esta zona, debe quedarse totalmente completo el modelo. Así, al unir ambos modelos, los resultados fueron los siguientes:

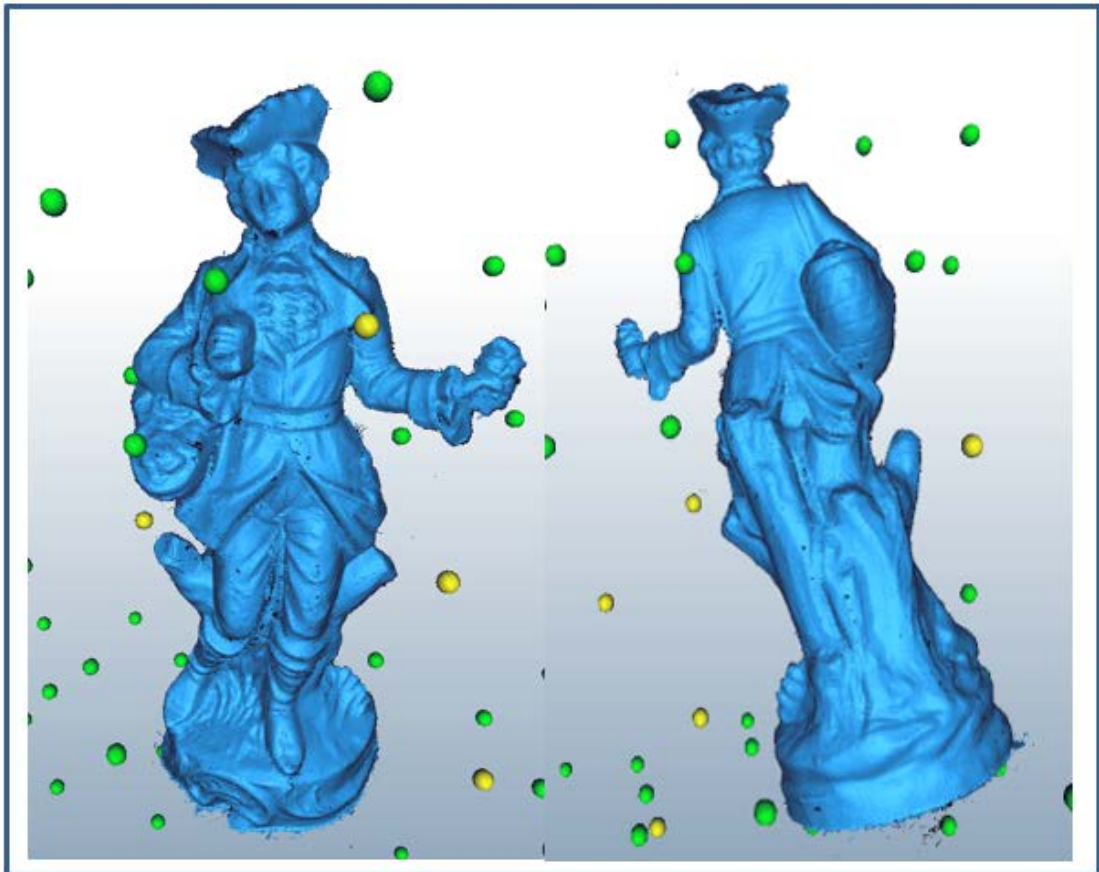


Figura 46. Resultado ambos modelos unidos.

Este modelo ya está listo para ser fusionado, por lo que procedemos a Alinear modelo y posteriormente a Fusionar modelo. Una vez realizado estos dos pasos anteriores, obtenemos los siguientes resultados:

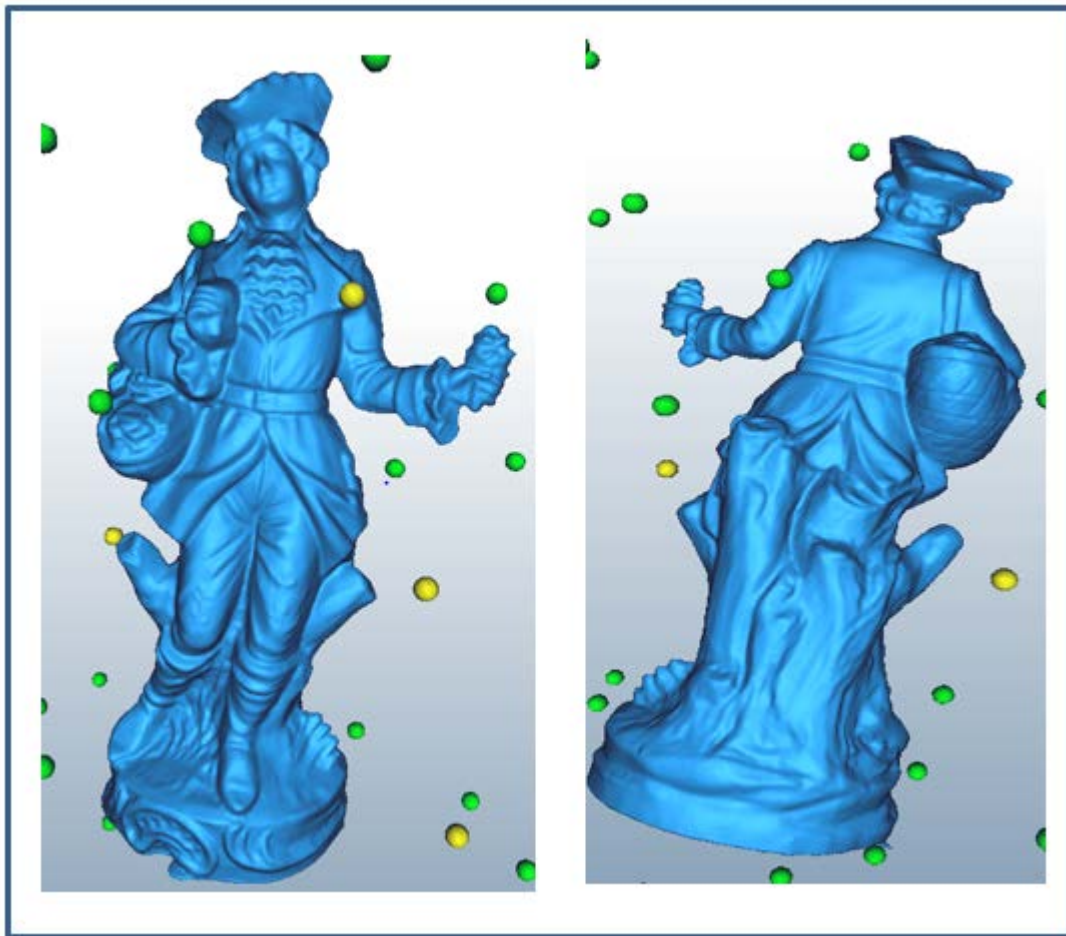


Figura 47. Modelo 3D final pieza de porcelana.

En esta pieza, los resultados obtenidos son mejores que la pieza hexágono, ya que en esta no se encuentran agujeros de gran profundidad. Al ser una pieza con gran cantidad de detalles se puede ver como la figura se asemeja bastante a la real.

4.3. Comparación de los resultados con el objeto real.

Para poder entender mejor los resultados obtenidos, vamos a mostrar una serie de imágenes en las cuales se compara el nivel de detalle del modelo 3D obtenido con el objeto real.

Comenzamos con la pieza hexágono para ver sus diferencias y semejanzas:

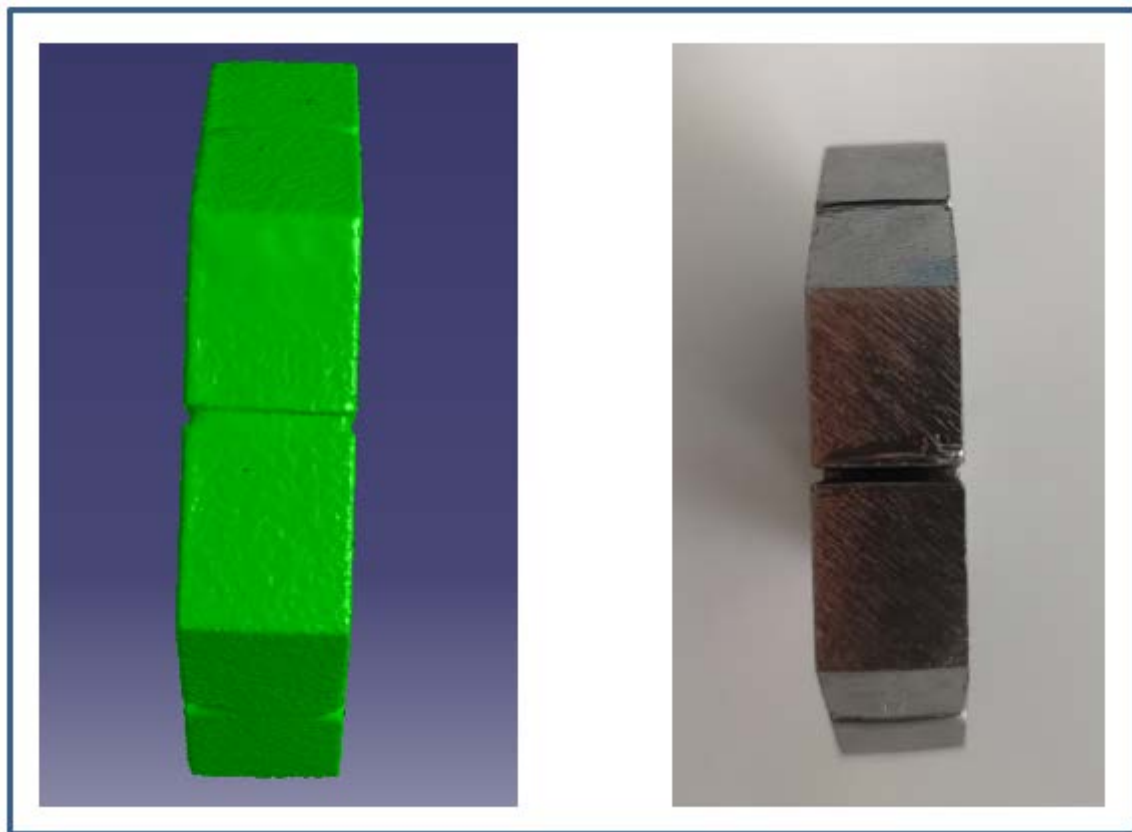


Figura 48. Diferencias pieza hexágono: modelo 3D - pieza real

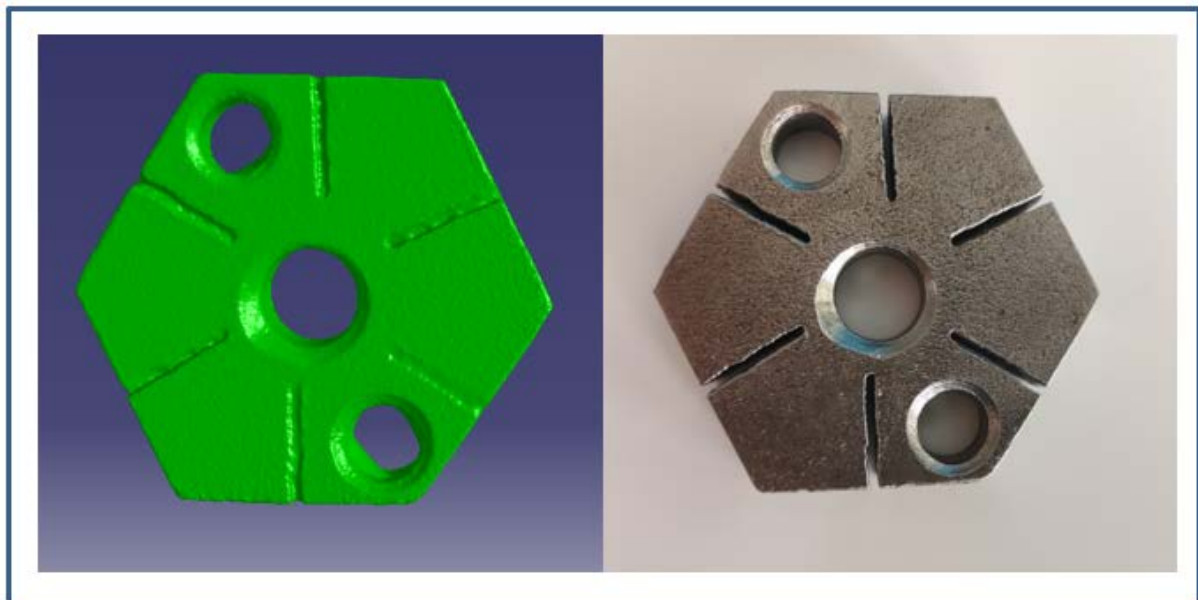


Figura 49. Diferencias pieza hexágono: modelo 3D - pieza real

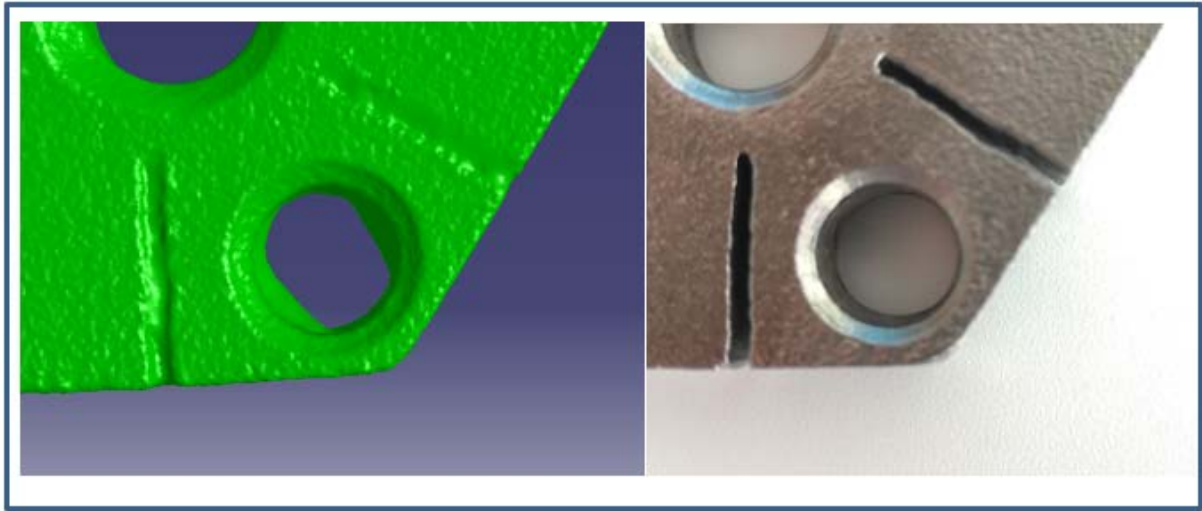


Figura 50. Diferencias pieza hexágono: modelo 3D - pieza real

Como podemos apreciar en las imágenes anteriores, las principales diferencias que tenemos son en las zonas de los agujeros y las ranuras, ya que en estas zonas es difícil proyectar la luz estructurada y que sea captada por las cámaras. Cabe destacar que estos agujeros tienen un diámetro de 8 mm y las ranuras 1 mm de espesor. Sin embargo, las aristas y el resto de la superficie, sí está bien definida y se asemeja a la realidad.

Ahora vamos a ver las diferencias de la pieza de porcelana:



Figura 51. Diferencias pieza porcelana: modelo 3D - pieza real



Figura 52. Diferencias pieza porcelana: modelo 3D - pieza real.



Figura 53. Diferencias pieza porcelana: modelo 3D - pieza real.



1 Figura 54. Diferencias pieza porcelana: modelo 3D - pieza real.

En este caso, los resultados han sido mejores respecto a la pieza anterior, ya que esta no posee agujeros o ranuras las cuales puedan entorpecer el resultado final. Esta pieza tiene gran cantidad de pequeños detalles, los cuales, como podemos apreciar en las imágenes, se han replicado bastante bien. Bien hay que decir, que hay ciertas zonas, en las que en la realidad son más agudas que en el modelo 3D como puede ser en la zona de la mano o la cara (figura 53 y 54).

4.4. Otros resultados y casos de estudio.

A parte de las piezas descritas anteriormente, se han realizado pruebas con otra serie de piezas, de pequeño tamaño todas, pero de diversos materiales como pueden ser el plástico o de fundición. Los métodos empleados para el escaneado han sido los anteriores: plato giratorio y plataforma de marcadores. Todas estas piezas también han tenido que ser tratadas la superficie de estas debido al color oscuro o brillante de las piezas o para mejorar su refracción de la luz obteniendo mejor calidad en los datos. Los modelos 3D de estas piezas se han imprimido con la ayuda de una impresora 3D para intentar recrear la silueta. Sin embargo, la calidad de la impresión no ha sido de buena calidad ya que la velocidad de impresión ha sido rápida y se realizaban pruebas de material a la misma vez que se hacían. Aun así, a

continuación, se van a mostrar unos ejemplos de las piezas escaneadas, el modelo 3D y la pieza una vez impresa.

- Pieza 1 percha:



Figura 55. Pieza 1 percha - pieza real.

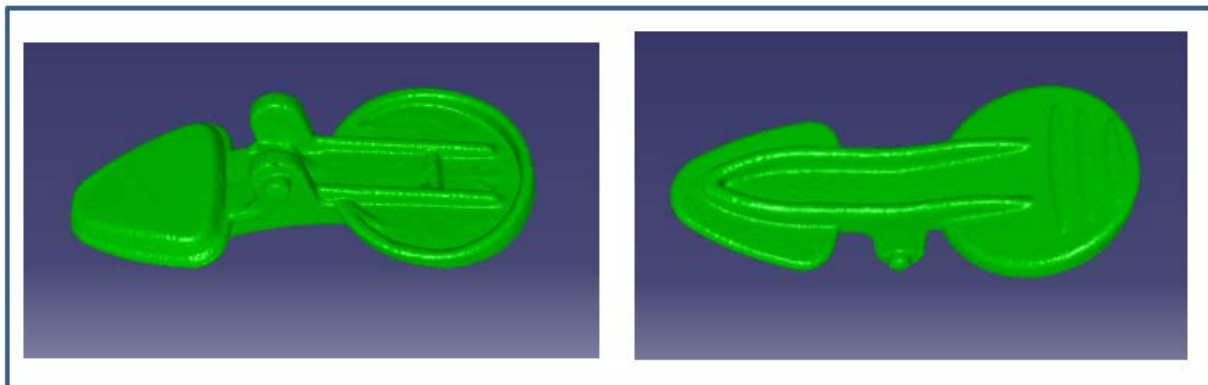


Figura 56. Pieza 1 percha - modelo 3D.



Figura 57. Pieza 1 percha - impresión 3D.

Como se puede observar en las imágenes anteriores, la calidad de la pieza de la impresora 3D dista mucho del modelo 3D, sobre todo en la parte trasera (parte derecha de la imagen) la cual es usada como “base” en la cual se empieza a imprimir por ahí. Sin embargo, el modelo 3D que es lo que nos interesa en este caso, se puede observar una buena calidad en el escaneado.

- Pieza 2 percha:



Figura 58. Pieza 2 percha - pieza real.

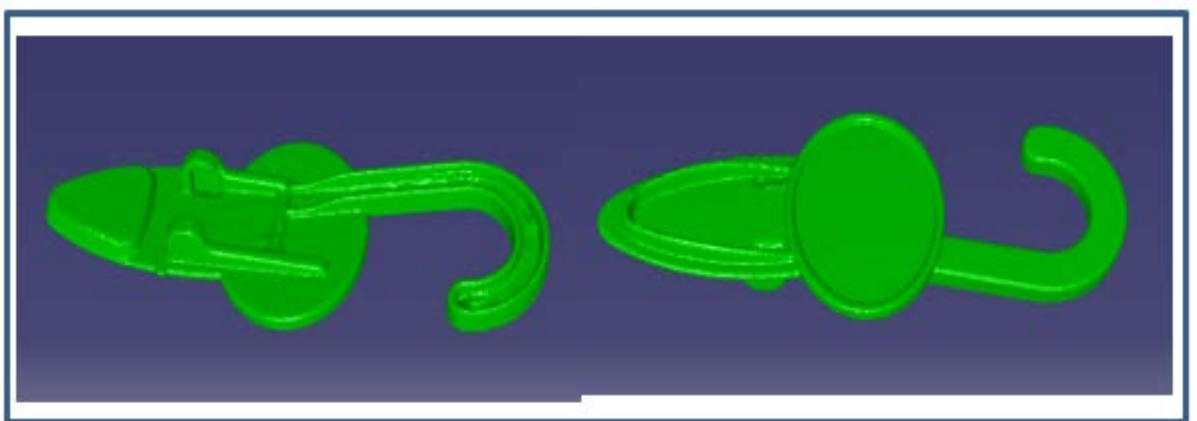


Figura 59. Pieza 2 percha - modelo 3D.

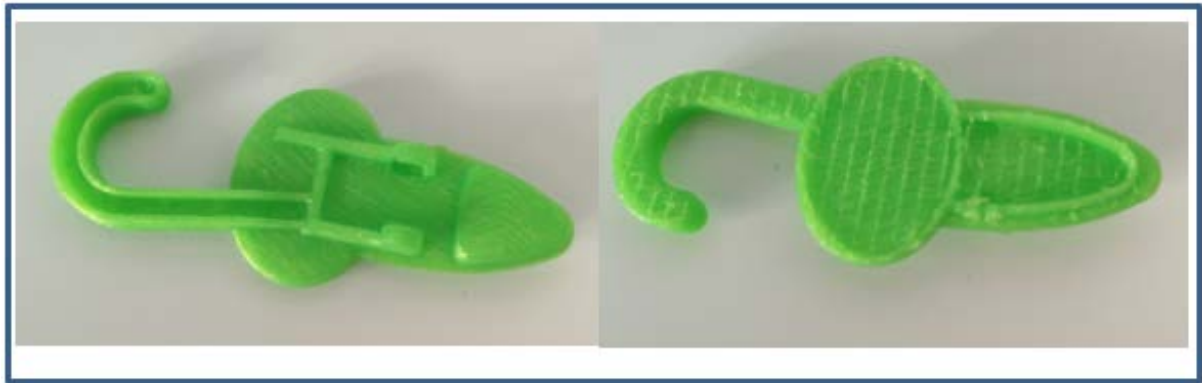


Figura 60. Pieza 2 percha - impresión 3D.



Figura 61. Pieza 2 percha, detalle agujeros: real - modelo 3D - impresión 3D.

Esta segunda pieza del conjunto percha tiene en la parte trasera unos pequeños agujeros (de aproximadamente 3 mm de ancho) los cuales podemos observar que en modelo 3D están algo tapado uno de ellos y en la impresión 3D el agujero esta casi cerrado del todo. Al ser un agujero pequeño y una zona de difícil acceso de la luz estructurada y una posible falta de líquido preparador de superficies en esa zona, puede haber provocado la falta de datos de esa zona, por lo que el software intenta llenar ese agujero, provocando que no se corresponda con la realidad. Por lo demás, el resto de la pieza no presenta geometrías difíciles por lo que se obtiene una buena calidad en el modelo 3D, no obstante en la impresión sigue habiendo este

problema de la parte trasera por la que se comienza a imprimir la pieza que no se obtiene buena calidad.

- Pieza azul:



Figura 62. Pieza azul - pieza real.

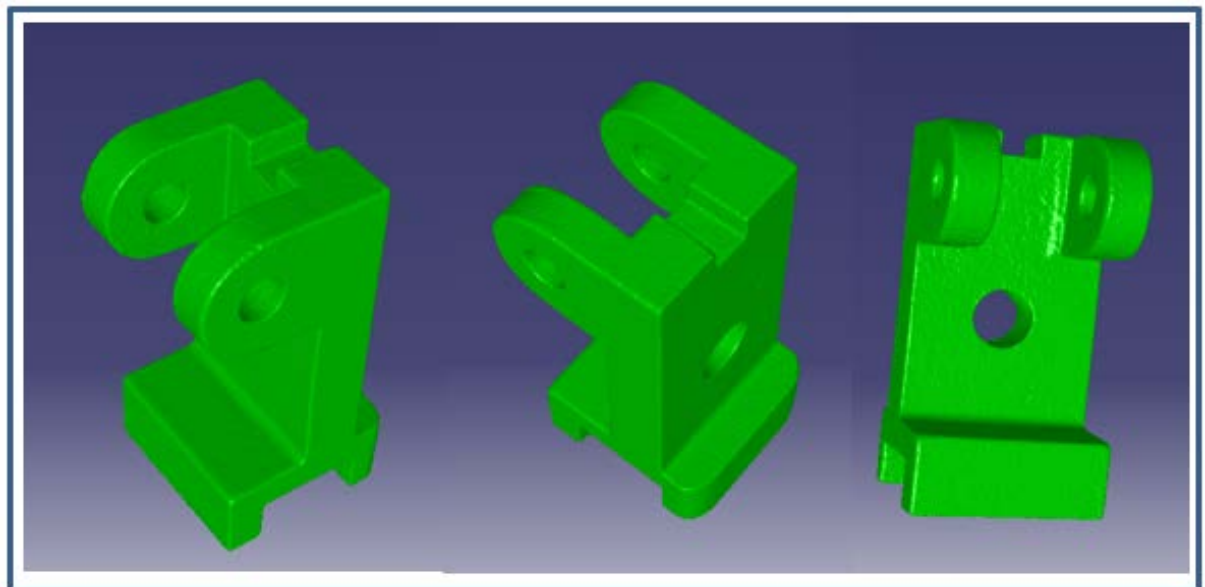


Figura 63. Pieza azul - modelo 3D.

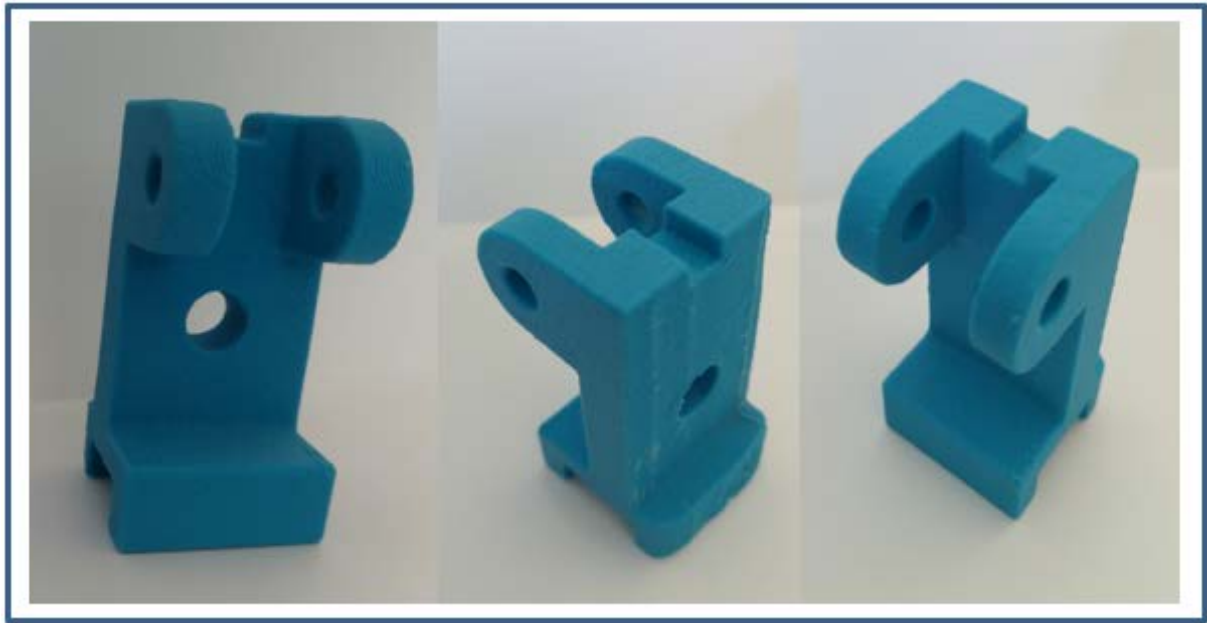


Figura 64. Pieza azul - impresión 3D.

Esta pieza de fundición tiene 3 agujeros pasantes, dos de ellos en las orejeras y uno en su cuerpo central, sin embargo, en la calidad del escaneado se asemeja bastante al real, el diámetro de estos (9 mm y 12 mm respectivamente) hacen que se pueda obtener la superficie de estos con bastante calidad, obteniendo así muy buenos resultados en el modelo 3D. A la hora de la impresión 3D, los resultados han sido satisfactorios, aunque en la parte trasera se pueda apreciar algo irregular la cara plana, debido a que esta haya sido la cara que ha servido de base a la hora de la impresión.

- Pieza gris:



Figura 65. Pieza gris - pieza real.

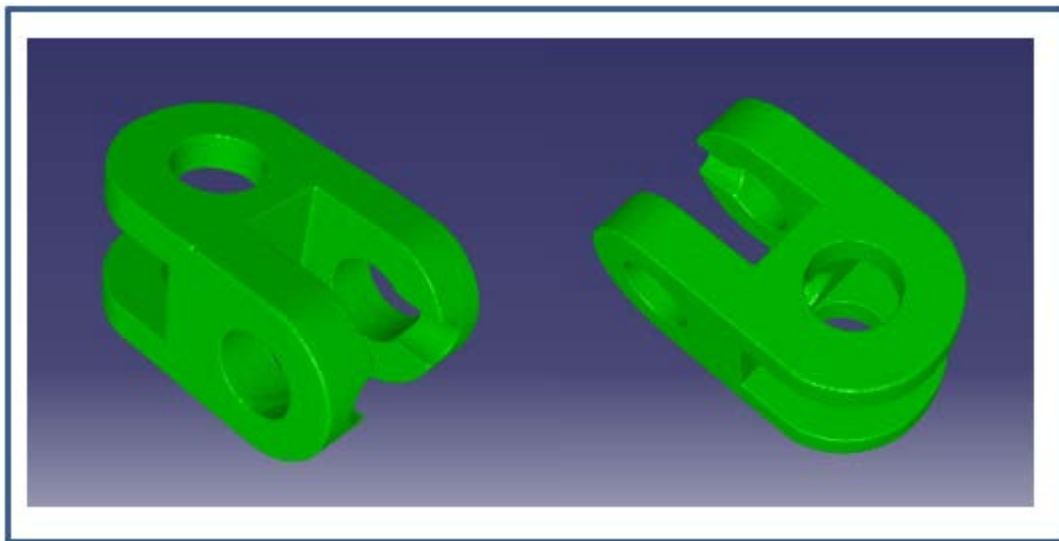


Figura 66. Pieza gris - modelo 3D.

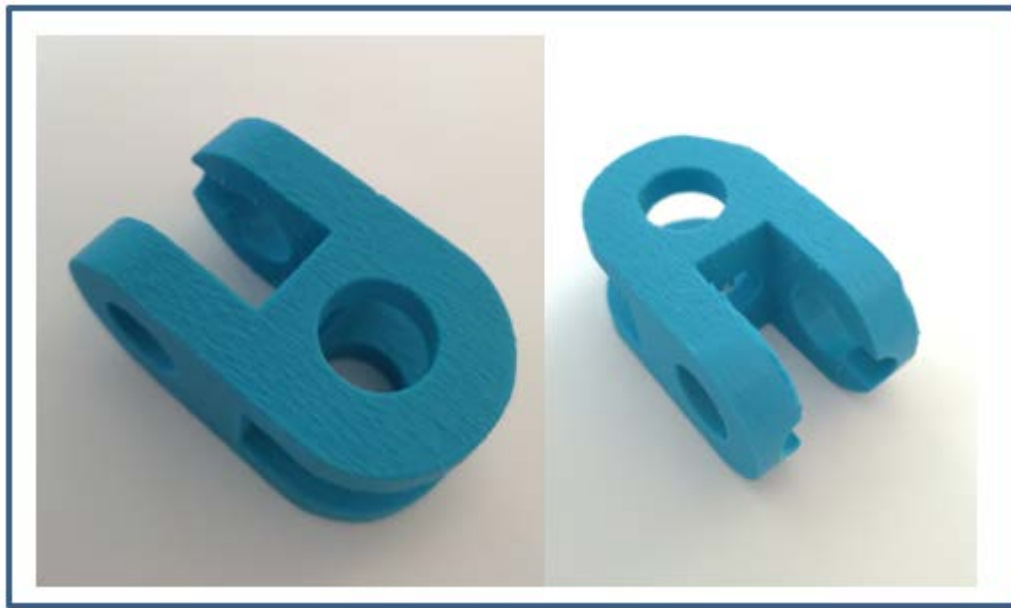


Figura 67. Pieza gris - impresión 3D.

Respecto a esta pieza de fundición también, se trata de una pieza relativamente fácil de escanear en lo que a geometría se refiere. Sus agujeros pasantes son de gran diámetro lo que hace que la obtención de datos en esa zona sea más fácil. Los resultados obtenidos son bastante buenos en el modelo y la impresión 3D como se pueden apreciar en las imágenes.

- Tapón:



Figura 68. Tapón - pieza real.

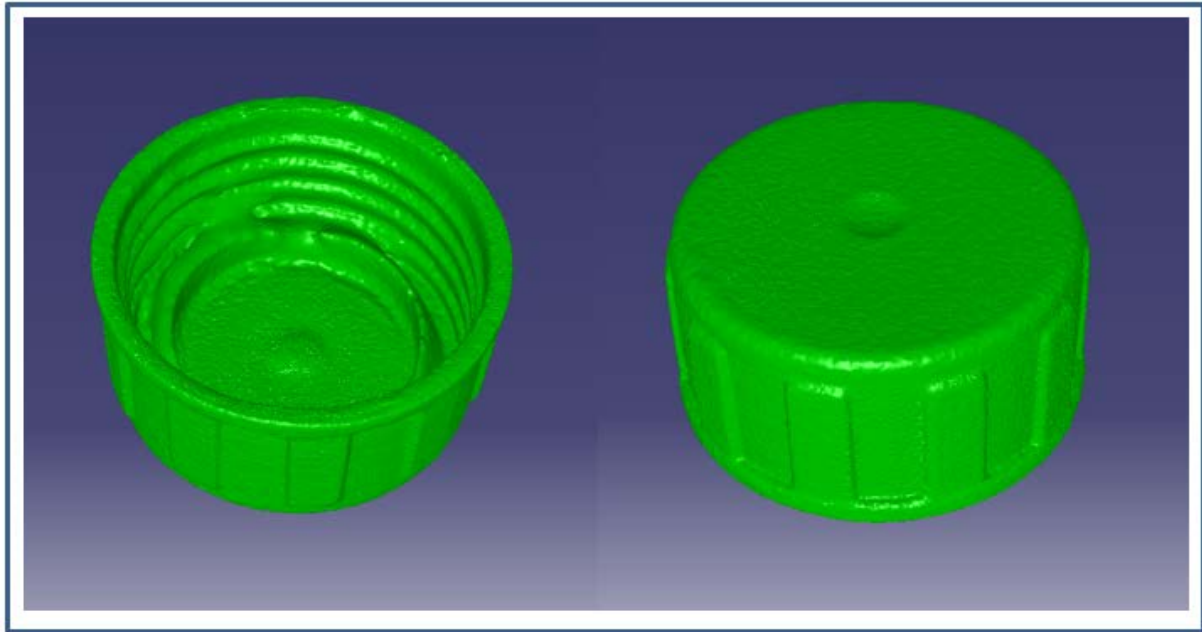


Figura 69. Tapón - modelo 3D.



Figura 70. Tapón - impresión 3D.

Este es un tapón de plástico de una botella con un diámetro de 42 mm aproximadamente. Como podemos ver en las imágenes del modelo 3D, el exterior de la pieza se asemeja bastante al real, sin embargo, no podemos decir lo mismo de la parte interior de este. En la zona de la rosca, al escanearlo se producen sombras que hacen que no se tomen datos de esas partes por lo que crean esas irregularidades que se pueden apreciar en la imagen.

También, en el fondo del tapón por el interior tiene un nervio el cual también dificulta la toma de datos. En la impresión 3D, la cara plana del tapón ha servido de base para la impresión, por lo que no refleja la planitud de esta cara y en el interior se sigue apreciando irregularidades en la zona de las roscas tal y como aparecen en el modelo 3D.

5. CONCLUSIONES.

Para acabar con este proyecto, cabe destacar las siguientes conclusiones atendiendo a los objetivos que se establecieron al principio:

- El objetivo principal de este proyecto era obtener el modelo 3D de una pieza cualesquiera mediante el uso de un escáner 3D de luz estructurada. Este objetivo se puede dar por bueno ya que se han obtenido el modelo 3D de las piezas seleccionadas y además de otras piezas de diferentes materiales y tamaños haciendo así cumplir también el segundo objetivo de este proyecto: Conocer el funcionamiento del escáner 3D de luz estructurada.

Para ello, en primer lugar, fue necesaria la ayuda del manual del escáner, el cuál ha sido de gran ayuda para comprender todos los comandos de la interfaz, así como para poder calibrar y ajustar los diferentes elementos del escáner.

- El siguiente objetivo era Conocer y manejar los diferentes sistemas de escaneado posible con este escáner para obtener el modelo 3D de un determinado objeto. Para ello, elegimos un dispositivo el cual pertenece al escáner como es el plato giratorio, el cual, decidimos usar para piezas de menor tamaño debido a las pequeñas dimensiones de éste, en el que al poner piezas voluminosas podría desestabilizar el objeto a escanear por los diferentes giros del dispositivo. Sin embargo, un punto negativo de este dispositivo es que, en piezas con diversos agujeros o ranuras como el hexágono, no se puede hacer capturas de una zona determinada del objeto, si no que al introducir el numero de capturas, el software divide los 360° que puede girar el plato rotatorio en las partes seleccionadas sin posibilidad de enfocar en una zona mejor, aunque por parte, puede también ser una ventaja frente a la plataforma, ya

que con ella, las diferentes capturas hay que ir haciéndolas manualmente, por lo que se tarda más en este último proceso.

- Otro de los objetivos era comparar los resultados obtenidos con las piezas reales a escanear. En este sentido obtenemos sensaciones diferentes. Por una parte, podemos ver como la pieza del hexágono al tener agujeros y ranuras dificulta el acceso a la luz estructurada lo que supone una pérdida de información del objeto. Esto nos lleva a pensar que tal vez este tipo de escáner o dispositivo deba ser empleado en piezas que no dispongan de estos elementos y si nos es imposible evitarlos, perderemos información de esas zonas de la pieza.

Por otro lado, en la pieza de porcelana hemos obtenido muy buenos resultados, a pesar del gran nivel de detalles pequeños que posee la pieza, lo cual nos lleva a pensar la gran precisión que tienen estos dispositivos a la hora de tomar datos de los objetos.

En esta pieza y en el hexágono tuvimos que optar por el tratamiento de la superficie de ambas, ya que al comenzar el escaneado de estas, vimos cómo el nivel de detalle del modelo no correspondía con el real lo que nos lleva a tomar otra impresión del dispositivo y es que para aquellas piezas en las que la superficie del objeto lo permita, si se podrá aplicar este tipo de líquido, sin embargo, en piezas artísticas o históricas en las que la superficie de estas no puede ser manipulada, habrá que considerar el empleo de otros tipos de dispositivos.

Para finalizar, dar mi opinión sobre estos dispositivos: son herramientas muy útiles de las que podemos hacer uso cuando no disponemos el modelo 3D, ya que nos ahorra un tiempo para poder replicar el objeto con los programas de edición de modelos 3D tradicionales. Sin embargo, para piezas complejas en las que no podamos acceder al interior de ellas, será necesario hacer uso de otras herramientas.

Bibliografía

- (1) Sebastián JMT. Escaneado en 3D y prototipado de piezas arqueológicas: las nuevas tecnologías en el registro, conservación y difusión del Patrimonio Arqueológico. Iberia. Revista de la Antigüedad 2013; 8:135-158.
 - (2) Farjas M, Moreno E, Lázaro FJG. La realidad virtual y el análisis científico: De la nube de puntos al documento analítico. Virtual Archaeology Review 2011;2(4):139-144.
 - (3) Use of 3d scanning and reverse engineering for the prototyping of mechanical parts. 20th International Congress on Project Management and Engineering. Cartagena.
 - (4) Boehler W, Marbs A. 3D scanning instruments. Proceedings of the CIPA WG 2002; 6:9-18.
 - (5) Brian Curless. From range scans to 3D models. Computer Graphics, Vol 33, N° 4, Nov 1999.
 - (6) Manual de usuario, VTScanner versión 2.7. 2015.
-