

Proyecto de final de Curso Raspberry Pi e impresión 3D

**Reconstrucción digital de un objeto mediante
Fotogrametría y obtención de un prototipo físico
del mismo por impresión 3D**

Institución: CIFO La Violeta

Tutor: Joan Masdemont Fontàs

Alumno: Javier Sánchez Martínez

Fecha: 18 de Octubre de 2018

Agradecimientos a Miki, quien nos prestó su cámara fotográfica sin la cual este trabajo no se podría haber realizado.

Raspinianus forever!

Indice

1.	Introducción al trabajo.....	1
2.	Introducción a la fotogrametría (image-based 3D reconstruction).....	2
3.	Software.....	6
3.1	COLMAP.....	6
3.2	MESHLAB.....	6
3.3	CURA.....	7
4.	Fases de los proyectos.....	7
4.1	Fase de fotografiado.....	7
4.2	Fase de tratamiento de imágenes.....	7
4.3	Fase de mallado.....	7
4.4	Fase de modelado 3D.....	7
4.5	Fase de preparación para la impresión 3D.....	7
4.6	Fase de Impresión 3D.....	7
5.	Proyectos.....	7
5.1	Proyecto Soca.....	8
5.2	Proyecto Arrel.....	10
5.3	Proyecto Soporte.....	11
5.4	Proyecto Tarjeta Gráfica.....	14
5.5	Proyecto Moto.....	14
6.	Conclusiones.....	23
7.	Anexos.....	23
7.1	Especificaciones de la cámara fotográfica CANON EOS 7D.....	23
7.2	Software COLMAP.....	23
7.3	Sotware MESHLAB.....	23
7.4	Software CURA.....	23
7.5	Data-sheet y manuales de la impresora 3D BQ Hephestos 2.....	23
7.6	Fotos Proyecto Soca.....	23
7.7	Fotos Proyecto Arrel.....	23
7.8	Fotos Proyecto Soporte.....	23
7.9	Fotos Proyecto Tarjeta gráfica.....	23
7.10	Fotos Proyecto Moto.....	23
8.	Bibliografía.....	23

1. Introducción al trabajo

El objetivo de este trabajo era tomar una serie de fotografías de un objeto y reconstruirlo digitalmente mediante la técnica de la Fotogrametría (image-based 3D reconstruction) para finalmente imprimirla en la impresora 3D del aula de clase obteniendo un prototipo físico.

Inicialmente se va a utilizar una secuencia de fotografías tomadas por el profesor Raimon Guarro i Noguès (Cibernàrium – Barcelona Activa) de un tronco de árbol (Proyecto Soca), para adquirir el conocimiento de uso de los programas Regard3D y MeshLab. Como el objetivo inicial fue conseguido con el este proyecto, llegando a obtener un prototipo impreso en 3D (material PLA), continuamos realizando series de fotografías a objetos de tamaño reducido (en el interior del aula) como son un soporte para soldador y una tarjeta gráfica (Proyecto Soporte y Proyecto Tarjeta gráfica), y finalmente realizamos una serie de fotografías a un objeto de grandes dimensiones (una motocicleta) situada en el exterior del edificio del CIFO La Violeta (Proyecto Moto). Exceptuando el primer proyecto (Proyecto Soca) no se ha realizado impresión 3D de prototipos debido a la baja resolución en las formas y los detalles obtenidos. Todos los proyectos están documentados en la sección 5 de este documento.

Para desarrollar el trabajo, se ha hecho uso de:

- Hardware:

Cámara fotográfica: CANON EOS 7D (Ver especificaciones en Anexo 7.1)

PC con Windows 10

Impresora 3D: BQ Ephestos 2 (Ver especificaciones en Anexo 7.5)

- Software:

Software de tratamiento de imágenes de libre distribución: Regard3D (Ver Anexo 7.2)

Software de mallado y generación de nubes de puntos, libre distribución: MeshLab (Ver anexo 7.3)

Software de tratamiento de modelos para el pre-proceso de impresión 3D: Cura (Ver Anexo 7.4)

Como material de estudio básico, se han usado los apuntes del curso de Fotogrametría impartido por el profesor Raimon Guarro i Noguès (Cibernàrium – Barcelona Activa) [[1](#)].

2. Introducción a la fotogrametría (image-based 3D reconstruction)

La fotogrametría y la reconstrucción 3D no son equivalentes. La segunda es tan antigua como el diseño en 3D. Se podría considerar a la fotogrametría como un método para la reconstrucción digital 3D de objetos.

Definición: Fotogrametría es la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, para de esa manera obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición), del objeto fotografiado. Esta definición es en esencia, la adoptada por la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS).

Por otra parte, la sociedad americana de fotogrametría y sensores remotos (ASPRS), tiene la siguiente definición, ligeramente más completa que la anterior: Fotogrametría es el arte, la ciencia y la tecnología de obtener información confiable de objetos físicos y su entorno, mediante el proceso de exponer, medir e interpretar tanto imágenes fotográficas como otras, obtenidas de diversos patrones de energía electromagnética y otros fenómenos.

Etimológicamente, la palabra fotogrametría se deriva de las palabras griegas Φωτος photos, que significa luz; γραμμα, gramma, que significa lo que está dibujado o escrito, y μετρον, metrón, que significa medir. Usando en conjunto esas palabras fotogrametría significa medir gráficamente por medio de la luz.

A lo largo de la existencia de la Fotogrametría, se fueron desarrollando métodos que se adaptaban en forma óptima a los campos de aplicación en los que se les requería. Esto trajo como consecuencia, la creación de equipos específicos capaces de llevar a cabo la realización de estas técnicas especializadas. Agrupando estas técnicas y equipos en torno a sus campos de aplicación, se obtienen tres grandes grupos dentro de la fotogrametría:

- **Fotogrametría Aérea:** Es aquella que utiliza fotografías tomadas desde una cámara aerotransportada. Este hecho implica que su eje óptico casi siempre es vertical, y que su posición en el espacio no está determinada. Generalmente, las cámaras usadas son de formato 23 x 23 cm, ya que son las más apropiadas para los trabajos cartográficos a los cuales está destinada. Actualmente cobra importancia la fotografía aérea de pequeño formato, debido a sus ventajas de accesibilidad económica. Otra modalidad que gana importancia la constituye la fotogrametría espacial, que utiliza imágenes estereoscópicas tomadas desde satélites de observación de la tierra.

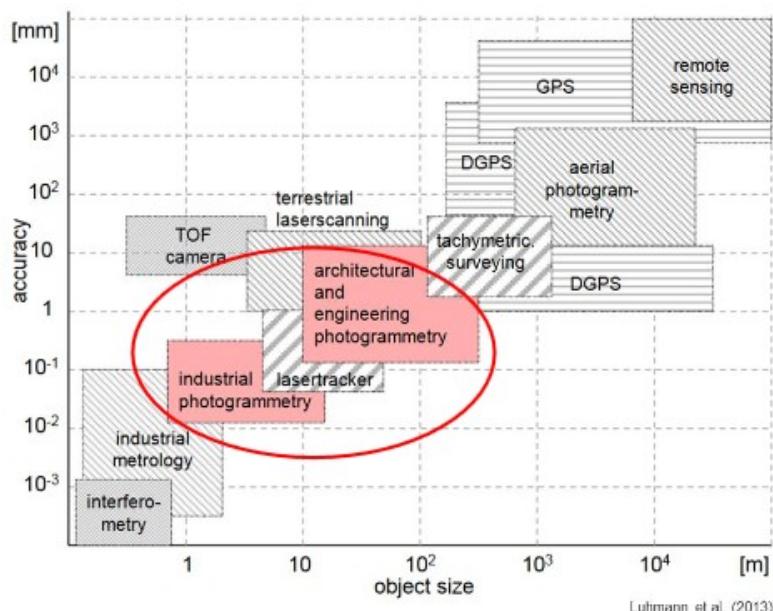
- **Fotogrametría Terrestre:** Es aquella que utiliza fotografías tomadas sobre un soporte terrestre; debido a esto, la posición y los elementos de orientación externa de la cámara son conocidos de antemano. Si bien fue la primera aplicación práctica de la fotogrametría, actualmente se usa principalmente en labores de apoyo a la arquitectura, arqueología, ingeniería estructural y en levantamientos topográficos de terrenos muy escarpados. Algunos autores ubican a los usos de la fotogrametría en arquitectura y arqueología en la división de objetos cercanos; sin embargo, cuando los objetos a levantar se vinculan con su posición sobre el terreno, se realiza una actividad de carácter topográfico; por ello, pueden ser ubicadas en esta división.

- **Fotogrametría de Objeto Cercano:** En forma general, agrupa aquellas aplicaciones de la Fotogrametría Terrestre que no tienen carácter geodésico o topográfico. Se aplica para resolver problemas singulares, muy específicos. Por ello se puede decir que son soluciones a la medida del problema a resolver. Esta división es la que abarca la mayor amplitud de técnicas para la toma de fotografías y su posterior procesado.

Definición de Fotogrametría de Objeto Cercano (o “close –range”): Fotogrametría terrestre aplicada a la obtención de medidas geométricas a partir de fotografías o imágenes tomadas desde la superficie terrestre a una distancia a los objetos superior a 0.01 m e inferior a 300 m, obteniendo una precisión alrededor de 0.1 mm en el extremo más pequeño (fotogrametría industrial) y 1 cm en el extremo más grande (fotogrametría arquitectónica)..

La fotogrametría de Objeto Cercano tiene aplicaciones principalmente no topográficas, para el estudio de procesos de cambio o la reconstrucción de objetos arquitectónicos, en medicina y en diseño industrial.

En la siguiente figura, podemos ver una comparativa de distintas tecnologías para obtención de datos 3D, con respecto al tamaño del objeto medido y a la precisión obtenida (Luhmann, Robson, Kyle, & Boehm, 2013):



En nuestro caso, hemos usado software basado en las técnicas de Fotogrametría de objeto cercano arquitectural y de ingeniería. La Fotogrametría de Objeto cercano emplea más de 2 imágenes convergentes.

Se describen a continuación las principales características de la fotogrametría de objeto cercano.

- Multi-imagen convergente, distancias imagen - objeto cortas.

Las imágenes se toman a corta distancia del objeto; los ejes de imágenes sucesivas forman un ángulo convergente, en lugar de ser capturas paralelas como en el caso de la fotogrametría estereoscópica. El diseño del levantamiento permite que un punto objeto aparezca en múltiples imágenes.

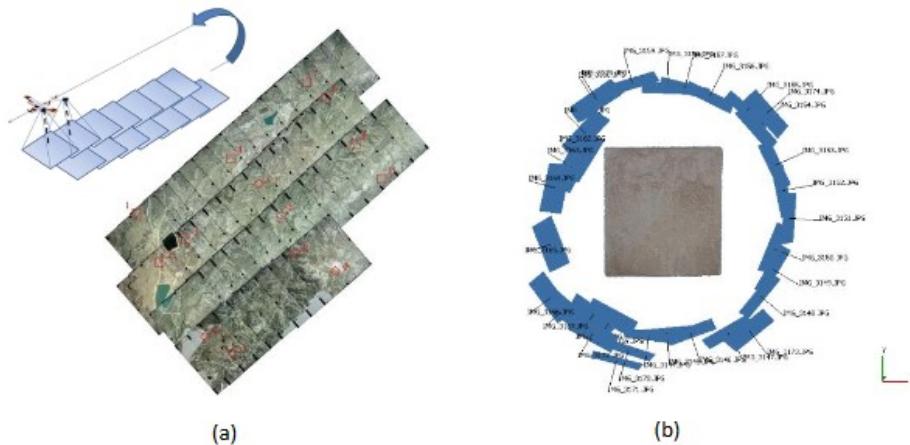


Figura 3: a) Fotogrametría aérea: Configuración por pasadas; b) Fotogrametría objeto cercano: Configuración en anillo.

- Configuración de imágenes que no sigue el esquema por pasadas típico. La configuración de las imágenes se plantea de forma que se obtenga una cobertura completa de todos los puntos del objeto, adaptándose a su forma; típicamente se realiza un levantamiento en anillos, rodeando el objeto.
- Grandes rangos de profundidad. En una misma imagen suelen aparecer puntos objeto situados a diferentes distancias o profundidades; es necesario planificar adecuadamente los parámetros de obtención de la imagen para obtener la profundidad de campo adecuada y que todos los puntos de interés aparezcan con la nitidez suficiente para garantizar una medición precisa.
- Sistema de coordenadas objeto arbitrariamente orientado. En general las coordenadas calculadas de los puntos objeto no necesitan referirse a un sistema de referencia absoluto (a diferencia de la fotogrametría aérea, en la que se suele trabajar con sistemas de referencia cartográficos como UTM). El sistema de coordenadas objeto suele establecerse con una orientación arbitraria, o de forma que se adapte al objeto facilitando la posterior generación de vistas y perfiles (por ejemplo, vista superior → plano XY, vista de frente → plano XZ, ...).
- No siempre hay apoyo geométrico (puntos de apoyo y control). Los puntos de apoyo se emplean en Fotogrametría para la transformación de las coordenadas objeto calculadas al sistema de referencia deseado. Puesto que en general no se establece un sistema absoluto, en muchas ocasiones basta con información geométrica como una distancia entre dos puntos objeto que permita calcular la escala.

- Uso de cámaras comerciales, no diseñadas con propósitos métricos. Se emplean cámaras fotográficas convencionales, de formato medio o pequeño. Suelen ser cámaras réflex de buena calidad, pero se puede emplear cualquier cámara.
- Parámetros de orientación interna variables o incluso desconocidos. Al ser cámaras no métricas los parámetros de orientación interna de la cámara (focal, punto principal, distorsión radial y tangencial, ...) no se conocen con exactitud; será necesario realizar una calibración para determinar estos parámetros en cada trabajo.



(a)

Figura 5: a) Fotogrametría aérea: cámaras métricas;



(b)

b) Fotogrametría objeto cercano: cámaras de todo tipo.

Para obtener conocimientos sobre Fotogrametría general, ver los capítulos 1, 2, 4 y 5 del curso del profesor Luis Jáuregui [[2](#)].

Para obtener conocimientos sobre Fotogrametría de Objeto Cercano, ver el artículo de la profesora Matilde Balaguer Puig [[3](#)].

3. Software

3.1 Regard3D

Inicialmente se intentó usar el software Colmap para el proceso de imágenes y creación de la nube de puntos densa. Colmap es un software SFM (Structure-from-Motion) y MVS (Multi-View Stereo) con interfaces gráficas y por comandos. Ofrece una amplia gama de aplicaciones para la reconstrucción de colecciones de imágenes ya sean ordenadas o desordenadas. Cabe destacar que este software está disponible en dos versiones, la versión cuda y la versión no cuda; ésta última utiliza recursos de la tarjeta gráfica del equipo durante el proceso de imágenes. Este software está publicado bajo la licencia BSD.

Durante la instalación del software Colmap en Debian y en Windows 10 tuvimos diversos problemas. En el caso de Debian no se pudo finalizar la instalación y en el caso de Windows aunque la instalación finalizó correctamente su funcionamiento no era correcto. Por este motivo se tomó la decisión de cambiar de software y se utilizó el software Regard3D (también de libre distribución) que aunque no es tan potente como Colmap en el proceso de imágenes, también es un software reconocido en el mundo de la fotogrametría.

Para la instalación de Regard3D en Windows 10, se ha ejecutado el fichero de instalación adjunto en el Anexo 7.2.

3.2 MeshLab

MESHLAB es un software de procesamiento de mallas 3D orientado a la gestión y el proceso de mallas no-estructuradas y ofrece aplicaciones y herramientas para la edición, la limpieza, el cosido, la inspección, el rendering y la conversión de dicho tipo de mallas. También ofrece soluciones para el tratamiento de raw data producido por la digitization 3D y prepara los modelos para la impresión 3D. MeshLab es un software libre y de código abierto, sujeto a los requerimientos de GNU General Public License (GPL) versión 2, y se usa como un paquete completo así como una librería para el funcionamiento de otros programas.

Para la instalación en Debian, hemos seguido los siguientes pasos:

```
sudo apt-get update  
sudo apt-get install meshlab
```

Una vez instalados, abrimos la aplicación tecleando en el terminal:

Meshlab

Para la instalación en Windows 10, se ha ejecutado el fichero adjunto en el Anexo 7.3.

3.3 Cura Ultimaker

A

4. Fases de los proyectos

En todos los proyectos realizados en este trabajo se ha seguido la misma metodología de trabajo.

Las fases de las que se componen todos los proyectos son:

4.1 Fase de fotografiado

A

4.2 Fase de tratamiento de imágenes

A

4.3 Fase de mallado

A

4.4 Fase de modelado 3D

A

4.5 Fase de preparación para la impresión 3D

A

4.6 Fase de Impresión 3D

A

5. Proyectos

Se realizaron 5 proyectos. Los dos primeros (Proyecto Soca y Proyecto Arrel) a partir de fotos realizadas por el profesor Raimon Guarro i Noguès (Cibernàrium – Barcelona Activa). Para los Proyectos

Soporte y Tarjeta Gráfica, se tomaron las series fotográficas en el aula del CIFO La Violeta. Y para el Proyecto Moto, se tomó la serie fotográfica en el exterior del CIFO LA Violeta.

En todos los proyectos se obtuvo un resultado aceptable, obteniendo una malla y posteriormente un fichero stl (standard triangle surface) que representaba el objeto fotografiado inicialmente, excepto en el caso del Proyecto Soporte, en que no se obtuvo malla y no se pudo seguir el proceso.

Sólo en el caso del Proyecto Arrel se obtuvo un stl con suficiente definición como para lanzarlo a imprimir a la impresora 3D y obtener así un prototipo sólido del objeto fotografiado.

A continuación se van a exponer y a comentar los detalles de cada proyecto:

5.1 Proyecto Soca

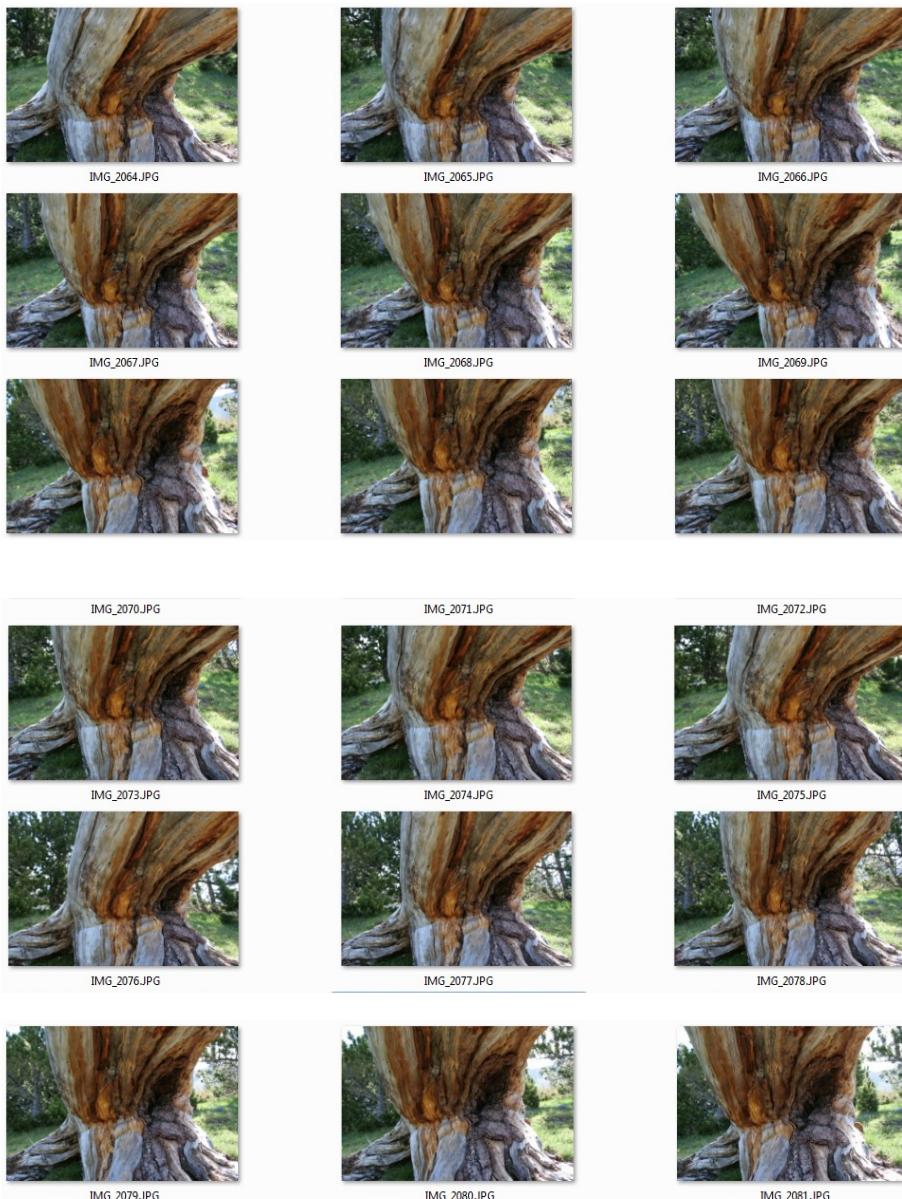
Proyecto exitoso:

- Fase de fotografiado

Se partió de la base de 18 fotografías de una soca tomadas por el profesor Raimon Guarro i Noguès (Cibernàrium – Barcelona Activa).

Reconstrucción digital de un objeto mediante fotogrametría y obtención de un prototipo por impresión 3D

CIFO La Violeta [2018]



- Fase de tratamiento de imágenes

A

- Fase de mallado

A

- Fase de modelado 3D

A

- Fase de preparación para la impresión 3D

Reconstrucción digital de un objeto mediante fotogrametría y obtención de un prototipo por impresión 3D

CIFO La Violeta [2018]

A

- Fase de Impresión 3D

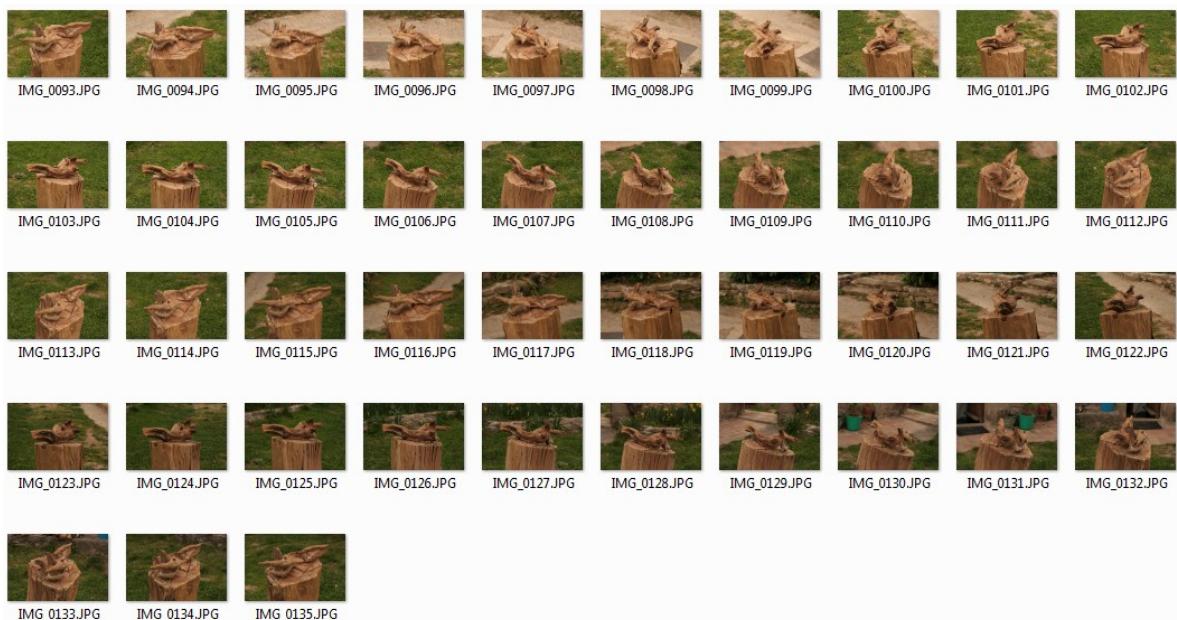
A

5.2 Proyecto Arrel

Proyecto exitoso:

- Fase de fotografiado

Se partió de la base de 43 fotografías de una raíz tomadas por el profesor Raimon Guarro i Noguès (Cibernàrium – Barcelona Activa).



- Fase de tratamiento de imágenes

A

- Fase de mallado

A

- Fase de modelado 3D

A

- Fase de preparación para la impresión 3D

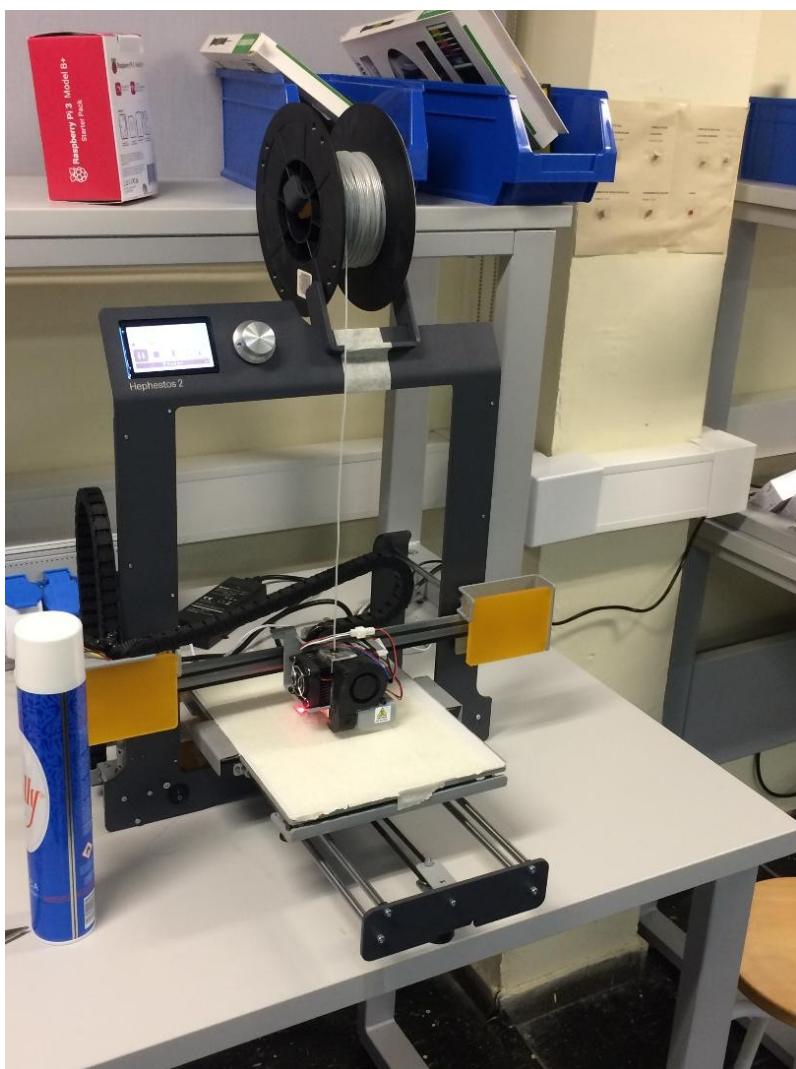
A

Fichero .gcode generado en Cura listo para enviarlo a la impresora 3D mediante una SD card:



- Fase de Impresión 3D

A



Reconstrucción digital de un objeto mediante fotogrametría y obtención de un prototipo por impresión 3D

CIFO La Violeta [2018]



Reconstrucción digital de un objeto mediante fotogrametría y obtención de un prototipo por impresión 3D

CIFO La Violeta [2018]



Reconstrucción digital de un objeto mediante fotogrametría y obtención de un prototipo por impresión 3D

CIFO La Violeta [2018]



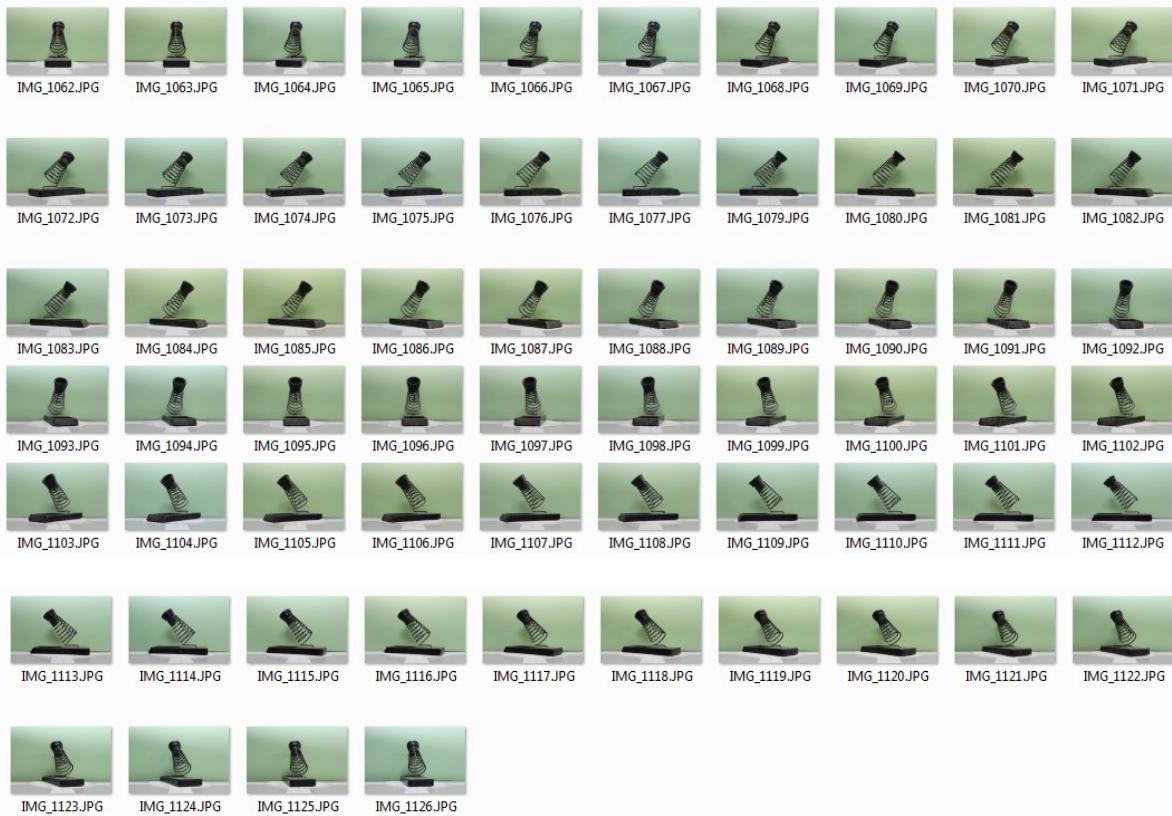
5.3 Proyecto Soporte

Proyecto fallido:

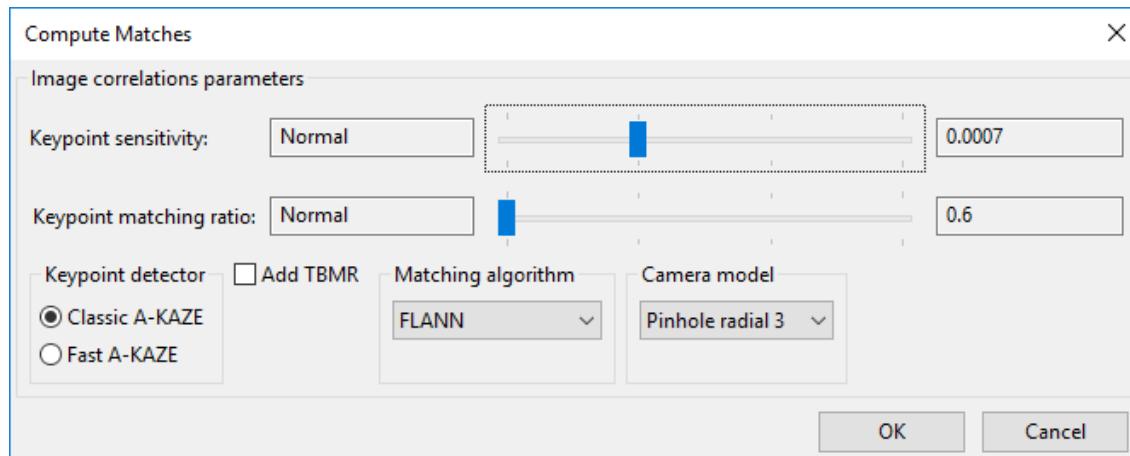
- Fase de fotografiado

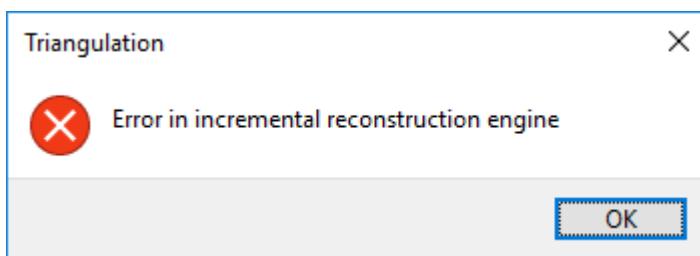
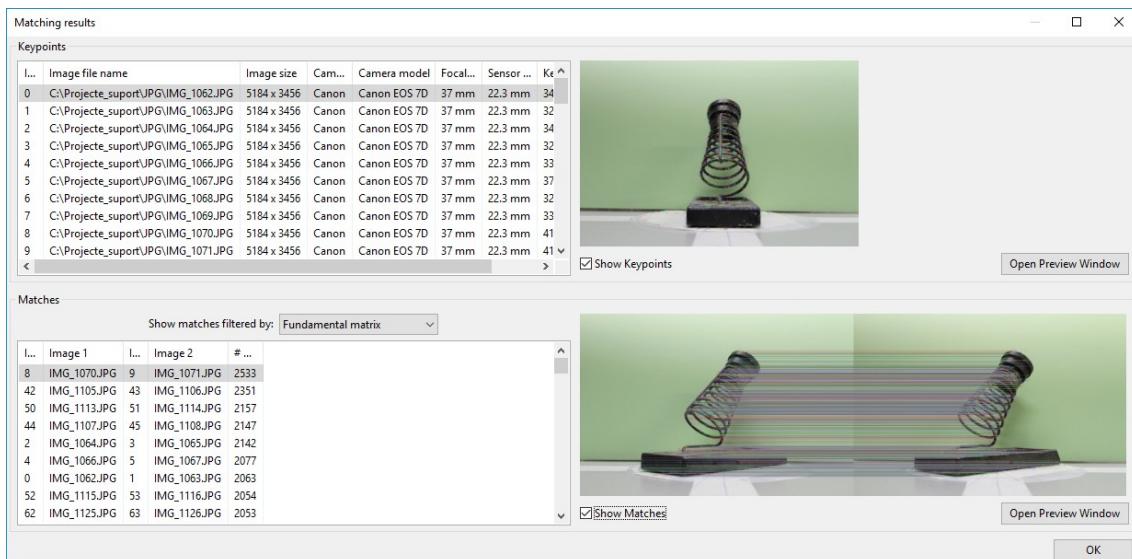
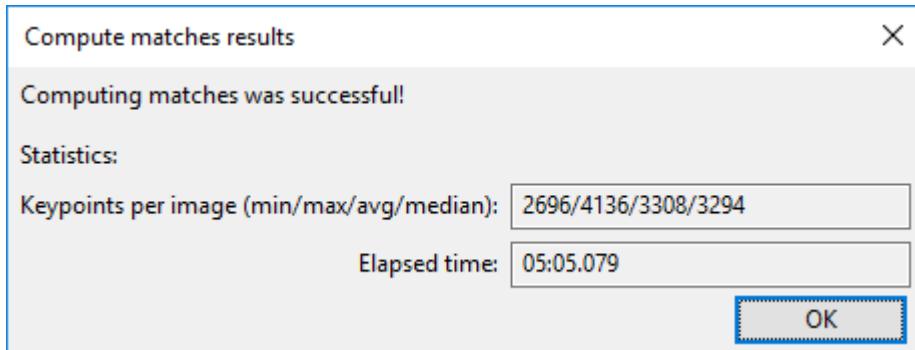
Se realizó una serie de 64 fotografías de un soporte para un soldador. La base es muy simple con forma rectangular pero el soporte tenía una forma helicoidal que la hacía atractiva para ser reconstruida por fotogrametría.

Para realizar esta serie fotográfica se construyó un sistema rudimentario con goniómetro para que el que el ángulo de captura de pantalla entre fotografías fuera constante en la medida de lo posible con un mínimo error.



- Fase de tratamiento de imágenes





- Fase de mallado

A

- Fase de modelado 3D

A

- Fase de preparación para la impresión 3D

A

- Fase de Impresión 3D

A

5.4 Proyecto Tarjeta Gráfica

Proyecto exitoso:

- Fase de fotografiado

A



- Fase de tratamiento de imágenes

A

- Fase de mallado

A

- Fase de modelado 3D

A

- Fase de preparación para la impresión 3D

A

- Fase de Impresión 3D

A

5.5 Proyecto Moto

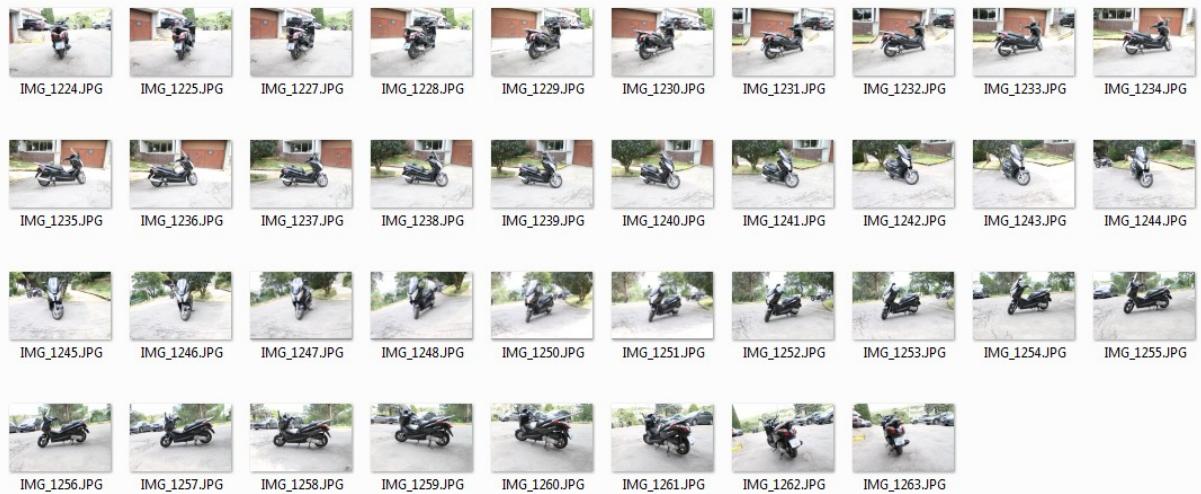
Proyecto exitoso:

Reconstrucción digital de un objeto mediante fotogrametría y obtención de un prototipo por impresión 3D

CIFO La Violeta [2018]

- Fase de fotografiado

Para realizar este proyecto se realizó una serie de 38 fotografías.

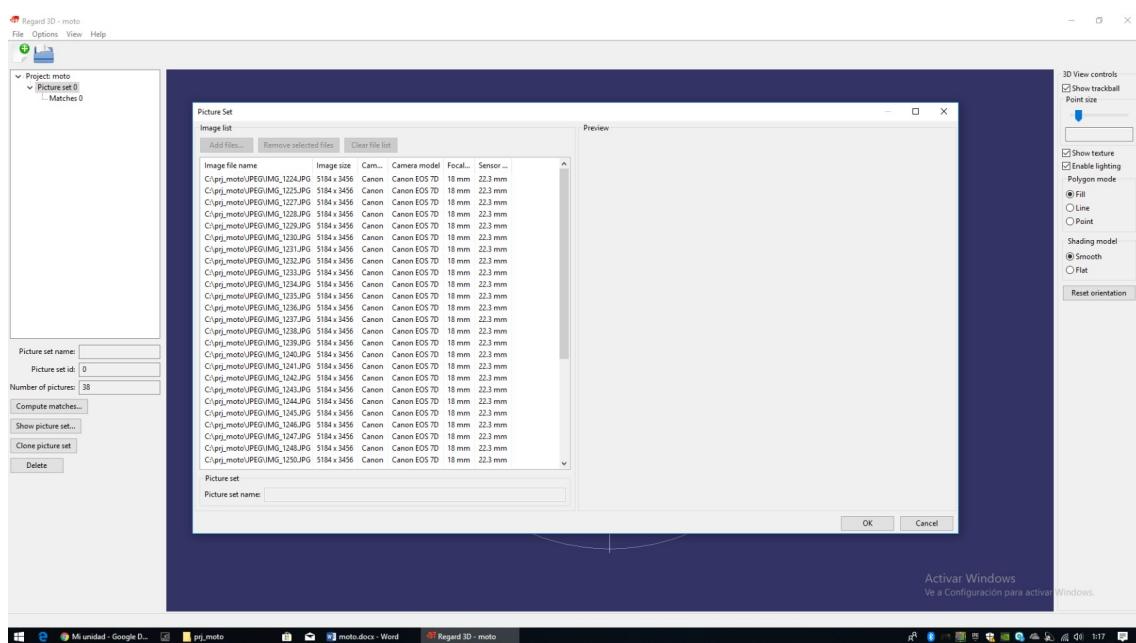
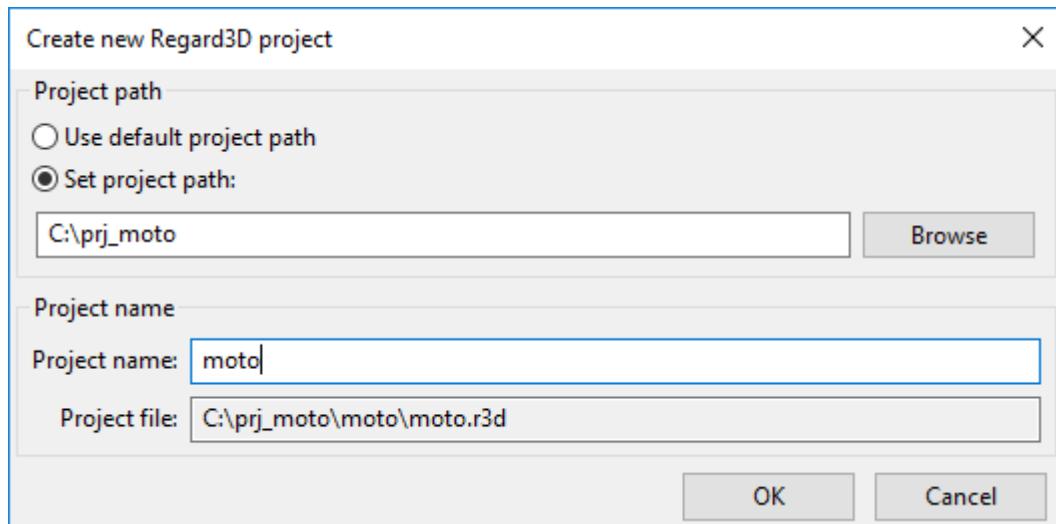


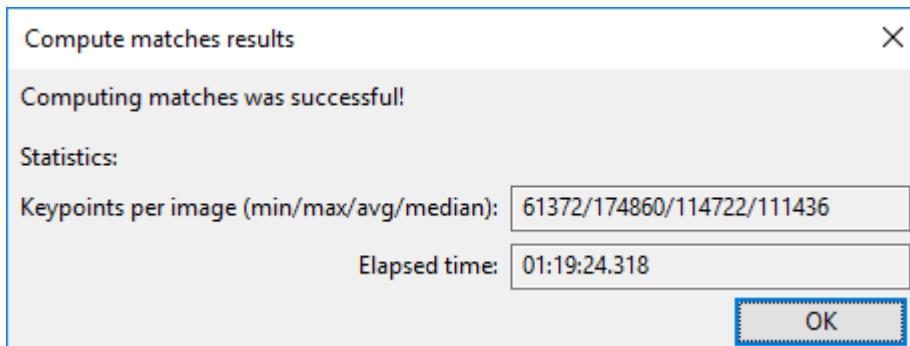
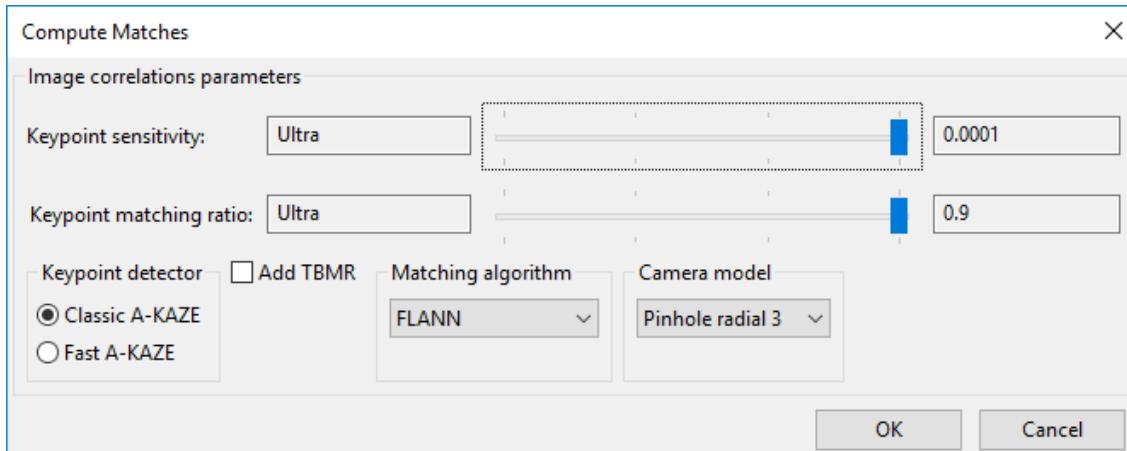
Antes de tomar las fotografías se realizaron unas mediciones para marcar con una tiza en el suelo la posición desde la cual tomar todas y cada una de las fotografías. Con una cuerda de longitud definida, se fueron haciendo marcas en el suelo aproximadamente cada 10° . El proceso queda resumido en la siguiente animación: (*nota: hay que tener instalado el plug-in shockwave flash player para poder visualizar la animación)



- Fase de tratamiento de imágenes

A





Matching results

Keypoints

...	Image file name	Image size	Cam...	Camera model	Focal...	Sensor ...	Keypoi...
0	C:\pjz_moto\JPEG\IMG_1224.JPG	5184 x 3456	Canon	Canon EOS 7D	18 mm	22.3 mm	80729
1	C:\pjz_moto\JPEG\IMG_1225.JPG	5184 x 3456	Canon	Canon EOS 7D	18 mm	22.3 mm	90782
2	C:\pjz_moto\JPEG\IMG_1227.JPG	5184 x 3456	Canon	Canon EOS 7D	18 mm	22.3 mm	61372
3	C:\pjz_moto\JPEG\IMG_1228.JPG	5184 x 3456	Canon	Canon EOS 7D	18 mm	22.3 mm	69315
4	C:\pjz_moto\JPEG\IMG_1229.JPG	5184 x 3456	Canon	Canon EOS 7D	18 mm	22.3 mm	83707
5	C:\pjz_moto\JPEG\IMG_1230.JPG	5184 x 3456	Canon	Canon EOS 7D	18 mm	22.3 mm	61617
6	C:\pjz_moto\JPEG\IMG_1231.JPG	5184 x 3456	Canon	Canon EOS 7D	18 mm	22.3 mm	66633
7	C:\pjz_moto\JPEG\IMG_1232.JPG	5184 x 3456	Canon	Canon EOS 7D	18 mm	22.3 mm	71226
8	C:\pjz_moto\JPEG\IMG_1233.JPG	5184 x 3456	Canon	Canon EOS 7D	18 mm	22.3 mm	70456
9	C:\pjz_moto\JPEG\IMG_1234.JPG	5184 x 3456	Canon	Canon EOS 7D	18 mm	22.3 mm	72983

Matches

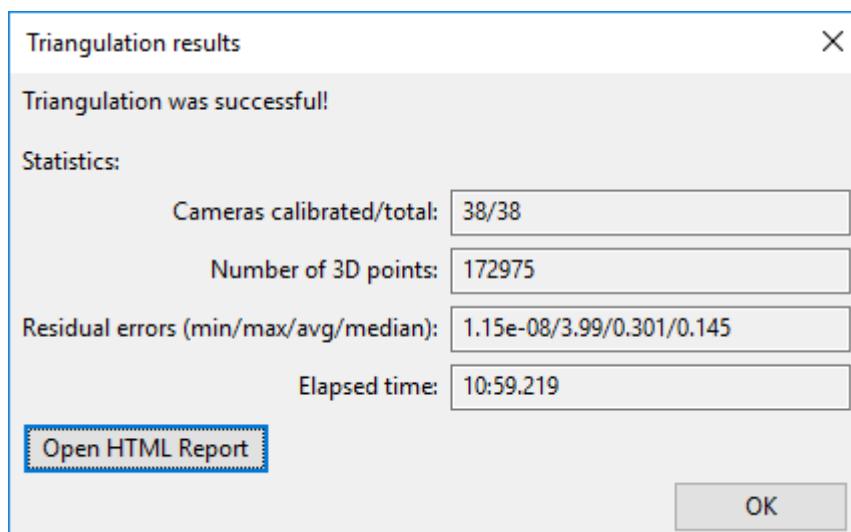
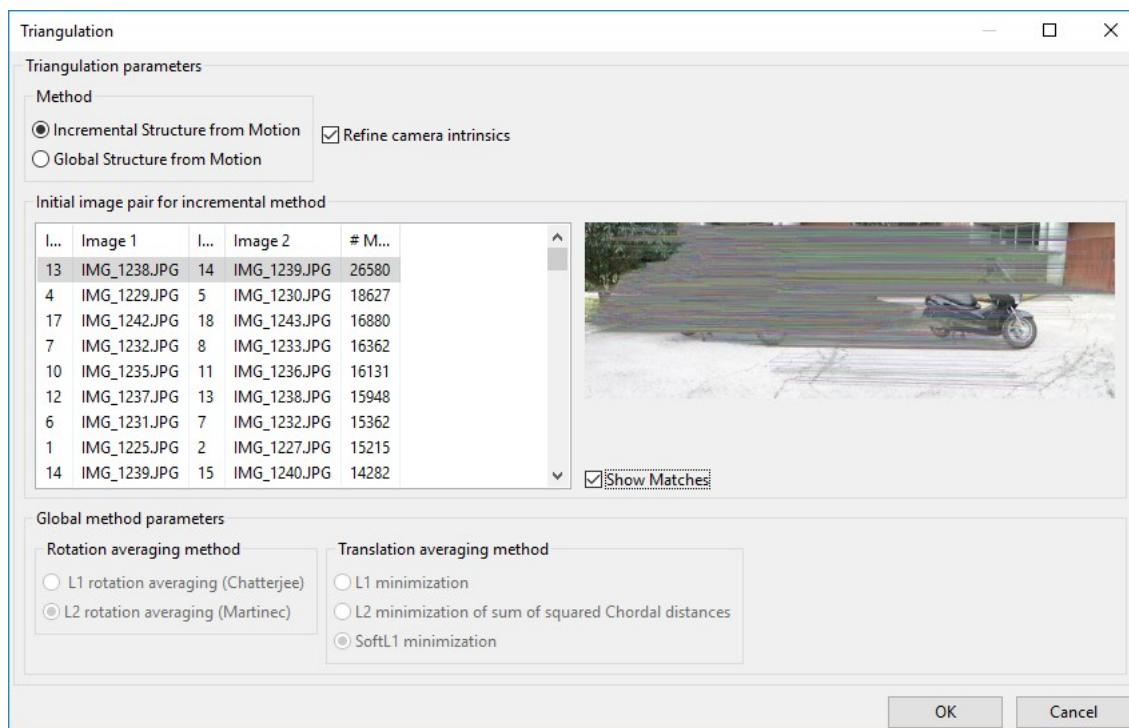
Show matches filtered by: Fundamental matrix

...	Image 1	...	Image 2	# M...
13	IMG_1238.JPG	14	IMG_1239.JPG	26580
4	IMG_1229.JPG	5	IMG_1230.JPG	18627
17	IMG_1242.JPG	18	IMG_1243.JPG	16880
7	IMG_1232.JPG	8	IMG_1233.JPG	16362
10	IMG_1235.JPG	11	IMG_1236.JPG	16131
12	IMG_1237.JPG	13	IMG_1238.JPG	15948
6	IMG_1231.JPG	7	IMG_1232.JPG	15362
1	IMG_1225.JPG	2	IMG_1227.JPG	15215
14	IMG_1239.JPG	15	IMG_1240.JPG	14282

OK

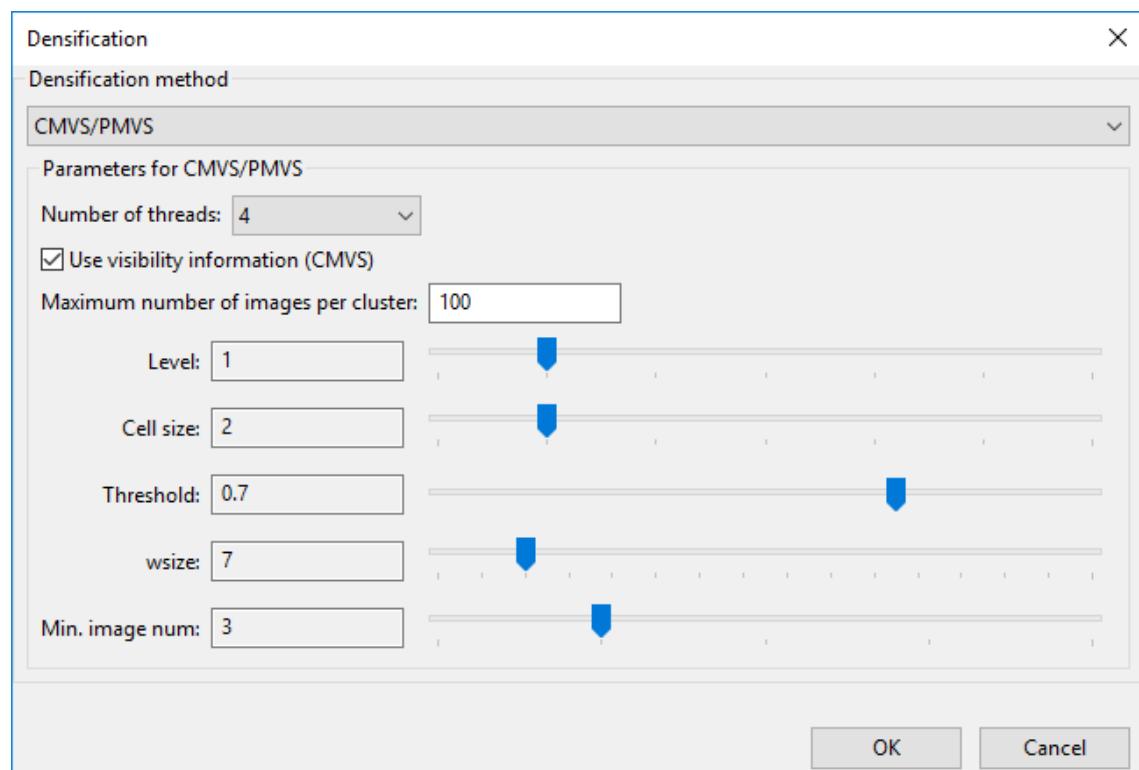
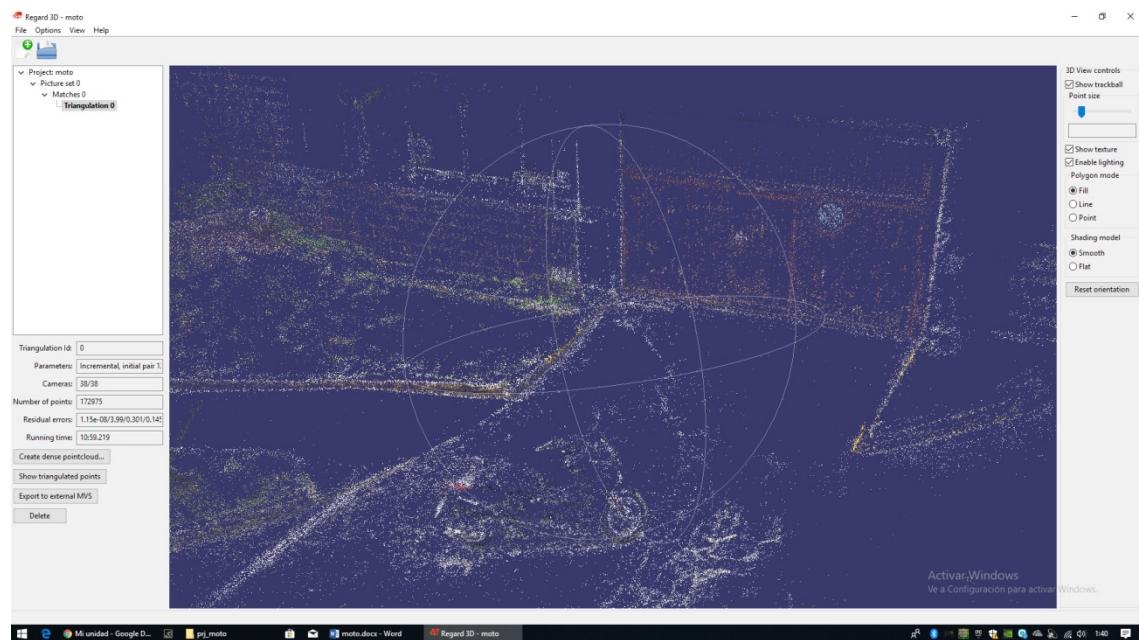
Reconstrucción digital de un objeto mediante fotogrametría y obtención de un prototipo por impresión 3D

CIFO La Violeta [2018]



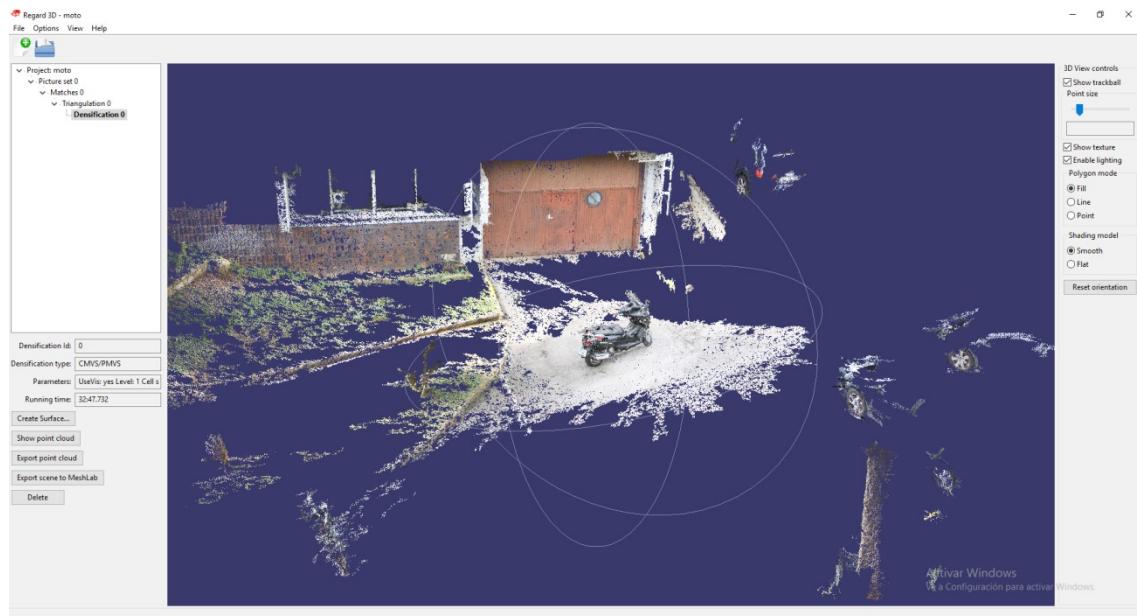
Reconstrucción digital de un objeto mediante fotogrametría y obtención de un prototipo por impresión 3D

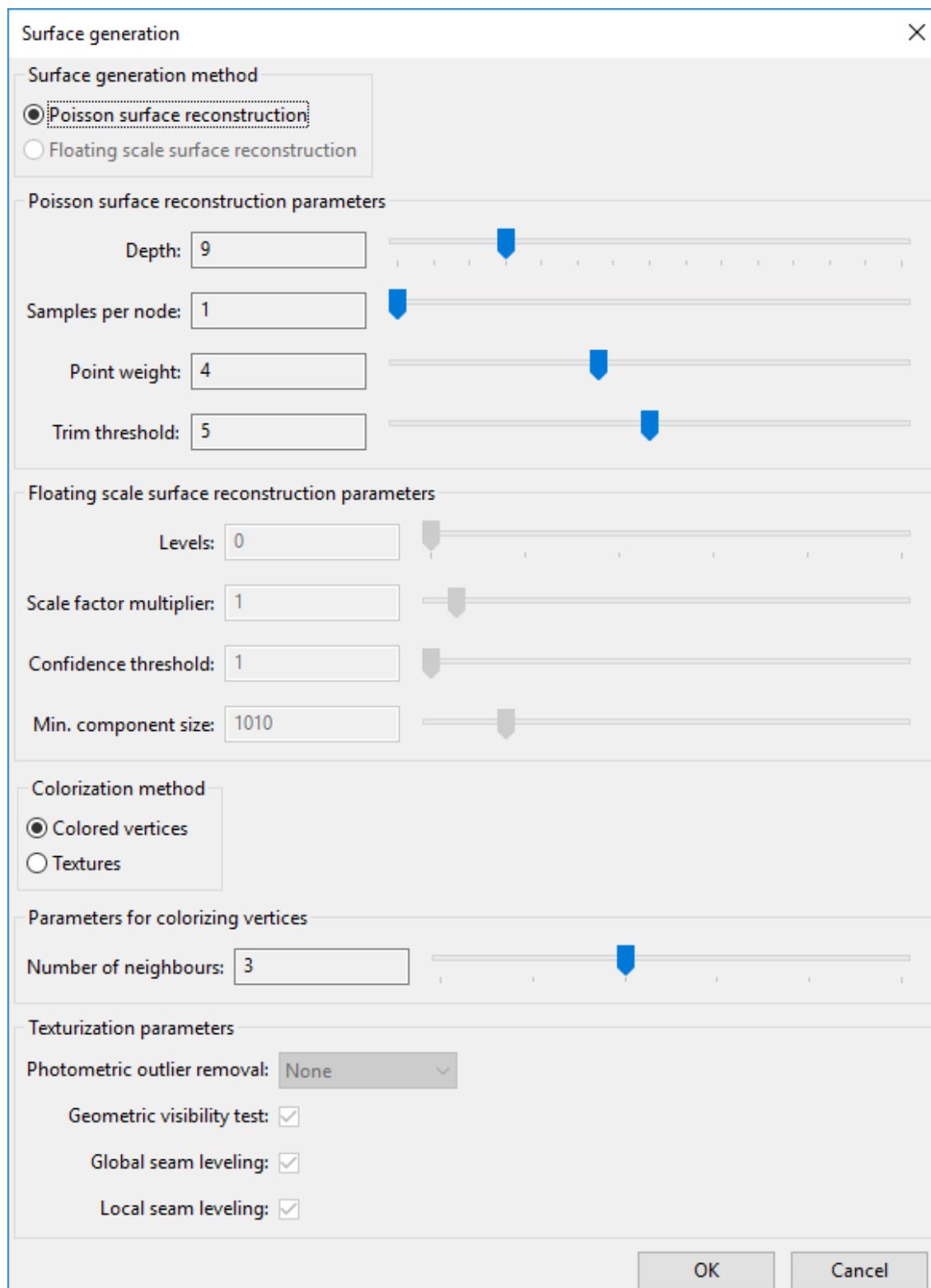
CIFO La Violeta [2018]



Reconstrucción digital de un objeto mediante fotogrametría y obtención de un prototipo por impresión 3D

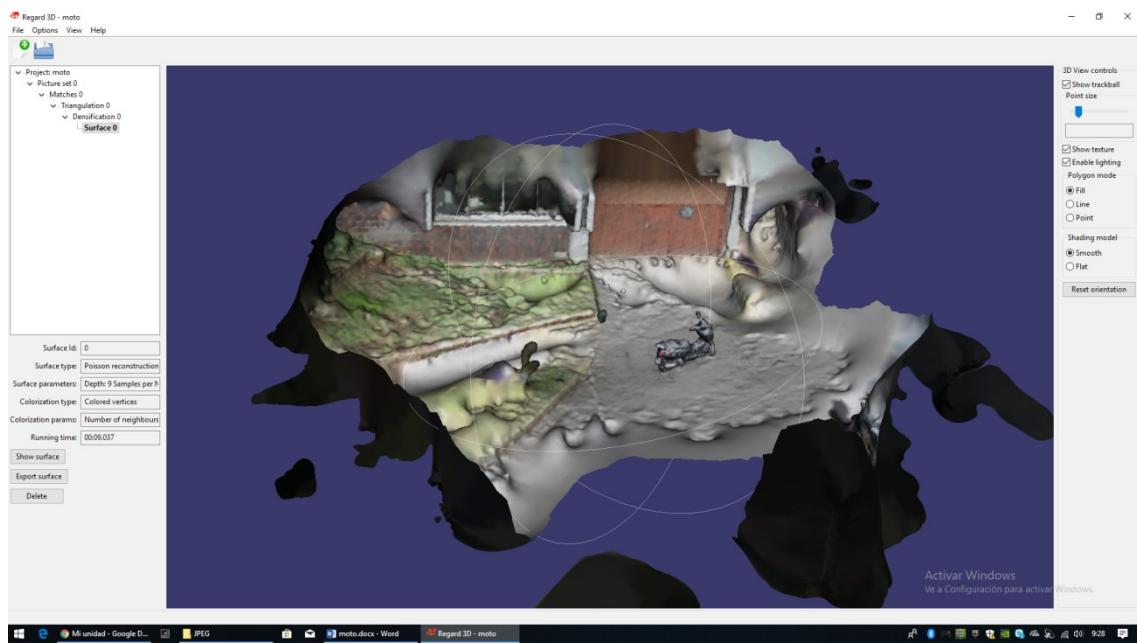
CIFO La Violeta [2018]





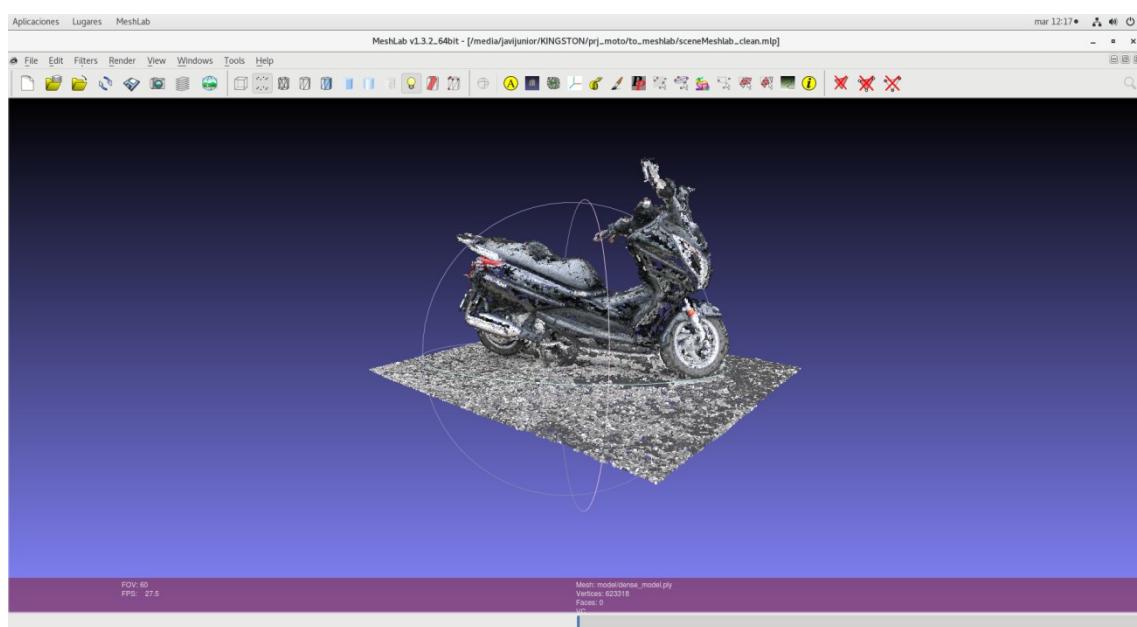
Reconstrucción digital de un objeto mediante fotogrametría y obtención de un prototipo por impresión 3D

CIFO La Violeta [2018]



- Fase de mallado

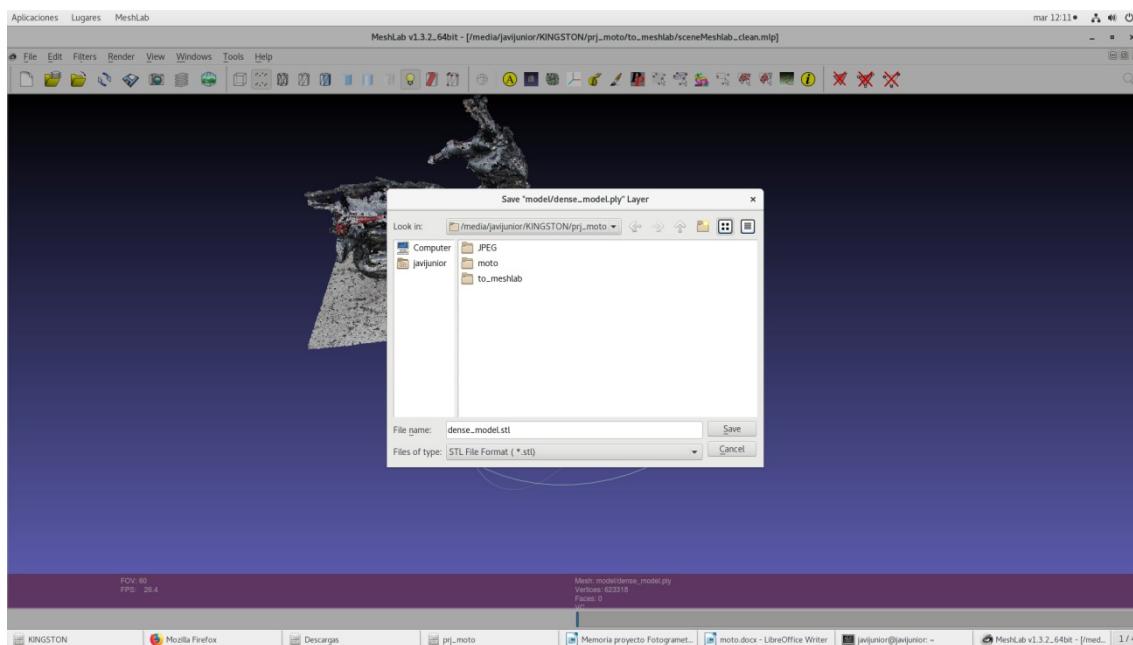
Importamos desde Meshlab la nube de puntos densa en formato .ply que habíamos obtenido con el software Regard3D, y después eliminamos todos los puntos que representan objetos (fondo de foto) que no nos interesa representar:



El siguiente paso es exportar la mesh en formato .stl (standard triangle language):

Reconstrucción digital de un objeto mediante fotogrametría y obtención de un prototipo por impresión 3D

CIFO La Violeta [2018]



- Fase de modelado 3D

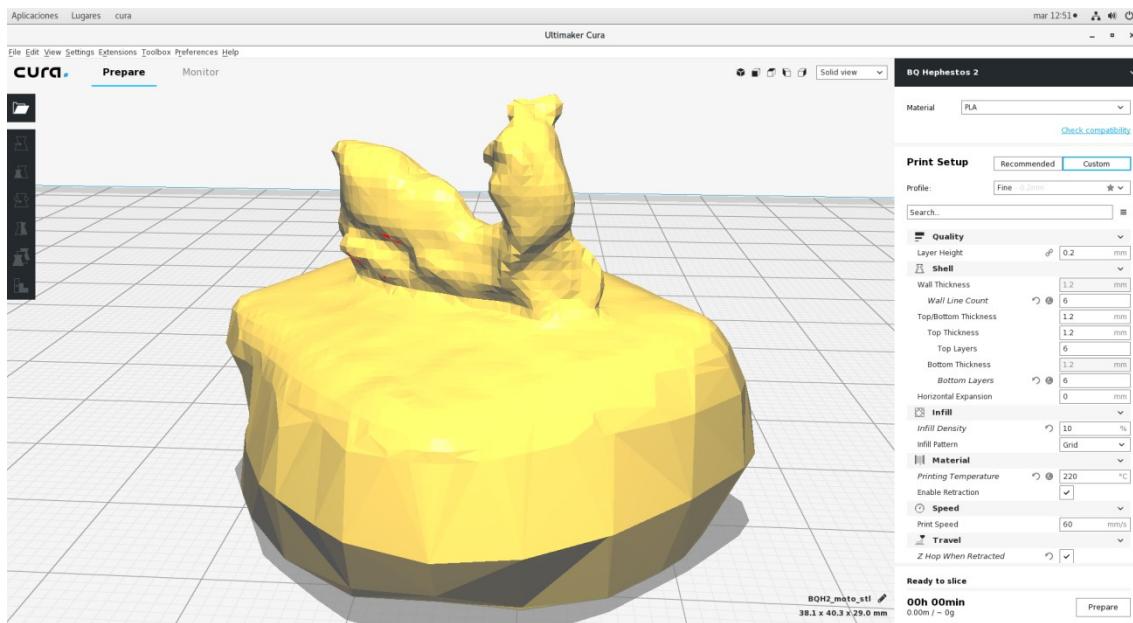
En este proyecto no hubo modelado 3D.

- Fase de preparación para la impresión 3D

Se importa el .stl creado en Meshlab con el software de pre-proceso Cura. Como se puede apreciar en la siguiente imagen la resolución del resultado no es aceptable como para lanzar a imprimir el prototipo:

Reconstrucción digital de un objeto mediante fotogrametría y obtención de un prototipo por impresión 3D

CIFO La Violeta [2018]



- Fase de Impresión 3D

En este proyecto no se lanzó a impresora 3D.

6. Conclusiones

A

7. Anexos

7.1 Especificaciones de la cámara fotográfica CANON EOS 7D

7.2 Software COLMAP

7.3 Software MESHLAB

7.4 Software CURA

7.5 Data-sheet y manuales de la impresora 3D BQ Hephestos 2

7.6 Fotos Proyecto Soca

7.7 Fotos Proyecto Arrel

7.8 Fotos Proyecto Soporte

7.9 Fotos Proyecto Tarjeta gráfica

7.10 Fotos Proyecto Moto

8. Bibliografía

[1]. Curso Fotogrametría Cibernàrium – Barcelona activa:

<http://www.apren.imatgedart.com/apren-fotogrametria>

[2]. Introducción a la Fotogrametría (Luis Jáuregui, ULA):

<http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Fotogrametr%EDa/CAPITULO1.pdf>

[3]. Introducción a la Fotogrametría de Objetos Cercanos (Matilde Balaguer Puig, UPV):

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/82148/Balaguer%20-%20Fotogrametr%C3%A3da%20de%20Objeto%20Cercano%3A%20Conceptos%20b%C3%A1sicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[4].