

Desarrollo práctico del proceso de captura y tratamiento digital en 3D de imágenes para ser utilizadas en impresión 3D y aplicaciones de Animación y Realidad Aumentada.

Memoria de Treball Final de Grau

Grau de Multimèdia

Menció en Comunicació Visual i Creativitat

Autor: Joan Soler Abelló

Consultor: Llogari Casas Torres

Profesor: Antoni Marín Amatller

Fecha de entrega: 24 / Junio / 2014

Créditos/Copyright

Aparte de que se prioriza al máximo el uso de software libre no se descarta el uso de algún software específico a usar con licencia y que se especificará a tal efecto.

Se hace uso de la cámara Kinect 3D para Windows de Microsoft ®.

Es importante resaltar que se deberá tener especial cuidado en el uso de las piezas o formas de origen que sea motivo de escaneo o adquisición en 3D ya que hay que evitar vulnerar alguna patente o su correspondiente derechos que los pudieran proteger.

Es importante indicar que actualmente este tema crea controversia en los foros e incluso tal como indica el artículo “Liberator: de nuevo la eterna discusión sobre puertas y campos”¹ de Enrique Dans incluso puede ser peligroso en manos criminales.

¹ Artículo de Enrique Dans publicado el 12 de Mayo del 2013
(<http://www.enriquedans.com/2013/05/liberator-de-nuevo-la-eterna-discusion-sobre-puertas-y-campos.html>)

Citas

Generalmente los autores incluyen una sola cita acompañando a sus textos y en un gran número de ocasiones es imposible adivinar la relación con éstos. En mi caso he querido incluir tres que considero están totalmente relacionadas con el trabajo que se presenta a continuación.

Si el lector no ve la relación de alguna de las citas con el TFG que sigue se le permite descartar alguna y quedarse con el resto.

“Cualquier persona que deja de aprender es viejo, cualquiera que continúa aprendiendo se mantiene joven. La cosa más grande en esta vida es saber cómo mantener la mente joven”

Henry Ford

“El verdadero progreso es el que pone la tecnología al alcance de todos.”

Henry Ford

“Saber no es suficiente; tenemos que aplicarlo.”

Goethe

Abstracto

Actualmente se está tratando en múltiples foros técnicos como Multimedia el tema de la "impresión 3D" y por otro lado cada vez son más las animaciones en 3D que se lanzan de forma profesional en películas comerciales y a nivel particular a través de la web.

No en todos los casos se disponen de conocimientos de modelado en 3D o el acceso a unos programas que requieren conocimientos técnicos avanzados.

De todas formas no son pocas las ocasiones que se dispone de la pieza o forma real y aun así hay que emprender una ardua búsqueda en Internet para encontrar el elemento ya modelado y generalmente se logra sólo hallar algo semejante pero alejado de nuestros deseos o necesidades.

El desarrollo práctico que se quiere elaborar tiene como objetivo describir como paliar en parte la situación descrita describiendo paso a paso el proceso de captura o adquisición de datos de las formas reales con cámaras capaces de obtener información 3D.

Una vez realizada la captura, se deberá proceder a su tratamiento digital en 3D para posteriormente ser utilizadas en aplicaciones de Realidad Aumentada, Animación e impresión 3D con las impresoras que se están desarrollando en este momento y que en muy breve tiempo estarán al alcance del usuario particular en versión sobremesa.

Tras efectuar la impresión del elemento en 3D podríamos empezar el ciclo de nuevo con las consiguientes pérdidas en el proceso o bien mejorando el original dependiendo de la creatividad del usuario.

Palabras clave: UOC, TFG, Treball Fi de Grau, Multimedia, 3D, captura imagen, impresión 3D, realidad aumentada, animación 3D

Abstract

In many technical and also Multimedia forums it is dealt the subject related with "3D printing " and on the other hand more and more 3D animations are released professionally in commercial films and particular level through the web .

Not in all cases 3D modeling skills are available for normal users or the access to programs that require advanced technical skills is limited.

In any case there are a lot of occasions that being available the real piece and it is still necessary to carry out an arduous search in Internet to find a modeled item and usually only something similar is achieved but far away from our wished or needs.

The practical development that it is wanted to develop is to describe how to mitigate the situation described above, at least partially, describing step by step the process for data capture or acquisition of real shapes with cameras capable to get that 3D information .

After getting the capture, it will be necessary to proceed with a digital 3D treatment in order to be used later in Augmented Reality applications, 3D Animation and printed using personal printers that are being developed at this time and it is expected that in a very short time they will be available for the user in desktop version.

After getting the 3D element printed we could start the cycle again with the consequent losses in the process or improving the original depending on the user's creativity.

Keywords: UOC, TFG, Grau Treball Fi, Multimedia, 3D, image capture, 3D printing, augmented reality, 3D animation

Agradecimientos

Aun siendo un tópico y no por ello no menos cierto me gustaría dedicar este trabajo a Joaquina, mi esposa, quien ha soportado estoicamente todos mis requerimientos tales como *“! dale un vistazo a esto, tan sólo es un momento j ”*, *“¿qué te parece?”*, *“¿cambio algo?”* y pedirle disculpas por todos los momentos de mal humor cuando la idea rondaba pero no llegaba.

Notaciones y Convenciones

En la presente memoria se han usado las siguientes tipografías para distinguir cada uno de los contenidos textuales:

- Arial normal, utilizada en el cuerpo del documento y pie de las imágenes y tablas
- **Arial negrita**, utilizada en títulos y encabezados de las secciones y cuando se requiere resaltar o enfatizar un contenido importante
- Arial subrayada, utilizada para dar un punto más de énfasis a la normal o a la negrita
- *Arial cursiva*, utilizada para la reproducción textual de citas
- Courier New, utilizada para las líneas de código de programación
- *Arial cursiva*, color gris utilizada para los comentarios en el código de programación
- La notación arial azul y subrrayada queda reservada a enlaces web (ejemplo www.uoc.edu)

Además de utilizarán los claudators [] para marcar las notas bibliográficas

Índice

1	INTRODUCCIÓN	13
1.1	PUNTOS DE PARTIDA	13
1.2	EVALUANDO POSIBILIDADES	13
1.3	DECISIÓN FINAL	14
2	DESCRIPCIÓN	15
3	OBJETIVOS	16
3.1	OBJETIVOS GENERALES	16
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3.3	OBJETIVOS PERSONALES	16
4	METODOLOGÍA Y ENFOQUE	17
5	MARCO TEÓRICO/ESCENARIO ACTUAL	18
5.1	FUENTES DE INFORMACIÓN	18
5.2	DIVERSAS POSIBILIDADES ACTUALES DE ESCANEADO / IMPRESIÓN 3D	19
6	PROCESO DE TRABAJO	22
7	PLANIFICACIÓN	24
8	DESARROLLO	29
8.1	DESCRIPCIÓN DE LAS PIEZAS A ESCANEAR	29
8.2	CAPTURA Y PRE-PROCESADO	30
8.2.1	<i>Captura y pre-procesado con Processing</i>	30
8.2.2	<i>Captura con 123D Catch</i>	40
8.2.3	<i>Captura y pre-procesado con Skanect</i>	48
8.2.4	<i>Captura y pre-procesado con ReconstructMe</i>	56
8.3	PROCESADO	57
8.3.1	<i>Selección de resultados finales para posteriores procesos</i>	57
8.3.2	<i>Visualización de los resultados antes de proceder a su procesado</i>	60
8.3.3	<i>Fotogrametría de objeto cercano: Técnica base del 123D Catch</i>	61
8.3.4	<i>Procesado del resultado obtenido con Processing</i>	61
8.3.5	<i>Procesado del resultado obtenido con Skanect</i>	67
8.3.6	<i>Procesado del resultado obtenido con 123D Catch</i>	74
8.3.7	<i>Procesado del resultado obtenido 123D Catch (color)</i>	76
8.4	IMPRESIÓN 3D	86
8.4.1	<i>Selección del material a usar para la impresión 3D</i>	88
8.4.2	<i>Estudio de coste: material / dimensión /proveedor</i>	90

8.5	APLICACIÓN A ANIMACIÓN 3D	93
8.5.1	<i>Storyboard de la animación 3D</i>	93
8.5.2	<i>Preparación de los elementos que se incluyen en las distintas escenas</i>	95
8.5.3	<i>Creación de las escenas con 3ds Max (Autodesk)</i>	95
8.5.4	<i>Edición con After Effects (Adobe)</i>	97
8.5.5	<i>Resultado final de la animación</i>	104
8.6	APLICACIÓN A REALIDAD AUMENTADA	104
9	DESCRIPCIÓN HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS	110
9.1	HARDWARE.....	110
9.1.1	<i>PC</i>	110
9.1.2	<i>Cámara fotográfica digital</i>	110
9.1.3	<i>Escáner 3D</i>	110
9.1.4	<i>Tarjeta gráfica</i>	110
9.2	SOFTWARE	111
9.2.1	<i>Sistema operativo</i>	111
9.2.2	<i>Software pre-procesamiento</i>	111
9.2.3	<i>Software Procesamiento</i>	112
9.2.4	<i>Software Edición</i>	113
9.2.5	<i>Software Impresión 3D</i>	114
9.2.6	<i>Software Animación 3D</i>	114
9.2.7	<i>Software Realidad Aumentada</i>	114
9.3	WEBS DE PUBLICACIÓN	114
10	PERFILES DEL USUARIO	116
11	PROYECCIÓN DE FUTURO	120
12	CONCLUSIONES	123
	ANEXO 1. ENTREGABLES DEL PROYECTO	125
	ANEXO 2. CÓDIGO FUENTE	127
	ANEXO 3. LIBRERÍAS UTILIZADAS	137
	ANEXO 4. GLOSARIO	138
	ANEXO 5. BIBLIOGRAFÍA	141
	ANEXO 6. VITA	143

Figuras y tablas

Índice de figuras

Figura 1.- Portada revista MAKE Febrero 2013.....	18
Figura 2.- Portada libro: Making Things See	19
Figura 3.- Portada libro: Getting Started with MakerBot	19
Figura 4.- Gráfico representativo de los métodos de captura y proceso desde el escaneado hasta la impresión 3D	20
Figura 5.- Gráfico representativo de las herramientas y software de captura, proceso e impresión 3D.....	21
Figura 6.- Flujo de trabajo de las tres opciones a desarrollar en el proceso desde captura hasta impresión 3D.....	22
Figura 7.- Diagrama de Gantt de las etapas principales del TFG	24
Figura 8.- Imágenes obtenidas de Microsoft Project con el diagrama de Gantt del TFG.....	28
Figura 9.- Pieza convencional: "mussol"	29
Figura 10.- Pieza "bici"	30
Figura 11.- Diagrama de flujo general del programa de captura de imagen 3D, en Processing	34
Figura 12.- Diagrama representación proyección puntos	35
Figura 13.- Los dos triángulos que se forman conectan los puntos con sus contiguos (figura extraída de Making Things See)	36
Figura 14.- Resultado captura con Processing, sin aplicar el "módulo de limpieza".	36
Figura 15.- Montaje escaneo mussol con Processing.....	37
Figura 16.- Pantalla de captura de mussol con Processing.....	38
Figura 17.- Vistas con MeshLab del escaneado del mussol mediante Processing.....	38
Figura 18.- Detalle del escaneado del mussol mediante Processing	39
Figura 19.- Montaje escaneo bici con Processing.....	39
Figura 20.- Pantalla de captura de bici con Processing	40
Figura 21.- Vistas con MeshLab del escaneado de la bici mediante Processing.....	40
Figura 22.- Proceso toma fotos mussol con 123D Catch, girando alrededor del modelo	42
Figura 23.- Proceso 123D Catch: Cargar fotos y Crear captura	42
Figura 24.- Ruta cámara seguida en captura mussol con 123D Catch, girando alrededor del modelo.....	43
Figura 25.- Diversas vistas del modelo 3D resultante del mussol mediante captura con 123D Catch girando alrededor del modelo.....	43
Figura 26.- Vista en la web de Autodesk del modelo 3D resultante del mussol capturado mediante el proceso 123D Catch, girando alrededor.....	44
Figura 27.- Proceso toma fotos mussol con 123D Catch, modelo gira.....	44
Figura 28.- Ruta cámara seguida en captura mussol con 123D Catch, girando modelo.....	45
Figura 29.- Diversas vistas del modelo 3D resultante del mussol mediante captura con 123D Catch, girando el modelo.	45
Figura 30.- Proceso toma fotos bici con 123D Catch, girando alrededor del modelo.....	46
Figura 31.-Ruta cámara seguida en captura bici con 123D Catch, girando alrededor del modelo.....	46
Figura 32.- Diversas vistas del modelo 3D resultante de la bici mediante captura con 123D Catch girando alrededor del modelo	47
Figura 33.- Vista de la web de Autodesk con las diversas pruebas llevadas a cabo.....	47
Figura 34.- Proceso resumido de la captura 3D con Skanect.....	48
Figura 35.- Preparación de escaneado del mussol con Skanect	48
Figura 36.- Pantalla Prepare/New de Skanect para escaneo del mussol.....	49

Figura 37.- Pantalla Prepare/Settings de Skanect para escaneo del mussol	49
Figura 38.- Proceso de grabación del mussol con Skanect.....	50
Figura 39.- Pre-Procesado del mussol con Skanect	51
Figura 40.- Exportación del modelo 3D del mussol escaneado con Skanect	51
Figura 41.- Vistas desde MeshLab del resultado obtenido al escanear el mussol con Skanect	51
Figura 42.- Disposición elementos prueba problemática escaneado.	54
Figura 43.- Resultados escaneado "mussol" con ReconstructMe (pantallazos de MeshLab).....	56
Figura 44.- Vista tras importar modelo "mussol" capturado con Processing a MeshMixer	62
Figura 45.- Menus de MeshMixer: Select, Edit y Analysis.....	63
Figura 46.- Proceso eliminación elementos no deseados con Select y Edit / Erase	64
Figura 47.- Proceso de corte del plano base con Edit / Pane Cut de MeshMixer	64
Figura 48.- Proceso de escalado con MeshMixer	65
Figura 49.- Vista de los problemas del modelo mediante Analysis / Inspector	66
Figura 50.- Ultimas verificaciones antes de impresión 3D con Print (para MakerBot Replicator 2).....	66
Figura 51.- Selección con Netfabb del objetos escaneado con Skanect	67
Figura 52.- Traslado al origen de coordenadas con Netfabb.....	68
Figura 53.- Eliminar partes del modelo con plano de corte con Netfabb	69
Figura 54.- Eliminar restos indeseados mediante planos de corte con Netfabb	69
Figura 55.- Proceso de reparación de defectos con Netfabb.....	70
Figura 56.- Exportación a STL y reparación vértices manifold con Netfabb	70
Figura 57.- Aplicación del filtro de suavizado al objeto con MeshLab	71
Figura 58.-Comparación del resultado antes y después de aplicar el filtro "Surface Reconstruct Poisson" de MeshLab	71
Figura 59.- Eliminación de protuberancia indeseada en el objeto, con Meshmixer.....	72
Figura 60.- Reparado final con Netfabb para eliminar defectos en la base del objeto	72
Figura 61.- Escalado del objeto con Netfabb.....	73
Figura 62.- Resultado final. Vista con Netfabb y MeshLab.....	73
Figura 63.- Esquema del proceso seguido para el procesado del modelo "mussol" obtenido con 123D	75
Figura 64.- Importación del modelo "mussol", con 3DS Max, obtenido con 123D Catch.....	76
Figura 65.- Visualización del objeto "mussol" en pantalla 3ds Max una vez importado.....	77
Figura 66.- Proceso de eliminación parte inferior objetos con modificador Slice de 3ds Max.....	78
Figura 67.- Tapado del hueco de la base del objeto con el modificador Cap Holes de 3ds Max	78
Figura 68.- Escalado y centrado del Pivote (en 3ds Max) , finalizando el proceso de "mussol" de 123D Catch en color	79
Figura 69.- Exportación desde 3ds Max en formato OBJ del objeto "mussol" en color, obtenido con 123D Catch.....	79
Figura 70.-Vista con MeshLab del objeto "mussol" en color, obtenido con 123D Catch	80
Figura 71 .- Problemática surgida tras exportar de 3ds Max: cara frontal oscura	80
Figura 72.- Imagen de fichero tex_0.jpg. Se marca la parte frontal oscura.	81
Figura 73.- Proceso seguido con Photoshop para solucionar y mejorar text_0.jpg.....	84
Figura 74.- Vista con MeshLab del objeto "mussol" en color, obtenido con 123D Catch tras tratar su textura en JPG con Photoshop.....	85
Figura 75.- Comparación resultados antes y después de tratar el fichero tex_0.jpg con Photoshop	85
Figura 76.- Filosofía de servicio de los proveedores de impresión 3D	87
Figura 77.- Vistas de valoración económica efectuada en Shapeways.....	90
Figura 78.-Vistas de valoración económica efectuada en i.materialise	91
Figura 79.- Vistas de valoración económica efectuada en Sculpteo	91
Figura 80 .- Storyboard (3 ilustraciones) de la animación 3D	94

Figura 81.- Pantalla de inicio de Aumentaty Author	105
Figura 82.- Importación modelos 3D a Aumentaty Author	105
Figura 83.- Asignación de marcas de RA a cada modelo 3D y animación	106
Figura 84.- Detalle relación marcas RA con cada modelo.....	106
Figura 85.- Arranque de la webcam para visualizar la RA.....	107
Figura 86.- Vista en RA de todos los modelos en Aumentaty Author.....	107
Figura 87.- Controles de despazamiento, escala y rotación en Aumentaty	107
Figura 88.- Ejemplos actuación controles Aumentaty	108
Figura 89.- Vista de la pantalla de trabajo de After Effects usada en la preparación de la composición elaborada para presentar los resultados de RA	109
Figura 90-- Aspecto frontal del escáner 3D KINECT.....	110

Índice de tablas

Tabla 1.- Resultados pruebas captura de bici, con Skanect.....	53
Tabla 2.- Resultados pruebas problemática escaneo	55
Tabla 3.- Valoración resultados obtenidos en la captura del modelo "mussol" antes de procesar.....	59
Tabla 4.- Visualización resultados antes de procesar	60
Tabla 5.- Tabla comparativa de características de los materiales plásticos, resina o cerámica para impresión 3D.....	89
Tabla 6.- Dimensiones y comparación costes entre distintos posibles suministradores (costes a 12/04/2014).....	92
Tabla 7.- Vista de las escenas principales creadas para la animación 3D	95
Tabla 8.- Descripción sobre creación de escenas de animación 3D con 3ds Max.....	97
Tabla 9.- Descripción sobre la edición de escenas con After Effects	104

1 Introducción

Tras cada decisión o elección es probable que exista una historia subyacente que no siempre se da a conocer. En este caso creo que la historia que hay detrás de mi elección a desarrollar este tema, sobre el proceso de captación de imágenes 3D hasta su impresión también en 3D, puede ayudar a entender qué me ha impulsado a ello, el porqué de todo y cuáles son mis objetivos a alcanzar.

1.1 Puntos de partida

Se indica puntos de partida, en plural, ya que existen dos de ellos: un punto de partida inconsciente y uno consciente.

Fue de forma inconsciente lo que me llevó a clasificar con un “me gusta”, tan usado hoy en día en las redes sociales, por no decir impresionante la participación de Ben Kaycra en TedTalks² hablando sobre “Maravillas de la antigüedad capturadas en 3D” [1] en la cual explicaba como capturar en imágenes 3D los monumentos antiguos y de alguna forma hacerlos más perdurables y posteriormente la de Lisa Harouni con el título “Una introducción a la impresión 3D” [2] disertaba sobre la accesibilidad y posibilidades de esta tecnología.

Ya de una forma consciente y con un creciente interés me mantuve alerta de las intervenciones en el blog de Enrique Dans³ (del que soy seguidor desde hace algunos años) sobre temas relacionados.

Poco a poco fueron publicadas entradas como: “Consolidando el panorama en impresión 3D” [3], “Impresoras 3D: el estado de la cuestión” [4], “Modelado 3D: un panorama confuso” [5], “Avanzando en impresión 3D: más pequeñas, más baratas, más sencillas, más...” [6], “Un mundo fotocopiable” [7] y un suma y sigue demostrando la actualidad del tema.

1.2 Evaluando posibilidades

Ya en el proceso de decisión sobre el tema a tratar en este trabajo y buscando información sobre diversas posibilidades es cuando va cuajando la idea de reunir la adquisición en 3D de elementos reales para llegar a obtener elementos impresos también en 3D.

Es en este punto donde empiezo a descubrir cámaras como Kinect⁴ que están económicamente al alcance del usuario particular así como publicaciones interesantes sobre cámaras e impresoras 3D como los artículos publicados en la revista digital Make⁵.

² TED Ideas worth spreading (<http://www.ted.com/>)

³ El blog de Enrique Dans (<http://www.enriquedans.com/>)

⁴ Kinect for Windows (<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>)

⁵ Make (<http://makezine.com/category/workshop/3d-printing-workshop/>)

1.3 Decisión final

Visto el número de publicaciones disponibles en cuanto a la captura de imagen y otras tratando las novedades en el mundo de la impresión 3D, se considera interesante, aportar una descripción práctica del proceso completo explicando el tratamiento a aplicar a los datos de la adquisición hasta disponer de los ficheros preparados para ser impresos. Con ello se documentarán posibilidades, dificultades y soluciones hasta conseguir un elemento real a partir de un elemento real de origen, También se decide ampliar el trabajo con la descripción del proceso para disponer de los elementos digitalizados preparados para animación 3D y Realidad Aumentada.

Para ayudar a convencernos de la utilidad del desarrollo de este manual práctico tanto para los posibles lectores como a nivel personal, se pone como ejemplo un artículo en la BBC titulado “Se avecina una revolución más grande que la de internet” [8] ,aparecido justo mientras se escribían estas líneas, donde aparte de la contundencia o exageración del titular puede verse como incluso la prensa generalista se hace eco de las posibilidades de la tecnología de impresión 3D. En este artículo Matthew Wall cita algunos ejemplos de algunos casos específicos que hacen uso de esta nueva tecnología y menciona comentarios tales como *"Se trata del espacio físico, no del virtual. Y ya está recreando al mundo"* o *"La nueva tecnología le permite a un individuo como yo ser independiente y crear una microempresa"*.

Tal como el artículo mencionado en el párrafo anterior otros siguen y seguirán publicando y en disciplinas de lo más dispares tal como la medicina. Ideas como las que surgen en las jornadas del Barcelona Challenge 2020 donde Salim Ismail, director y fundador de la Singularity University, planteaba *"¿Se imaginan cuando se pueda imprimir un riñón?"* [9]. Siguiendo con aseveraciones como *“Estamos digitalizando el mundo. Y el mundo se está desmaterializando. Estamos conectando y reconectando el cerebro continuamente. Vamos a cambiar el mundo”* e incluso algunas posibilidades que se divisan en el futuro *“Y puso sobre la mesa el caso de las impresoras en 3D, como estas máquinas han abaratado su coste, a la vez que han aumentado las prestaciones. Ahora cuestan dos mil euros, pero es que nos permiten moldear y se pueden utilizar 70 materiales diferentes. Se puede hacer comida. Si quieren ser chefs, pueden quedarse obsoletos en muy poco tiempo. ¿Una bicicleta? Se puede imprimir, ensamblarla y utilizarla minutos después”*,

La diversidad de oportunidades, tanto creativas como económicas que están en camino, son extraordinarias.

Cuando evaluaba las posibilidades intentando definir hacia donde enfocar mi Treball Fi de Grau encontré un video en la página web de Origo⁶ en el cual muestra como un niño primero imagina y luego juega con el juguete que ha imaginado tras haberlo imprimido. No hay duda que fue un punto más en la toma de la decisión final.

⁶ Video de Origo (<http://www.origo3dprinting.com/>)

2 Descripción

El TFG consiste en la elaboración de una descripción práctica que abarcará la adquisición de una forma 3D para que tras la obtención de la nube de puntos se traten los datos obtenidos para disponer de una imagen virtual 3D que nos permita imprimirla en 3D obteniendo un nuevo elemento real tras la adecuada preparación de los ficheros que admita la tecnología de impresión 3D.

Se hará un particular desvío paralelo en el proceso de forma que se describirá también el procedimiento para disponer de una imagen virtual en 3D que nos permita tanto su Animación como su utilización en un entorno de Realidad Aumentada,

Con este TFG se pretende ir paso a paso descubriendo las tecnologías al alcance de usuarios particulares y sin costes excesivos evitando tratar tecnologías de laboratorio o sólo accesibles a grandes empresas dedicadas al sector.

Hay consciencia que se afrontarán problemas a resolver, posibilidades adyacentes a comentar, decisiones que tomar. Con todo ello quedará un documento abierto a mejorar ya que el tema que se aborda está en plenas ebullición siendo el entorno cambiante con nuevas soluciones y posibilidades surgiendo.

Se entiende que el reto es importante y la finalidad es llegar a disponer de una documento descriptivo y útil para el usuario que esté dispuesto a seguir el proceso y que disponga de una guía para abordarlo de forma que pueda culminarlo con éxito aunque en el camino deba proceder a aplicar algunos cambios debidos a la constante evolución de la tecnología relacionada al proyecto que se emprende.

Con la finalidad de disponer de un esquema claro del TFG se dividirá su contenido en partes que se tratarán de independizar al máximo una de otra, de forma que el lector pueda usar sólo la parte en la que esté interesado ya que hay conciencia de que no siempre el interés de enfoque al ciclo completo.

La parte en la que se divide el TFG son:

- Investigación general. Que nos llevará a definir una línea a seguir en el proceso completo.
- Proceso de adquisición de imágenes 3D.
- Tratamiento de los datos obtenidos.
- Preparación de la información para impresión 3D y obtención de elemento 3D

Y las secciones adicionales:

- Tratamiento de datos obtenidos para su utilización en Animación y Realidad Aumentada
- Realización de una animación 3D y un ejemplo en Realidad Aumentada

3 Objetivos

Se opta por prescindir de la clasificación de los objetivos en principales y secundarios para evitar confundir al lector de forma errónea al poderse entender que algunos de los puntos que se indican pudieran carecer del interés necesario o que se han tratado reduciendo su importancia.

Se ha preferido listar los objetivos por clases según los niveles del contexto que se trata.

3.1 Objetivos generales

Los objetivos generales claves que se consideran son:

- Elaboración de un documento en que los procesos descritos se prueben y sean asequibles al usuario de esta guía práctica.
- Generar un resultado lo más claro posible y que genere interés en la tecnología que se usa.
- Conseguir la descripción de un proceso lo más actualizado posible aun cuando es conocida la variabilidad actual del tema que se trata.
- Crear una guía de consulta útil a utilizar como herramienta.
- Evitar incluir descripciones correspondientes al procedimiento principal no probadas.

3.2 Objetivos específicos

Hay objetivos que pueden adaptarse aun sacrificando parcialmente los objetivos generales cuando ello conlleve una mejora del resultado final o se traduzca en una ventaja para lector en el proceso que se describe:

- Uso de software libre cuando sea posible
- Facilidad del proceso siempre que no sea perjudicial en alto grado a la calidad del resultado
- Uso de dispositivos asequibles económicamente y disponibles en el mercado.
- Plantear vías o soluciones paralelas a la solución principal que aun cuando no se desarrollen queden lo mejor informadas posibles en contenidos que se indiquen.
- Introducir posibilidades futuras.

3.3 Objetivos personales

Además de los objetivos indicados el autor se permite introducir algunos objetivos personales:

- Mantener un buen grado de aprendizaje a la vez que se se avanza en el proceso.
- Poder experimentar cuanto sea posible, descubriendo nuevas posibilidades.
- Entender y asimilar lo mejor posible nuevos conceptos como por ejemplo profundidad física de una imagen, nube de puntos, etc. que no han sido tratados en el Grau de Multimèdia.
- Poder satisfacer los requisitos de la UOC para poder aprobar el TFG de forma satisfactoria. Ello puede conllevar en alguna ocasión a desestimar para otro trabajo posterior algún punto de interés que no se pueda abordar debido a causas de coste, tiempo o complejidad.

4 Metodología y enfoque

La metodología a seguir se basa en avanzar paso a paso a través del proceso de digitalización de una pieza 3D hasta su impresión también 3D.

Las fases que se consideran para ello son:

- Búsqueda de información tanto sobre procedimientos descritos que sean útiles al propósito del proyecto como de los dispositivos disponibles.
- Valorar distintas posibilidades que ayuden a definir un proceso troncal. Se valorarán y se tomarán decisiones basadas en parámetros tales como facilidad, accesibilidad por parte del lector a las diversas soluciones alternativas y coste del equipo involucrado.
- Decidir que pieza o piezas, elegida entre varias propuestas, se usará en el desarrollo del ejemplo práctico.
- La evolución será gradual al ir consiguiendo los resultados base para ir avanzando a la siguiente fase.
- La investigación, seguida de definición para pasar al desarrollo y posterior prueba será el método clave a seguir.
- Será necesario rectificar, pulir, modificar y adaptar procesos existentes parcialmente hasta disponer de uno global.
- El aprendizaje mediante el método prueba-fallo será primordial y es interesante documentarlo.
- El resultado final se habrá logrado cuando se dispongan de dos piezas similares, la de origen y la creada, y puedan mostrarse conjuntamente (real o virtualmente).
- Aunque en el caso de Animación 3D y de Realidad Aumentada, cuyo proceso de hará como prolongación del proceso base no generará una pieza real sino que ese mostrará un corta animación y un sencillo desarrollo en R.A.

5 Marco teórico/Escenario actual

Con el fin de establecer el estado actual de desarrollo y utilización que concierne al usuario común se ha realizado una investigación documental.

5.1 Fuentes de información

Se ha llevado a cabo una extensa búsqueda en libros y en Internet sobre el tema del TFG enfocándose en la forma de cómo llevar a término el escaneo, el tratamiento de la imagen obtenida y su impresión 3D.

Con respecto a la información obtenida es importante resaltar las fuentes que se relacionan a continuación que a su vez han servido de base al desarrollo de este trabajo:

- Magazine MAKE [10] [11]
 - Interesante revista dedicada a Ciencia y Tecnología que en su número de Febrero del 2013 dedicó su contenido a escaneo y a impresión 3D.

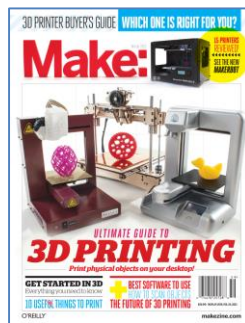


Figura 1.- Portada revista MAKE Febrero 2013

En dicho número han sido de especial utilidad los artículos:

- Skill Builder: 3D Scanning (Anna Kaziunas)
 - Cleaning and Repairing Scans for 3D Printing (Anna Kaziunas)
 - 3D Scanning at home (Sean Ragan)
- Make things see. [12]
 - Libro de Greg Borenstein que trata técnica y conceptualmente la forma de trabajar con Processing y el escáner Kinect. Incluye desde el proceso de instalación de las librerías necesarias, descripción del trabajo con el concepto del nuevo parámetro de profundidad de la imagen pasando a trabajar con vectores y nubes de puntos. A destacar su capítulo 5 sobre Escaneo y Fabricación en el cuál desarrolla el tratamiento de mallas.



Figura 2.- Portada libro: Making Things See

- Getting Starting with MakerBot [13]
Aparte del tema principal centrado en la impresión 3D con MakerBot, dedica su capítulo 9 al Escaneado 3D mediante la descripción de cómo capturar imágenes mediante cámara fotográfica digital para ser tratadas posteriormente para prepararlas para su impresión 3D y también trata el escaneado 3D para posterior impresión 3D tras su tratamiento.



Figura 3.- Portada libro: Getting Started with MakerBot

- Website de Daniel Shiffman [14] [15]
En esta website Daniel Shiffman incluye una guía muy útil sobre Processing así como el uso de la librería Open Kinect para Processing.

5.2 Diversas posibilidades actuales de escaneado / impresión 3D

Siempre centrados en tecnologías que puedan estar al alcance de los usuarios normales y no sólo disponibles para usuarios especializados, una vez analizada la información mencionada en el párrafo

anterior se ha llegado a la conclusión de los métodos más habituales usados actualmente y que se han resumido en la imagen que se presenta a continuación.

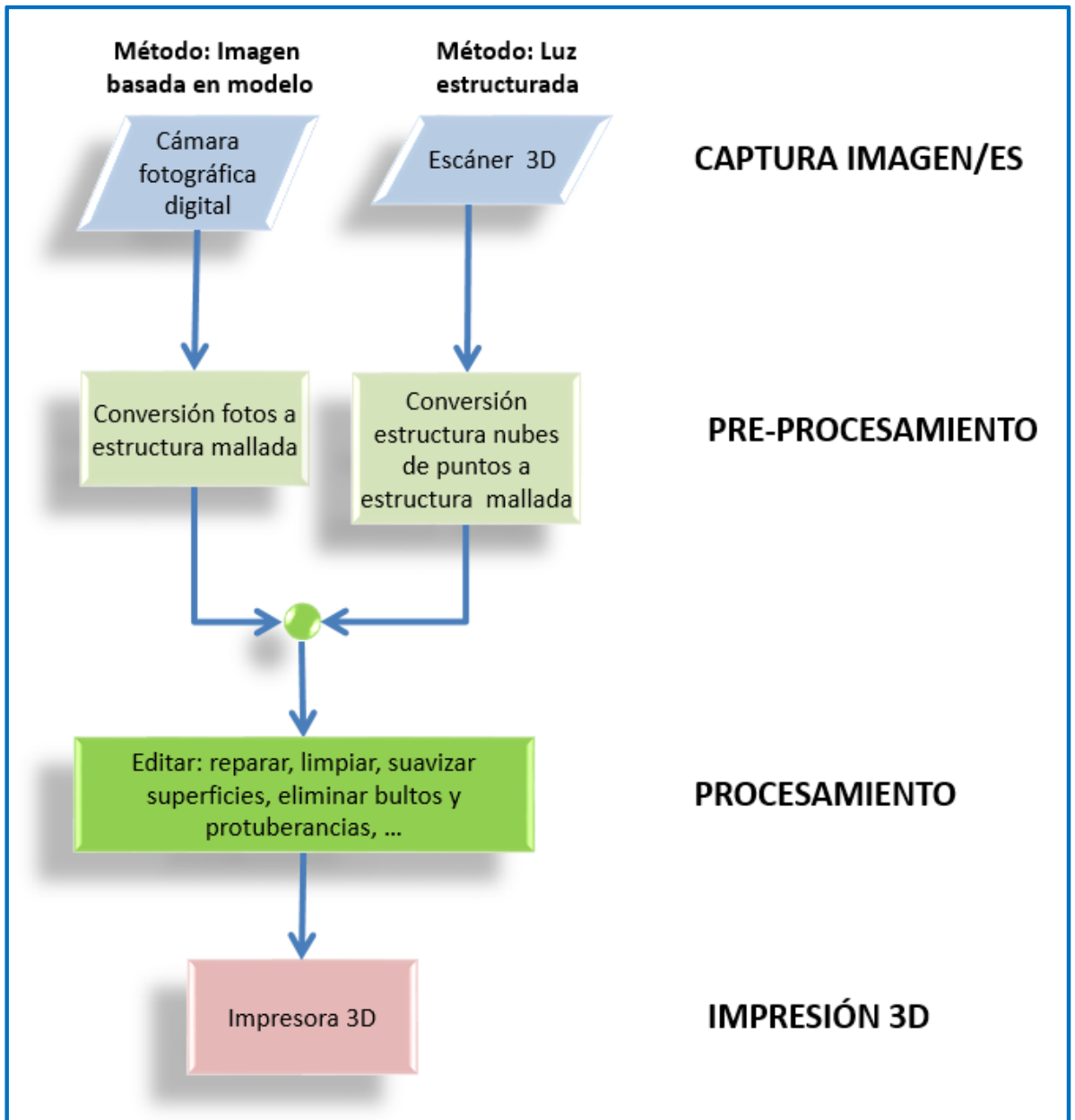


Figura 4.- Gráfico representativo de los métodos de captura y proceso desde el escaneado hasta la impresión 3D

En el gráfico anterior no se ha incluido el escaneado por láser, que no será tratado en este trabajo, al no ser uno de los procedimientos usados de forma más frecuente según la información consultada.

Usando la misma estructura del gráfico anterior introducimos las herramientas y software más usual para cada una de las etapas obtenemos:

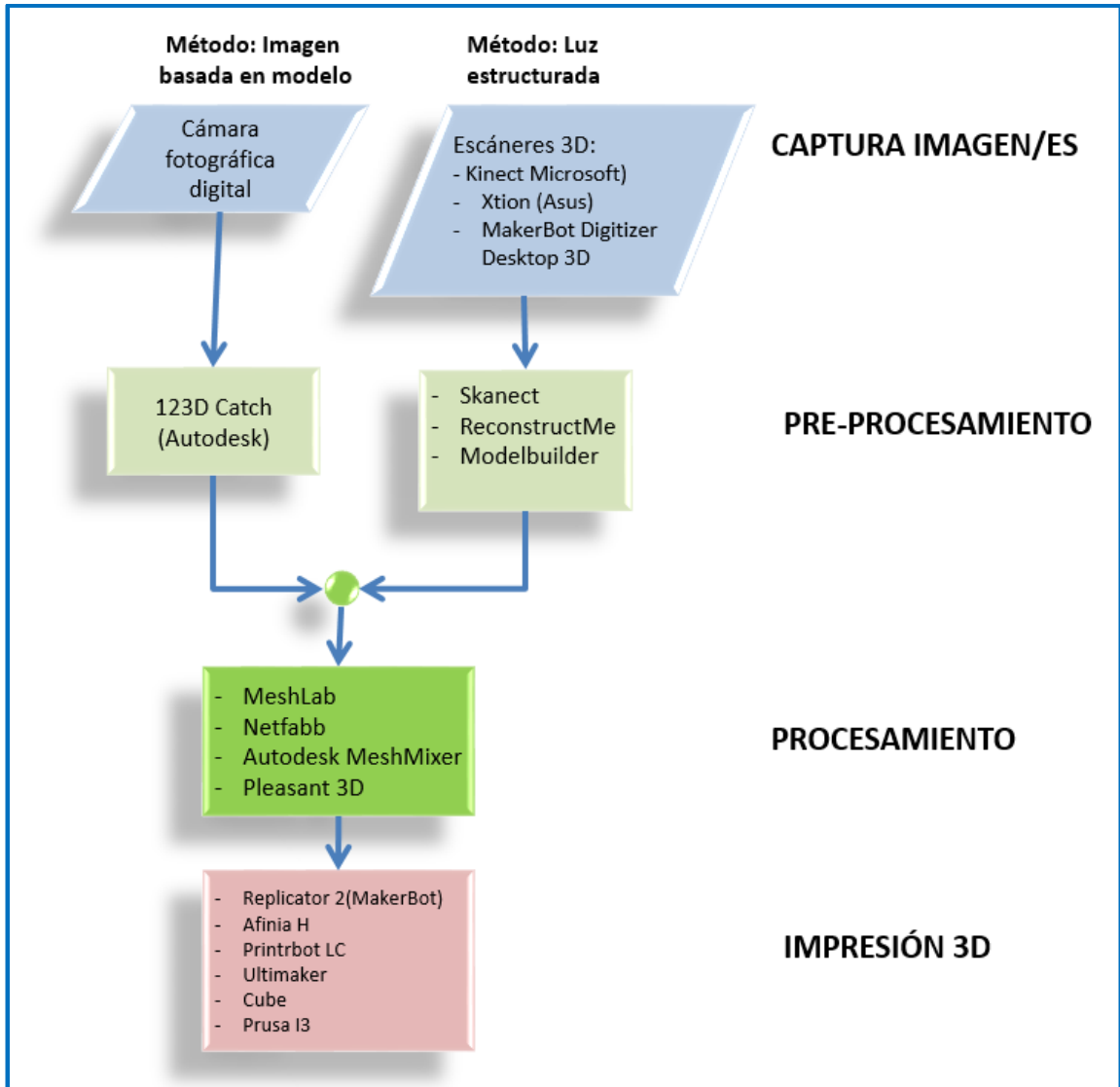


Figura 5.- Gráfico representativo de las herramientas y software de captura, proceso e impresión 3D

En el capítulo que más adelante se dedica a “Descripción hardware y software utilizados” se han descrito brevemente las herramientas arriba mencionadas.

6 Proceso de trabajo

Siguiendo la Metodología definida en el capítulo “Metodología y enfoque” se llevará a cabo tres procesos distintos desde la captura 3D del objeto elegido hasta disponer del modelo reparado y editado quede preparado para ser enviado a un servicio externo de impresión 3D.

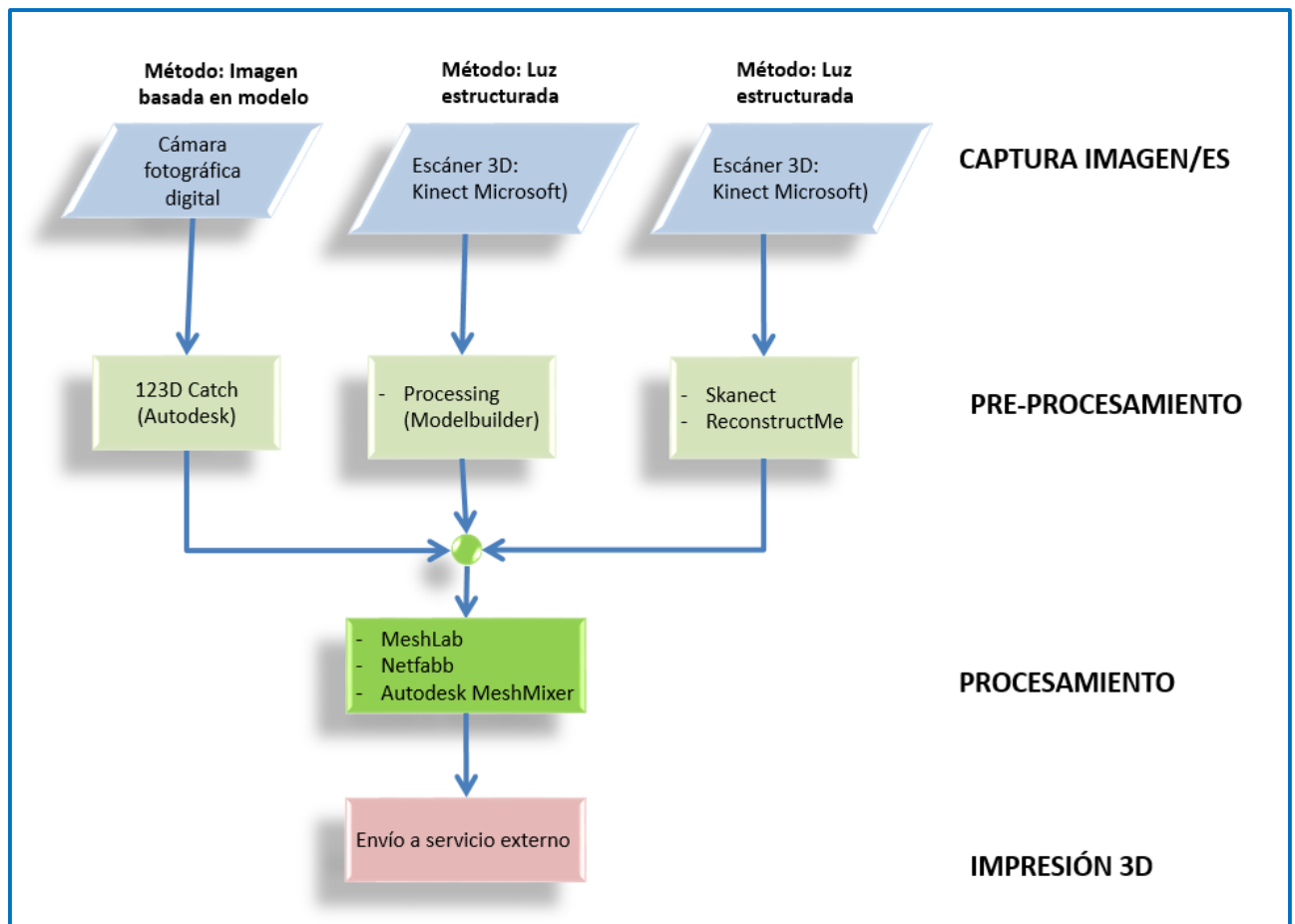


Figura 6.- Flujo de trabajo de las tres opciones a desarrollar en el proceso desde captura hasta impresión 3D

Se han elegido tres procesos distintos que se han considerado lo suficientemente distanciados entre sí. El primer proceso se basa en la captura de fotos digitales para que tras ser procesadas por el servicio de Autodesk, en la nube, 123D Catch podamos editar la información del modelo 3D y ésta se pueda usar para su impresión y/o posteriormente para otros usos 3D.

En segundo lugar usamos el escáner 3D para obtener una nube de puntos y poder tratarlos mediante Processing. De hecho este proceso será el menos destinado a los usuarios generales pero sí que tiene un alto valor didáctico para entender el procedimiento que se utiliza y que otros softwares realizan de forma opaca al usuario. Se tratarán conceptos como nubes de puntos y el parámetro de profundidad de la imagen. El resultado final será lógicamente más pobre (ya que tendrá algunas caras planas) pero mucho más inteligible sobre lo que se está haciendo.

Y por último se llevará a cabo el proceso con dos de los programas más populares tal como son Skanect y ReconstructMe. Se analizará su forma de utilización y se indicará cuál de ellos es más útil en nuestro caso particular.

En los tres procesos se utilizarán los programas MeshLab, Netfabb y MeshMixer para arreglar los resultados de las capturas. Se usarán las mejores utilidades de cada uno de ellos según sea conveniente.

Tras todos los procesos se hará una comparación tanto de utilidades como de resultados. Se imprimirán los mejores resultados obtenidos..

7 Planificación

El Proyecto se ha llevado a cabo en dos cuatrimestres en base al tiempo de dedicación disponible y a la extensión temática ya que se ha abarcado desde la captura del modelo 3D, su reparación utilizando diversos softwares, impresión y aplicación en animación 3D y Realidad Aumentada. Sin olvidar las animaciones en 3D y edición de video llevadas a cabo para mostrar la analogía del proceso de forma comprensible.

El TFG se inicia el 21 de Septiembre de 2013 finalizándolo el 24 de Junio de 2014.

El trabajo con se ha dividido en varias etapas principales (con sus correspondientes tareas) .

Se han añadido también varios reportes al consultor entre las PACs oficiales.

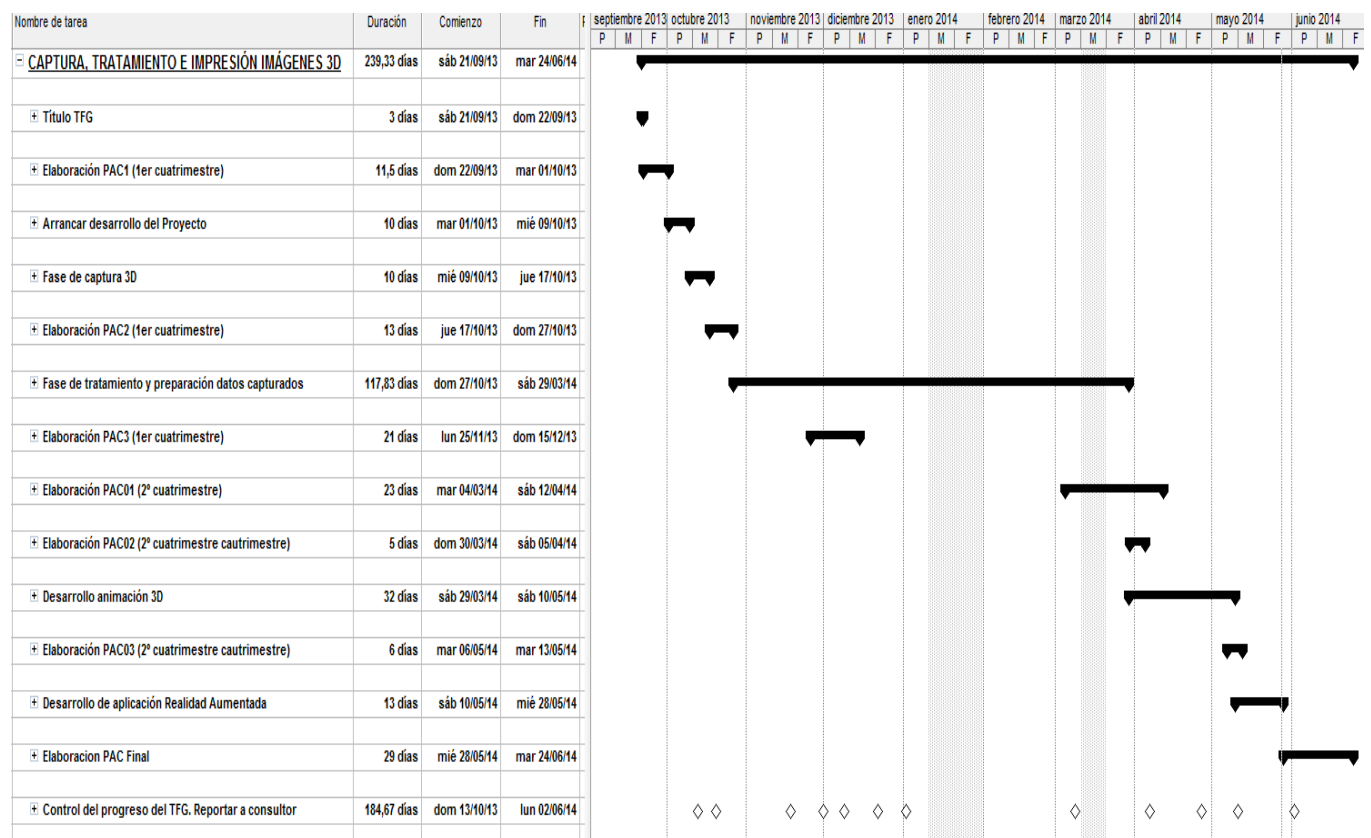


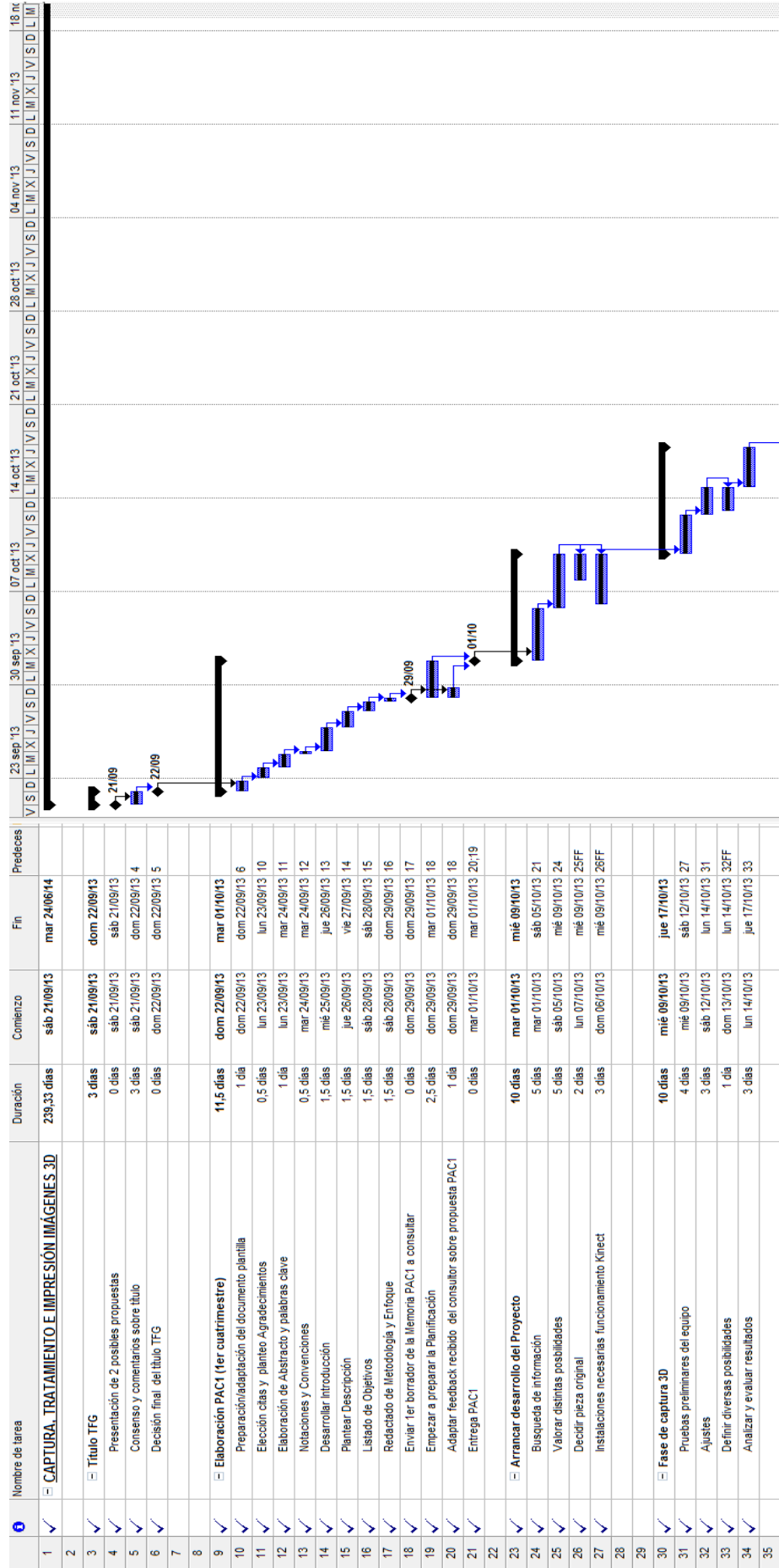
Figura 7.- Diagrama de Gantt de las etapas principales del TFG

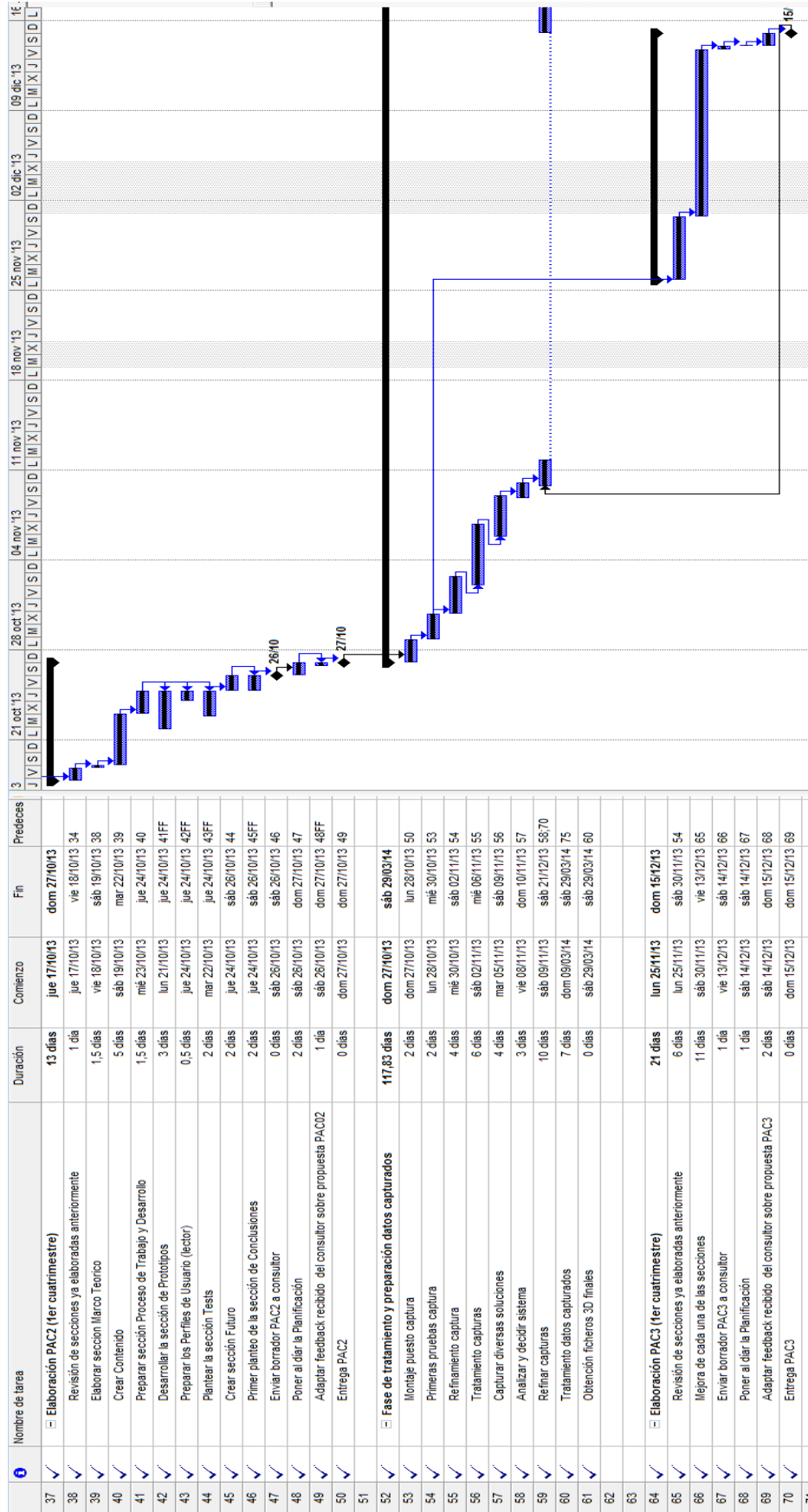
El horario que se ha aplicado es de 18 a 21h en días laborables y de 9 a 13h y 18 a 21h en sábados.

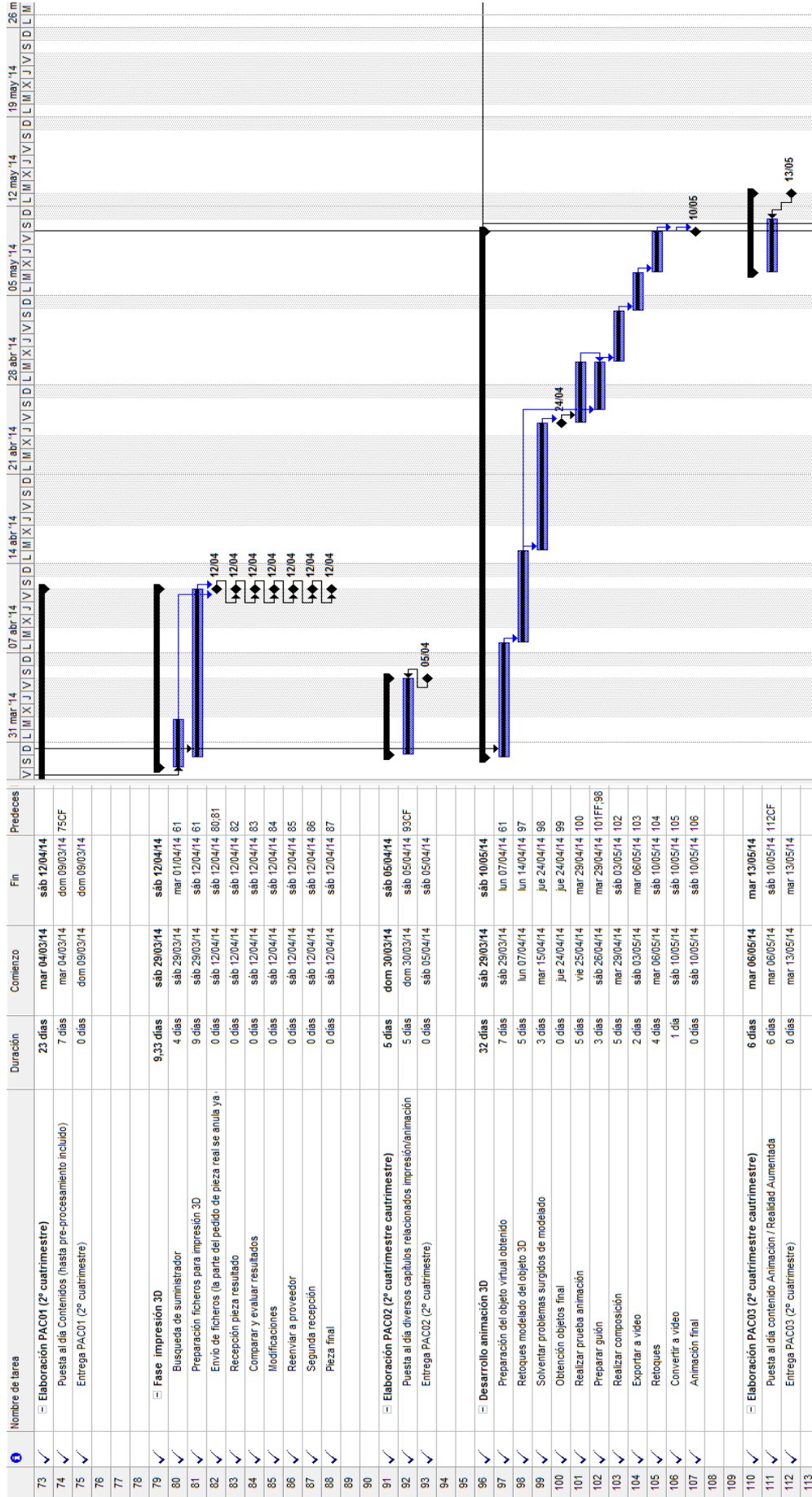
Se han marcado como día festivos los días que el autor del TFG estaba ausente debido a motivos profesionales,

Por lo tanto la dedicación parcial ha afectado en un alto grado a la duración del TFG.

En las figuras de las páginas siguientes se muestran imágenes obtenidas de Microsoft Project (diagrama de Gantt) correspondientes a la planificación realizada.







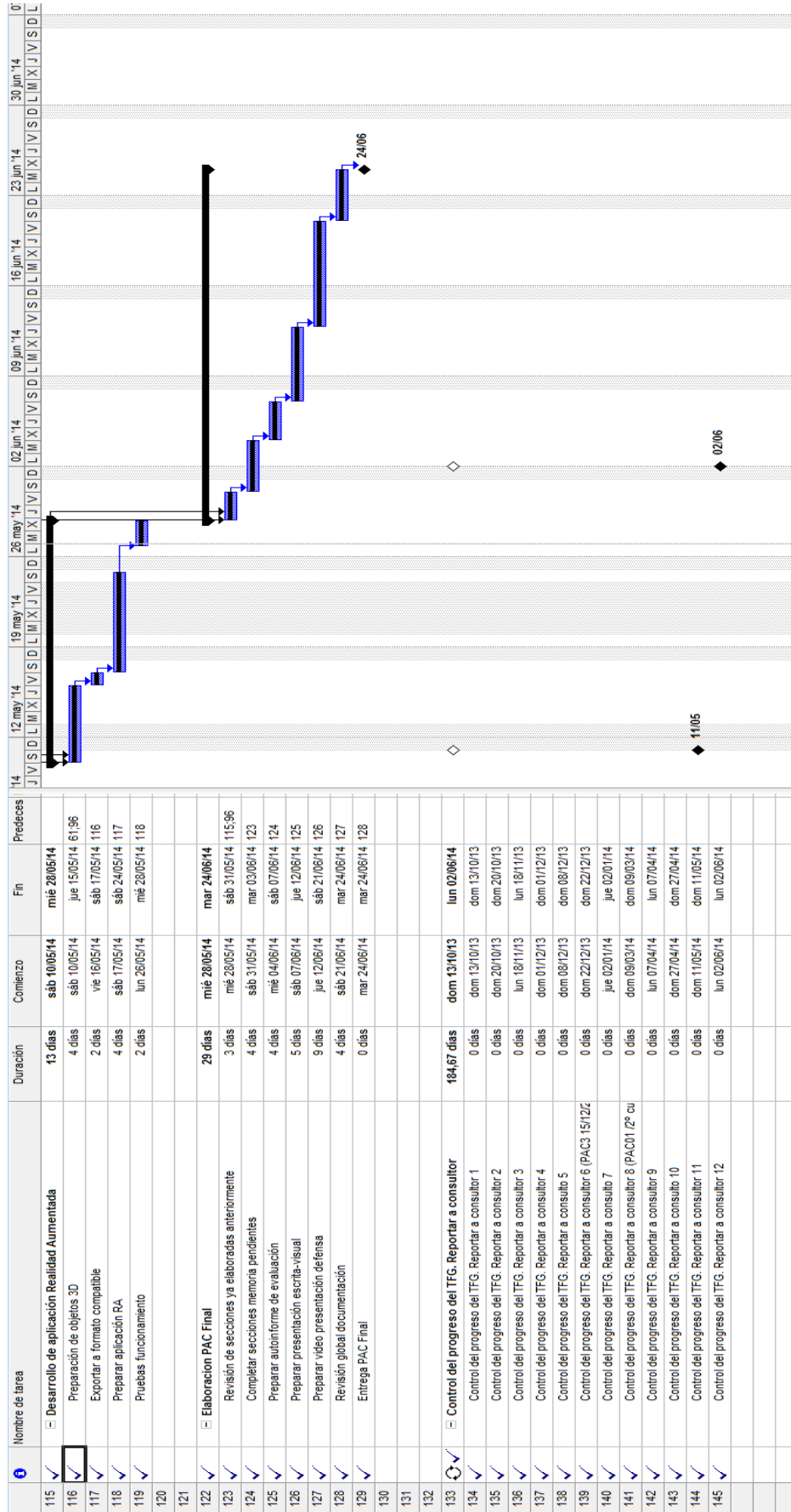


Figura 8.- Imágenes obtenidas de Microsoft Project con el diagrama de Gantt del TFG

8 Desarrollo

Se dividirá esta sección en las subsecciones que a continuación se indican, que corresponden a cada una de las partes que componen el proceso total descrito en capítulos anteriores:

- Captura y pre-procesado
- Procesado
- Impresión 3D

Además se añaden dos subcapítulos más, que ya se han mencionado más arriba, correspondientes a aplicaciones adicionales con el resultado obtenido tras llevar a término el proceso de captura de imagen 3D y su procesado:

- Animación 3D
- Realidad Aumentada

Dado que se han varias posibilidades de captura y procesamientos, se dividirá cada sección según corresponda para tratar dicha diversidad.

8.1 Descripción de las piezas a escanear

Se han escogido dos piezas distintas.

La primera de ellas se trata de una figura convencional: un búho decorativo que a partir de aquí en adelante denominaremos “mussol”.



Figura 9.- Pieza convencional: "mussol"

Y la segunda es una bicicleta de paseo a escala que denominaremos “bici”:

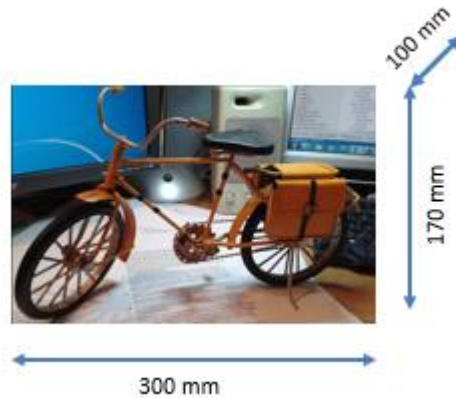


Figura 10.- Pieza "bici"

Podemos adelantar que esta segunda opción bici se ha escogido para chequear la problemática que conlleva es escaneo de piezas con “poca geometría” ya que algunas de las partes que la componen tienen un diámetro de 1 a 3 mm lo cual representará un hándicap para el escáner 3D. No se prevé obtener resultados tan correctos con la pieza convencional pero de este estudio veremos cuál de los métodos se acerca a un resultado más aceptable.

8.2 Captura y pre-procesado

8.2.1 Captura y pre-procesado con Processing

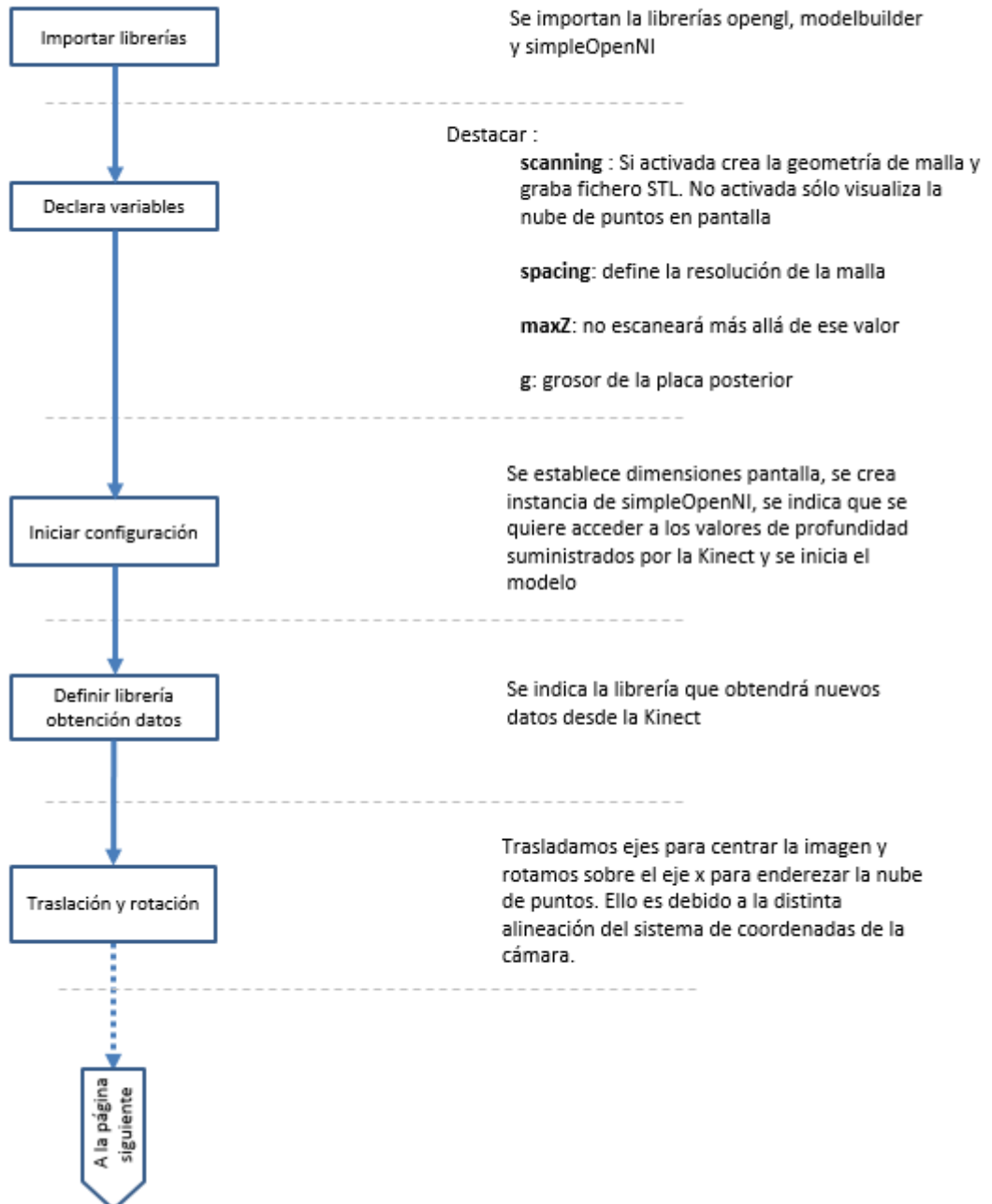
El código de programación en Processing que se puede encontrar más adelante en este documento, (concretamente en el Anexo titulado “Código Fuente”) lo que realiza al ejecutarse es, explicado de una forma sencilla, captar coordenadas “x” e “y” proyectadas en un plano relacionándolas con la coordenada de su profundidad. Para ello utilizamos la cámara Kinect (ver descripciones en el apartado de Hardware utilizado) a la que le indicamos que haga barridos almacenando las ternas (x,y,z).

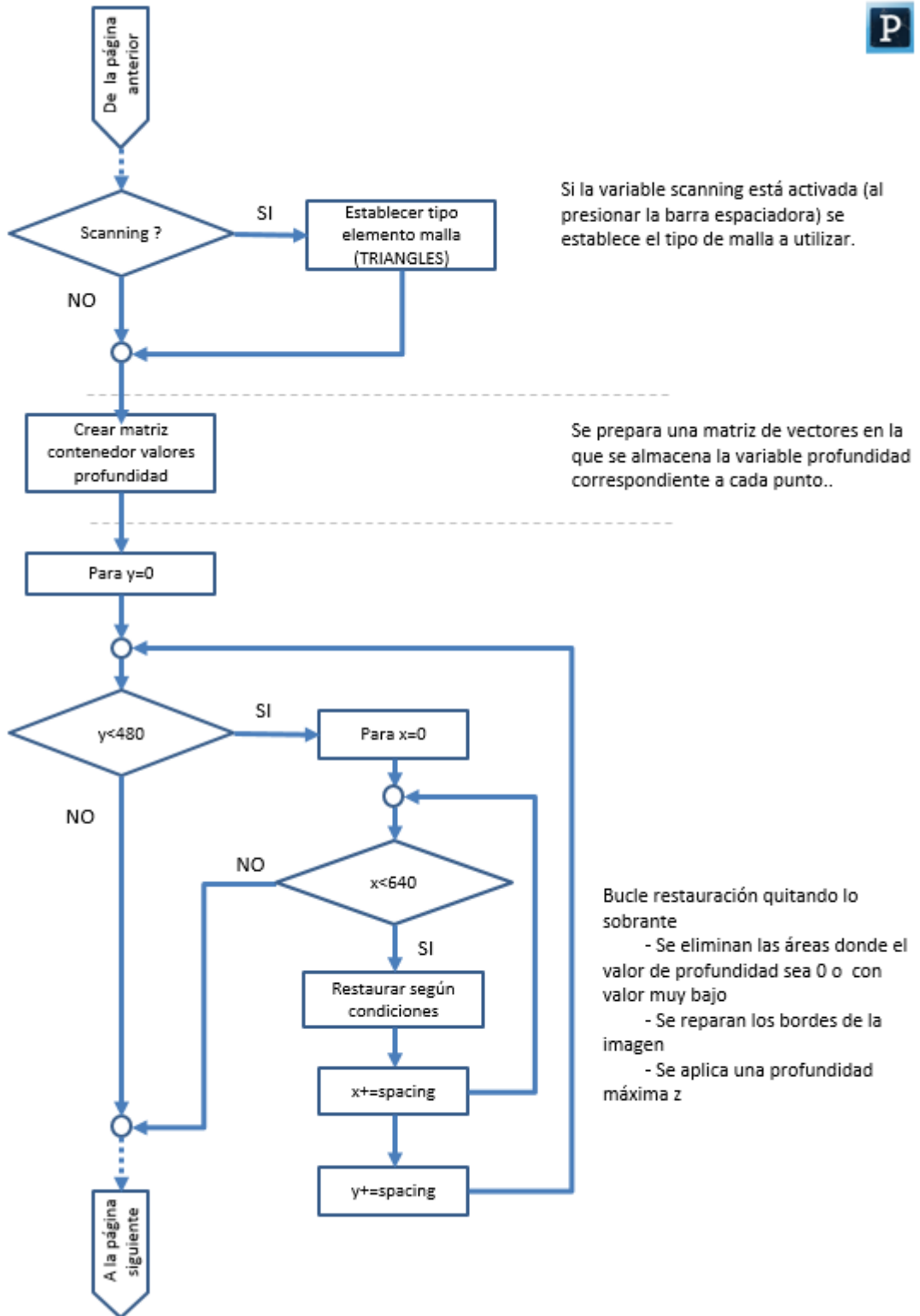
Se dispone de dos rutinas separadas dependiendo de si sólo mostramos el resultado en pantalla o bien procedemos al escaneado y grabación de fichero STL.

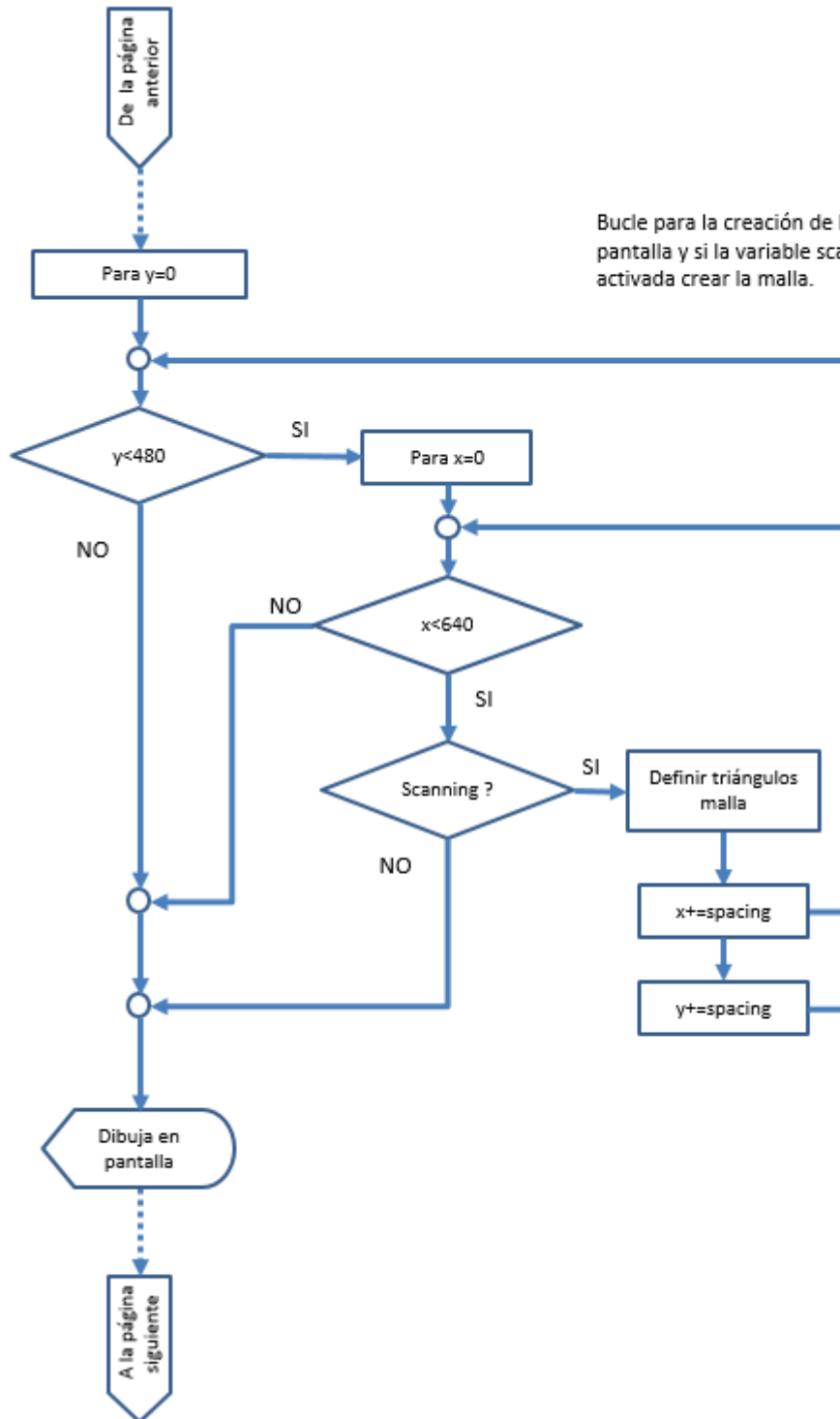
Al efectuar la función de escaneado se incluye en el proceso una limpieza y reparación del resultado obtenido así como la inserción de una placa posterior en la imagen escaneada.

8.2.1.1 Flujo programa de Processing.

Con el fin de clarificar el proceso con mayor detalle se presenta el siguiente diagrama de flujo que complementa a los comentarios insertados al propio código de programación que tal como se ha indicado se ha incluido en un anexo de este documento.







Bucle para la creación de la imagen en la pantalla y si la variable scanning está activada crear la malla.

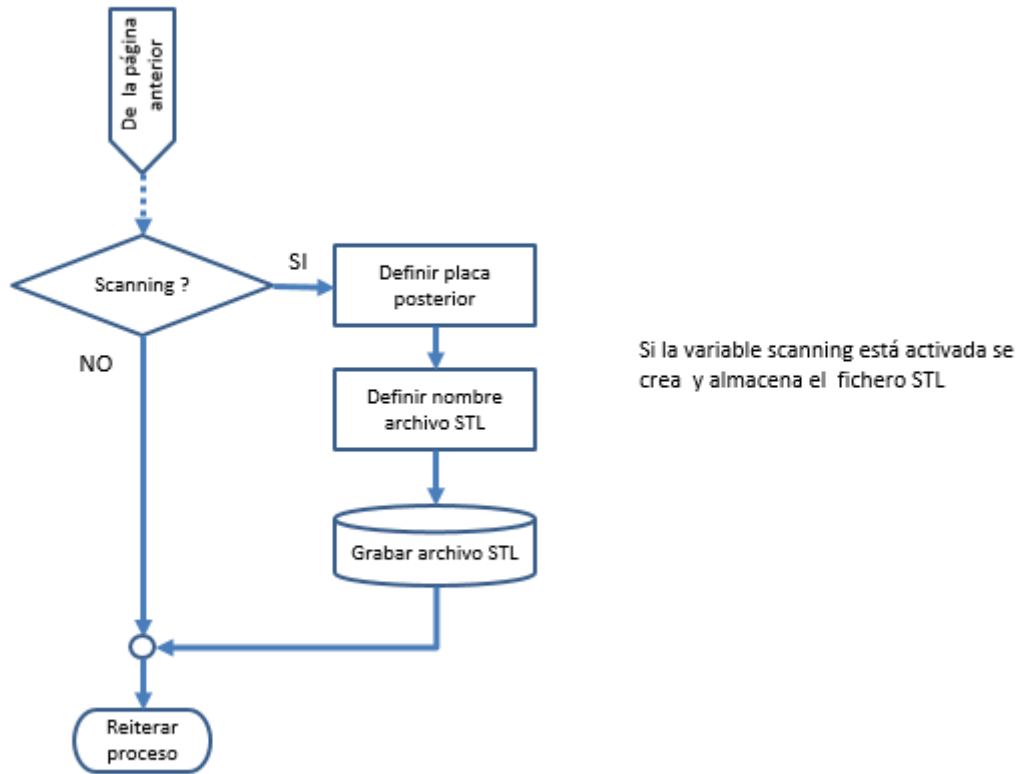


Figura 11.- Diagrama de flujo general del programa de captura de imagen 3D, en Processing

8.2.1.2 Clarificación de algunos conceptos importantes

Anteriormente en esta sección se ha mencionado que se llevaba a cabo una proyección de puntos, creación de mallas triangulares y un proceso de limpieza.

En este punto es conveniente aclarar algunos conceptos fundamentales aunque no se entre en profundidad en ellos.

Proyección

En la figura siguiente se muestra como los puntos son proyectados sobre el plano imagen. Por lo tanto a cada punto real (P) le corresponde una proyección (P') en el plano imagen. A cada pareja de puntos proyectados (x,y) en el plano imagen se le asociará un valor de profundidad (z)

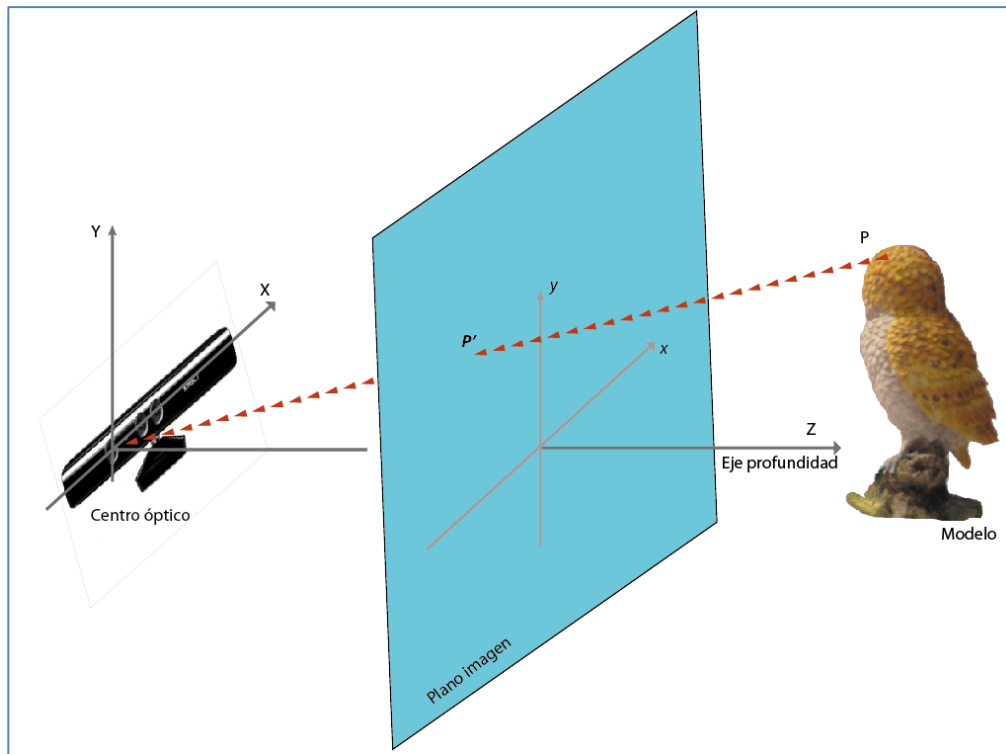


Figura 12.- Diagrama representación proyección puntos

Creación de las mallas

En el programa se indica que el tipo de malla será un triángulo. Se construyen dos triángulos (con los valores z de profundidad) entre cuatro puntos contiguos según su posición (x,y) en el plano imagen de forma que comparten uno de los lados.

En la figura siguiente pueden verse los dos triángulos.

En el programa de Processing se han denominado a los cuatro puntos siguiendo una convención "geográfica" de la forma que seguidamente se describe y que si consideramos que NW sea el punto que nos ocupa y siendo "spacing" el valor definido de la resolución de la malla (distancia entre dos puntos rastreados):

NW (North West) = punto actual (x, y)

NE (North East) = (x+ spacing, y)

SW (South West) = (x, y+ spacing)

SE (South West) = (x+ spacing, y+ spacing)

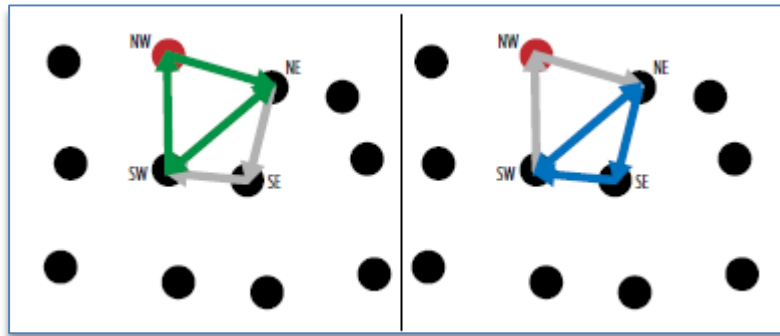


Figura 13.- Los dos triángulos que se forman conectan los puntos con sus contiguos (figura extraída de Making Things See)

Limpieza

Tras escanear la imagen, aparecen áreas con puntos cuyos valores de profundidad z es muy bajo. Se trata de puntos cercanos a la cámara, que toman valores muy pequeños de z y ejercen de “sombra” de los puntos más alejados.

El problema aparece al querer crear la malla y un punto con la terna de valores correcta debe conectarse a un punto con un valor leído de profundidad (z) muy bajo que es contiguo a éste. Lo que se produce es una imagen con multitud de picos ya que se crean triángulos enlazando puntos del modelo y estos puntos con valores de z muy pequeño.

En la secuencia de figuras siguiente puede verse un ejemplo de cuál sería el resultado.

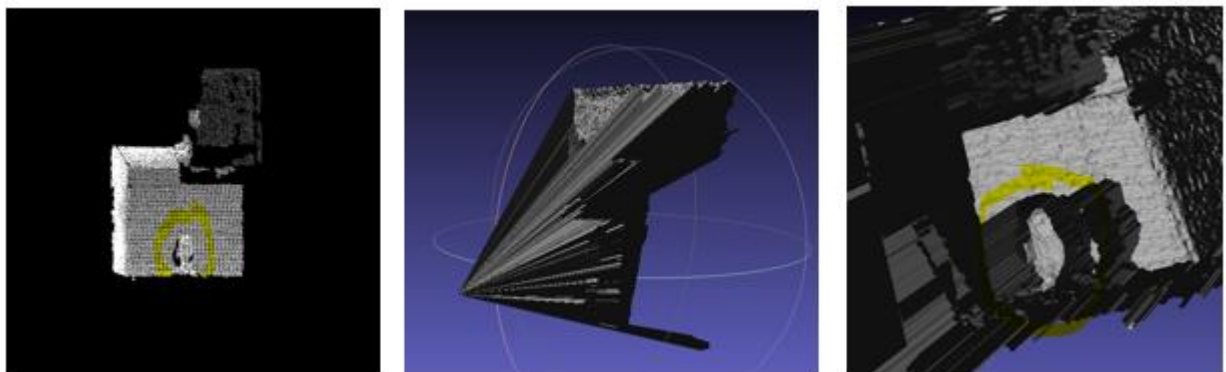


Figura 14.- Resultado captura con Processing, sin aplicar el "módulo de limpieza".

De izquierda a derecha puede verse el resultado de la nube de puntos en la pantalla (los puntos cercanos no quedan representados en la nube de puntos). Si abrimos la imagen, desde el fichero STL obtenido, con MeshLab vemos el que la triangulación tiene en cuenta las coordenadas de profundidad con valores muy pequeños y se forma una forma prismática. Pero si nos acercamos podemos descubrir la forma del “mussol”.

Lo que lleva a cabo el programa es quitar lo sobrante:

- Se eliminan las áreas donde el valor de profundidad sea 0 o muy bajo. Se detectan estos valores y se les asigna la z máxima.
- Se reparan los bordes de la imagen (con respecto al valor de profundidad) para evitar un que los puntos (aunque correctos) que enmarcarían la imagen forman una especie de caja inconstante que no es estético para el resultado final. A esos puntos se les da el valor de profundidad maxZ.
- Se aplica una profundidad máxima z que se puede definir (maxZ) aunque se elimine el fondo ambiental.

Todo ello se realiza antes del ciclo de escaneado y creación de malla.

Recordemos que se está tratando de obtener una imagen 3D de la figura “mussol” y de “bici”.

8.2.1.3 Captura y pre-procesado con Processing del “mussol”

Se lleva a cabo el montaje que se puede ver en la figura siguiente:

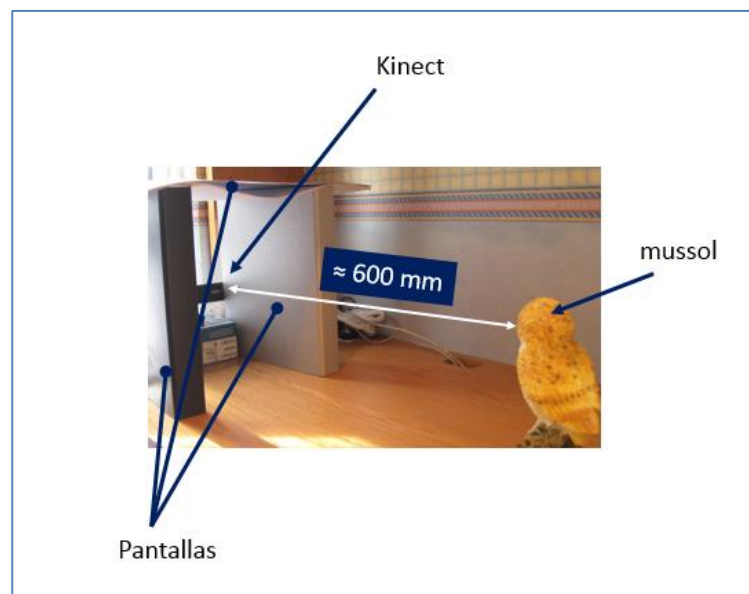


Figura 15.- Montaje escaneo mussol con Processing

Se han colocado unas pantallas alrededor de la Kinect de forma que como el código del programa le indica que los puntos con valores igual o menor a 400 les asigna el mismo valor que la profundidad máxima (donde también colocamos la placa final) el resultado es que con un haz de rastreo más cerrado captamos menos geometría no deseada.

La figura del mussol se ha colocado aproximadamente a 600mm de la cámara Kinect.

Tras lanzar el programa, lo que vemos en pantalla es:

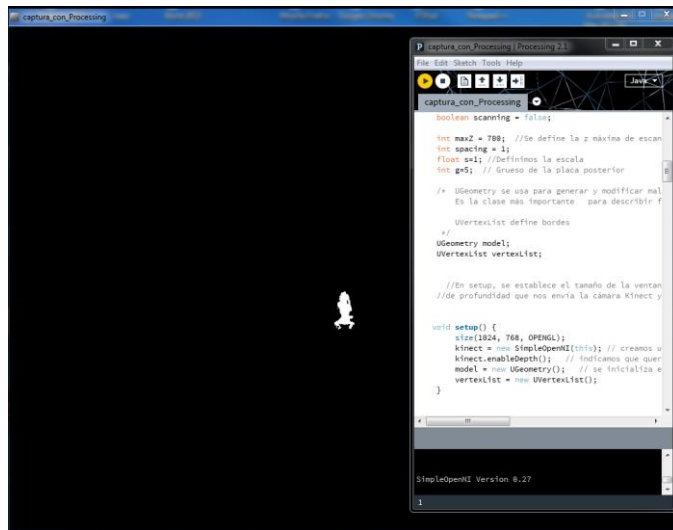


Figura 16.- Pantalla de captura de mussol con Processing

Tras comprobar que la pieza la vemos correctamente teniendo en cuenta que lo que captura queda representado en blanco (si está dentro de la distancia máxima de profundidad). Con el fin de ajustar mejor la captura, podemos variar la distancia de profundidad aumentándola con la flecha arriba y disminuyéndola con la flecha hacia abajo.

El escaneado se llevará a cabo al pulsar la barra espaciadora siendo el resultado un fichero STL (Surface-Tesselation-Language).

Si comprobamos lo obtenido abriendo el fichero, por ejemplo, con MeshLab:

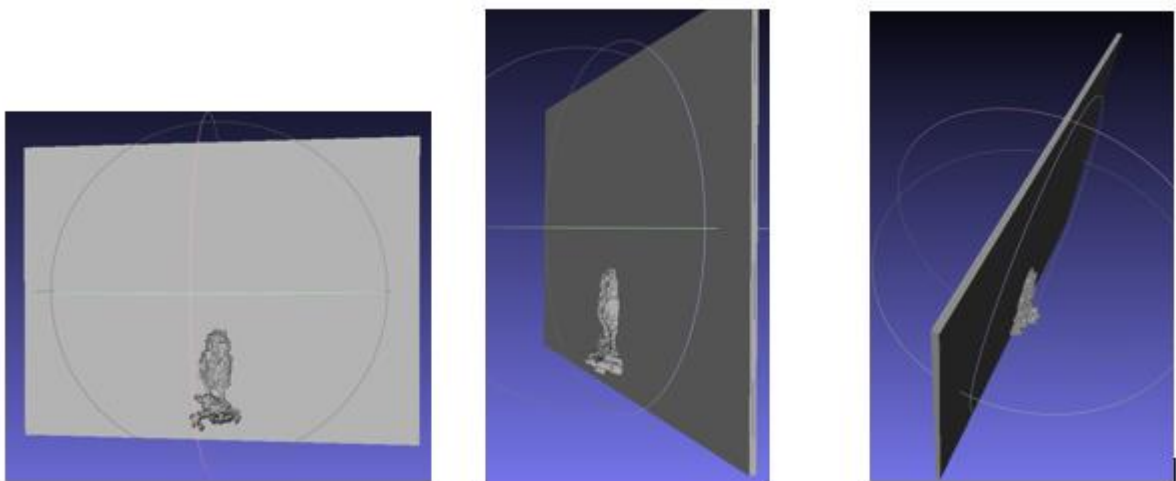


Figura 17.- Vistas con MeshLab del escaneado del mussol mediante Processing

Podemos comprobar que lo que obtenemos es una figura 3D adosada a una placa posterior.

Se deberá procesar para intentar mejorar el resultado.

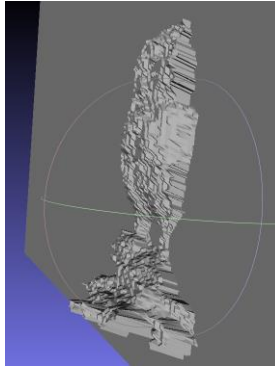


Figura 18.- Detalle del escaneado del mussol mediante Processing

8.2.1.4 Captura y pre-procesado con Processing de la "bici"

Del mismo que anteriormente efectuamos un montaje similar para la figura bici:

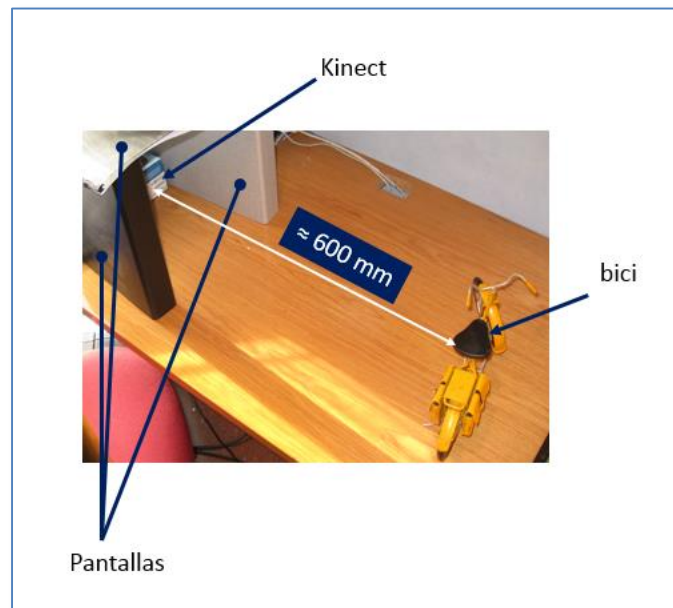


Figura 19.- Montaje escaneo bici con Processing

Y llevando a cabo el mismo sistema que en el apartado anterior podemos ver la pantalla de Processing

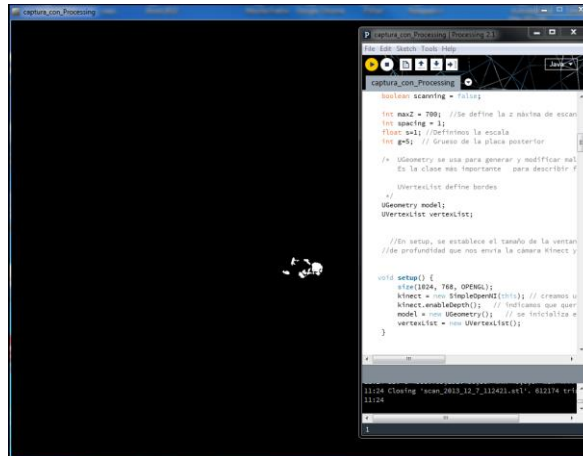


Figura 20.- Pantalla de captura de bici con Processing

Y tras pulsar la barra espaciadora y crear el fichero STL, los resultados se presentan en las figuras siguientes tras cargar la malla en MeshLab:

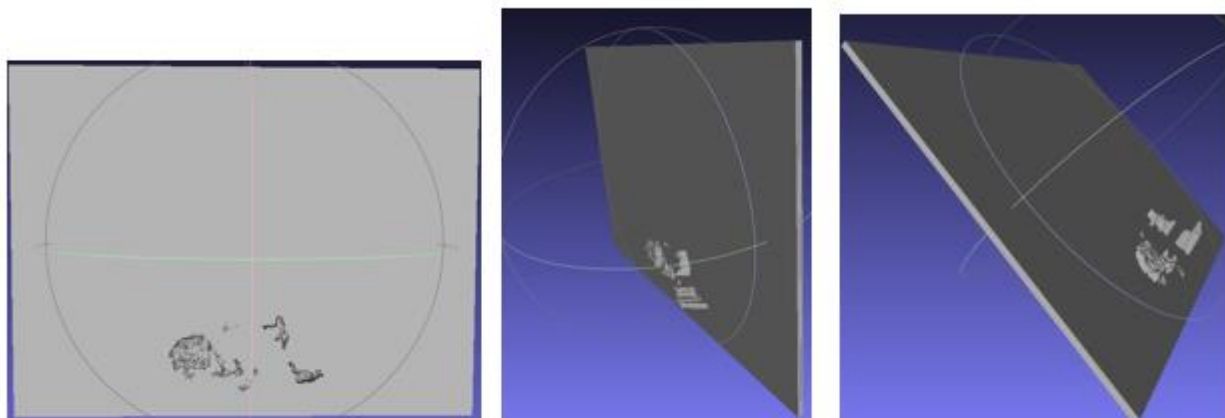


Figura 21.- Vistas con MeshLab del escaneado de la bici mediante Processing

Vemos claramente que con este método no ha capturado geometría suficiente.

8.2.2 Captura con 123D Catch

Para ello se usará 123D Catch que es una aplicación gratis de Autodesk: <http://123dapp.com/catch>

Se dispone de varias plataformas y en particular la posibilidad de trabajar online subiendo las fotografías tomadas y obteniendo un modelo 3D, o bien la versión PC que podemos bajarnos gratuitamente.

Se utilizará la segunda posibilidad ya que ofrece más flexibilidad.

Este procedimiento de basa en la toma de múltiples fotografías girando alrededor de un objeto estático,

Hay que tener en cuenta que la toma de fotografías del objeto es el punto más importante se listan los consejos a tener en cuenta:

- Evitar objetos brillantes o transparentes así como aquellos que reflejen la imagen
- Girar alrededor del objeto tomando las fotos necesarias de forma que un detalle aparezca al menos en 3 fotografías. Dicho de otra forma: tomar una fotografía cada 5-10º de giro.
- Girar alrededor del objeto a varios niveles de altura y varios ángulos. No olvidar planos cenitales. Se recomienda planear el proceso antes de empezar.
- Añadir puntos o piezas de que puedan ser útiles como referencia de situación para que la aplicación “no se pierda” al recomponer el objeto. Fondos planos no son recomendables. Una forma de conseguir que el “tracking” de la aplicación no de problemas es colocar el modelo sobre una hoja de periódico.
- No variar la dirección de la cámara. Esto significará tomar todas las fotos con la cámara horizontal o todas con la cámara vertical.
- No usar variaciones de zoom.
- La iluminación debe ser lo más uniforme posible.
- Mantener la profundidad de campo y el enfoque en todo el proceso de captura.
- No es necesaria una cámara de gran calidad ya que la aplicación admite imágenes incluso hechas con la cámara del teléfono móvil además de iphone e ipad.

8.2.2.1 Captura y pre-procesado con 123D Catch del “mussol”

En este caso y aunque en las recomendaciones anteriores se indica que debemos girar alrededor del modelo tomando la fotos, se ha querido probar el método haciendo girar el modelo y manteniendo fija la cámara en cada nivel de altura. O sea se llevaron a cabo tomas con la cámara estática durante un giro del modelo. Se modificó la altura del trípode que sujetaba la cámara y se llevó a cabo otro giro completo y así sucesivamente.

Se puede avanzar que ciertamente el sistema de girar alrededor mientras el modelo permanece estático es el más efectivo aunque se consiguieron resultados positivos en el caso del mussol con la cámara estática aunque se tuvo que llevar a cabo un gran control del iluminación y enfoque. Se necesitaron varios intentos y aun obteniendo buenos resultados se puede finalizar que no podemos considerarlo un método estable y repetible. En este documento se mostrarán ambos métodos y sus resultados.

Captura y pre-procesado del mussol con 123D: girando alrededor del modelo

Se preparó el montaje que puede verse en la figura siguiente:



Figura 22.- Proceso toma fotos mussol con 123D Catch, girando alrededor del modelo

En este caso se tomaron 68 fotos.

Tal como se ha indicado se hará uso de la aplicación en su versión de PC.

El proceso a seguir una vez arrancado el Autodesk 123D Catch es:

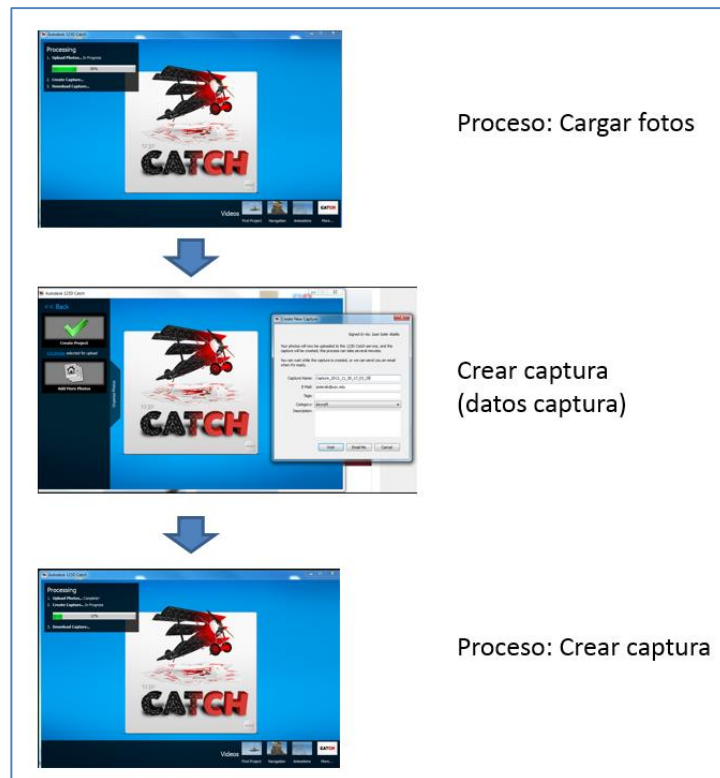


Figura 23.- Proceso 123D Catch: Cargar fotos y Crear captura

Tras creada la captura podemos comprobar en la aplicación la secuencia seguida en la toma de fotografías efectuada:



Figura 24.- Ruta cámara seguida en captura mussol con 123D Catch, girando alrededor del modelo

Y podemos también ver el resultado del modelo 3D ya creado:



Figura 25.- Diversas vistas del modelo 3D resultante del mussol mediante captura con 123D Catch girando alrededor del modelo

El modelo también es subido automáticamente a la web de Autodesk (en la cuenta que deberemos crear al iniciar el uso de la aplicación):

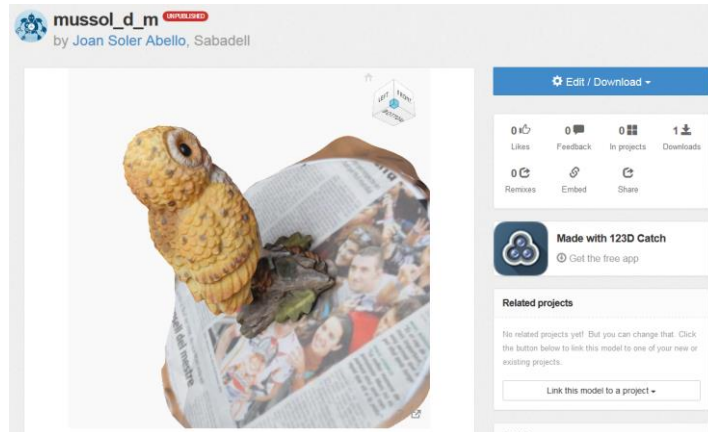


Figura 26.- Vista en la web de Autodesk del modelo 3D resultante del mussol capturado mediante el proceso 123D Catch, girando alrededor

Y desde la web se pueden bajar los archivos STL y OBJ del modelo resultante en 3D.

Captura y pre-procesado del mussol con 123D: cámara estática, modelo gira

A diferencia del caso anterior se preparó un montaje (que puede verse en la figura siguiente) de forma que el modelo girase al estar colocado sobre una plataforma giratoria. Tal como se ha comentado más arriba se debe controlar la iluminación para que sea lo más uniforme posible y no modificar ni la profundidad de campo ni el enfoque en cada uno los giros a diversas alturas.



Figura 27.- Proceso toma fotos mussol con 123D Catch, modelo gira

En este caso se procesaron 100 fotos.

Se procedería exactamente igual que en el apartado anterior obteniéndose el resultado que puede verse en las figuras siguientes:

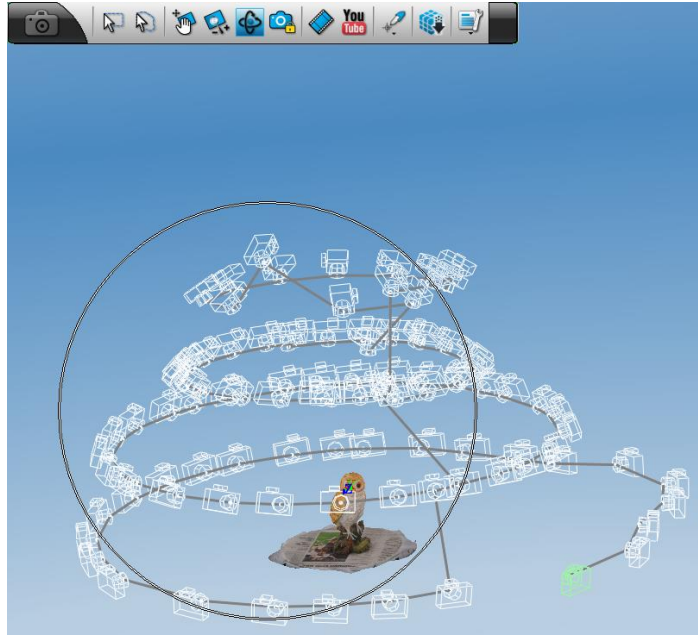


Figura 28.- Ruta cámara seguida en captura mussol con 123D Catch, girando modelo



Figura 29.- Diversas vistas del modelo 3D resultante del mussol mediante captura con 123D Catch, girando el modelo.

8.2.2.2 Captura y pre-procesado con 123D Catch de la “bici”

En el caso de la bici el sistema de hacer girar el modelo manteniendo la cámara estática no ha funcionado y se presenta sólo el sistema de tomar las fotos girando alrededor del modelo.

Captura y pre-procesado de la bici con 123D: girando alrededor del modelo

Siguiendo los mismos pasos que anteriormente pasamos a capturar el modelo "bici".



Figura 30.- Proceso toma fotos bici con 123D Catch, girando alrededor del modelo

En este caso se procesaron 62 fotos.

El proceso es el mismo que los dos apartados con el resultado que sigue:

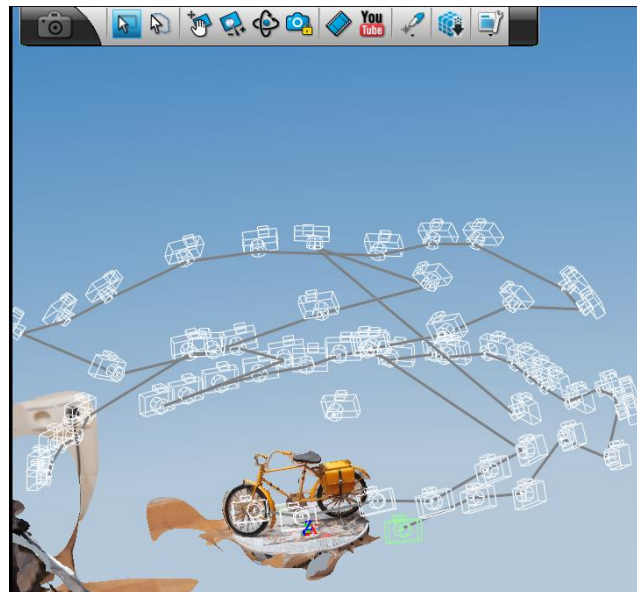


Figura 31.-Ruta cámara seguida en captura bici con 123D Catch, girando alrededor del modelo



Figura 32.- Diversas vistas del modelo 3D resultante de la bici mediante captura con 123D Catch girando alrededor del modelo

El resultado es mucho mejor que con el procedimiento usando Processing aunque se le debería aplicar un importante trabajo de procesado para obtener un modelo 3D en buenas condiciones.

Todas las pruebas llevadas a cabo, tras eliminar las que no funcionaban, han quedado recogidas en la web de Autodesk

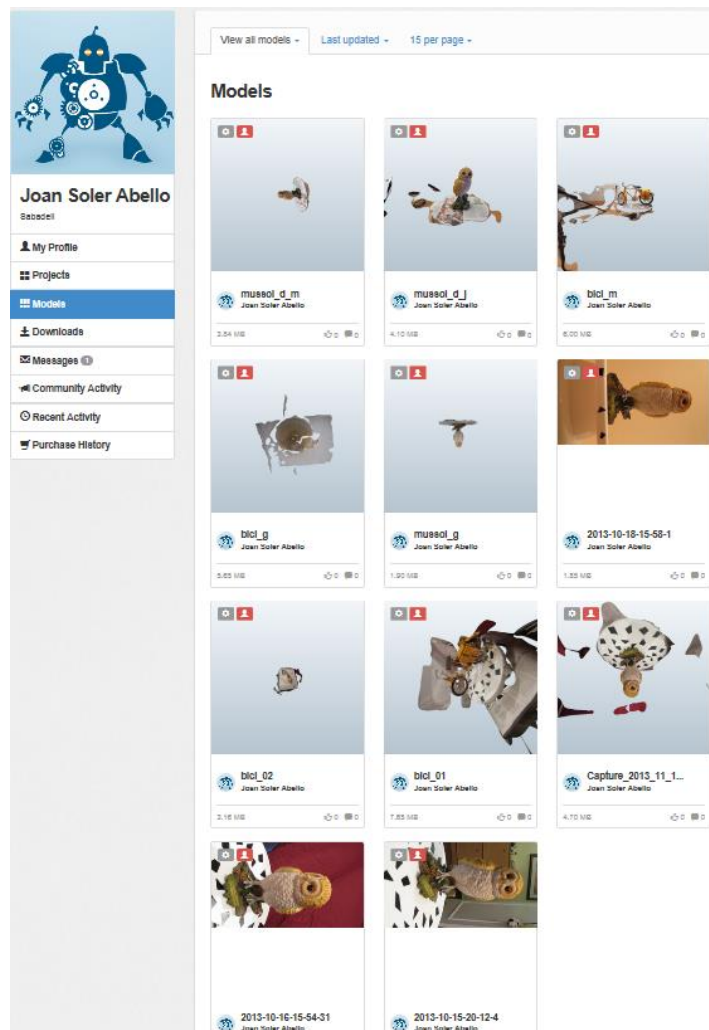


Figura 33.- Vista de la web de Autodesk con las diversas pruebas llevadas a cabo

8.2.3 Captura y pre-procesado con Skanect

Usamos la cámara Kinect par Windows descrita en el apartado de hardware utilizado.

El proceso a seguir para la captura y pre-procesado con Skanect puede verse en el gráfico siguiente donde se presenta resumido:

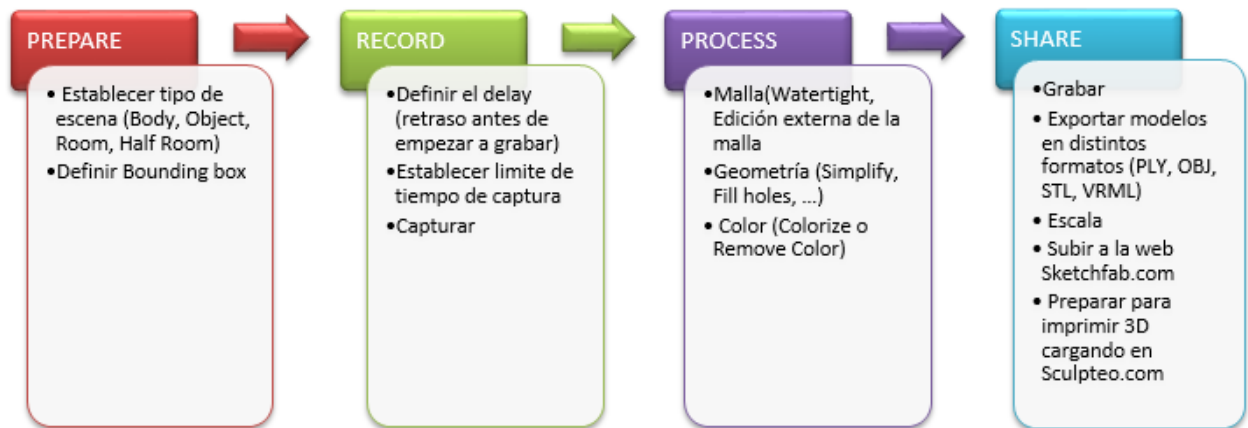


Figura 34.- Proceso resumido de la captura 3D con Skanect

Veremos el proceso con más detalle al llevar a cabo el escaneado de las dos figuras con las que estamos trabajando.

8.2.3.1 Captura y pre-procesado con Skanect del “mussol”

Colocamos el modelo “mussol” a unos 600mm de la cámara Kinect. En este caso para la captura el modelo girará sobre sí mismo. Por ello está colocado sobre una plataforma giratoria que giraremos lentamente manualmente.



Figura 35.- Preparación de escaneado del mussol con Skanect

Se han pegado algunas formas geométricas o una hoja de periódico sobre la plataforma giratoria debajo del modelo para ayudar al rastreo (tracking) de la Kinect durante el escaneo.

En la pantalla de preparación (Prepare) de Skanect establecemos que se trata de un objeto, que escanearemos una caja de 0,2 x 0,4 x 0,2 m.

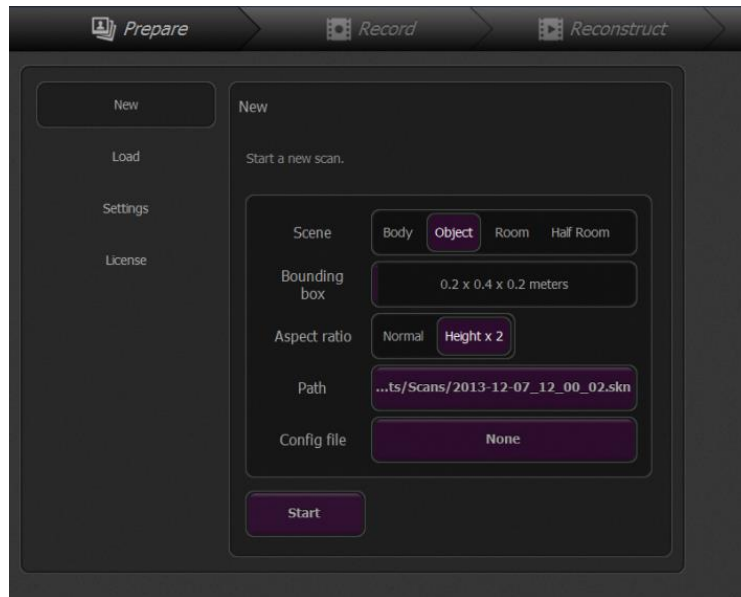


Figura 36.- Pantalla Prepare/New de Skanect para escaneo del mussol

Establecemos en los settings que grabe todos los frames, que la imagen que nos revierta sea de alta calidad y que la detección de pérdida de rastreo este activa

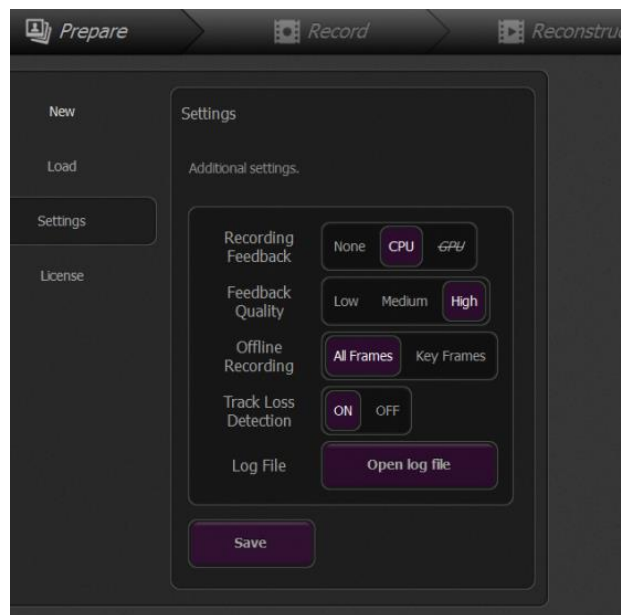


Figura 37.- Pantalla Prepare/Settings de Skanect para escaneo del mussol

Se procede a la grabación tras los 5 s de retraso establecidos y en este caso no establecemos un tiempo límite. Iremos girando la base giratoria para que la Kinect vaya adquiriendo la geometría del modelo.

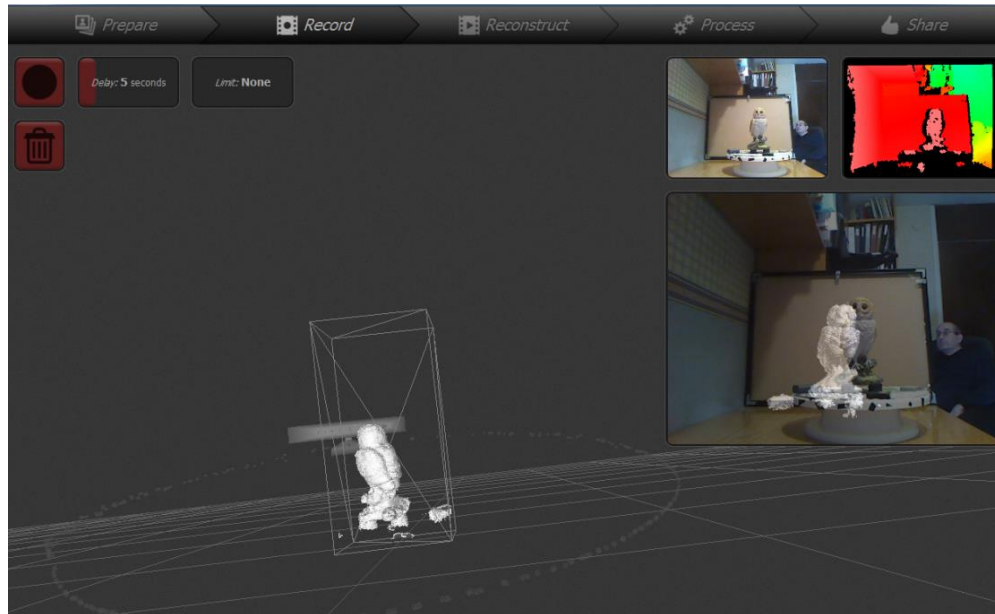


Figura 38.- Proceso de grabación del mussol con Skanect

Skanect dispone de un pre-procesado del modelo 3D obtenido. Dispone de varias posibilidades:

- Watertight : Cierra el modelo para evitar problemas posteriores con la impresión. En este punto se puede escoger el grado de suavizado de la forma obtenida. Esta opción watertight también da color al modelo 3D resultante
- External Edit: Permite la edición con un programa externo tal como MeshLab y volver cargar en la aplicación Skanect para continuar
- Simplify : Simplifica la malla reduciendo el número de triángulos
- Fill Holes : Cierra los posibles agujeros obtenidos con el escaneado.
- Move&Crop : Edita el resultado obtenido moviendo o cortando geometría
- Remove Parts : Edita el resultado obtenido eliminado geometría
- Colorize : Aplica color al resultado obtenido
- Remove Colors : Elimina color del resultado obtenido
- Remove Colorless : Añade color a la partes que no lo tengan por asimilación con las partes cercanas a su alrededor

En este caso usamos el comando Watertight con un suavizado medio, ya que no queremos perder muchos detalles pero deseamos eliminar las crestas más importantes, Tal como se ha indicado anteriormente, el resultado se obtendrá a color.

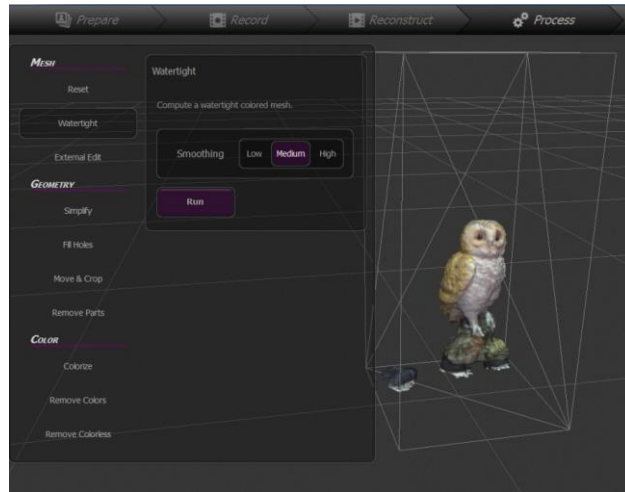


Figura 39.- Pre-Procesado del mussol con Skanect

Y ya tan sólo queda exportar el modelo 3D obtenido. Podemos obtener ficheros PLY, OBJ, STL ó VRML.

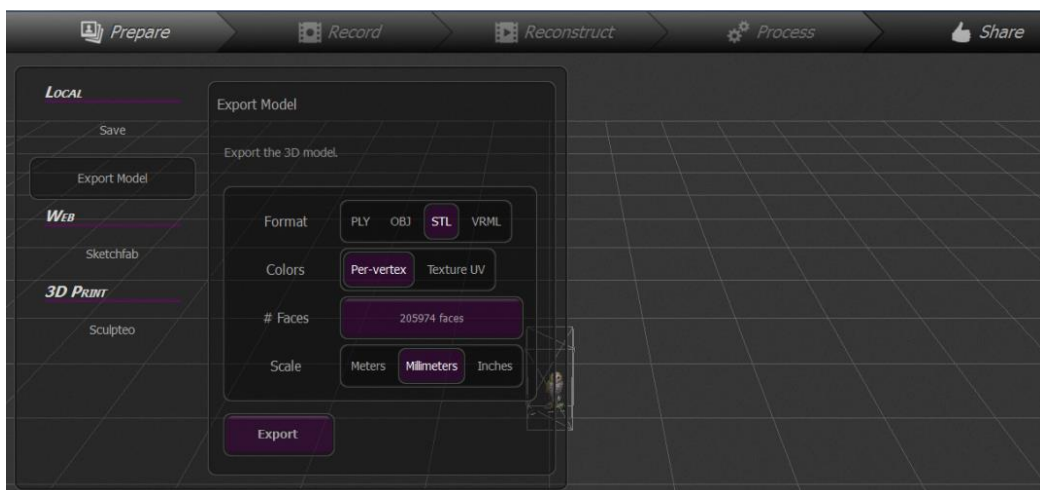


Figura 40.- Exportación del modelo 3D del mussol escaneado con Skanect

Podemos comprobar el resultado y abrir por ejemplo el fichero OBJ (este tipo de fichero coordina vértices, texturas, normales, etc.) con MeshLab:

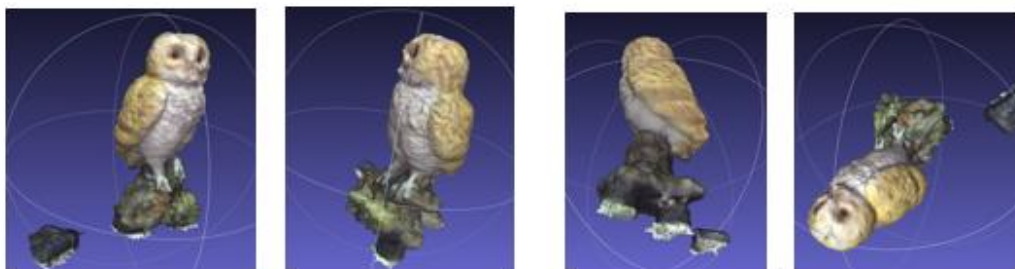


Figura 41.- Vistas desde MeshLab del resultado obtenido al escanear el mussol con Skanect

Tenemos el modelo 3D listo para posterior procesado.

8.2.3.2 Captura y pre-procesado con Skanect de la "bici"

De la misma forma que en el apartado anterior hacemos lo mismo con el modelo "bici" pero en este caso la escasa geometría de la bici causa problemas. Puestos en contacto con el soporte de ManCTL (proveedores de Skanect) así se confirma.

Se han llevado a cabo muchas pruebas añadiendo más geometría a la escena, girando la cámara Kinect alrededor del modelo o bien girando el modelo sobre sí mismo manteniendo la cámara fija. También se han usado los métodos de reconstrucción de la imagen en 3D: Watertight o Fusion (reconstrucción offline con los datos adquiridos).

En la tabla adjunta pueden verse los resultados obtenidos

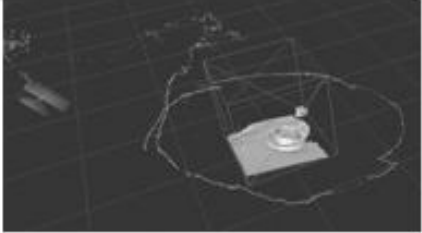
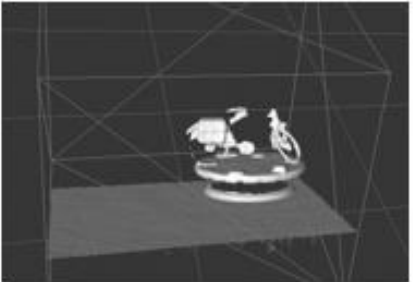



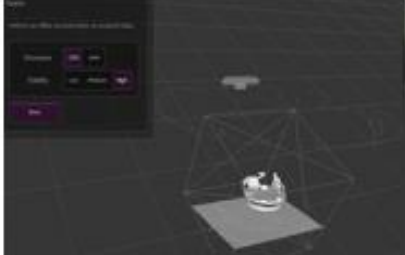
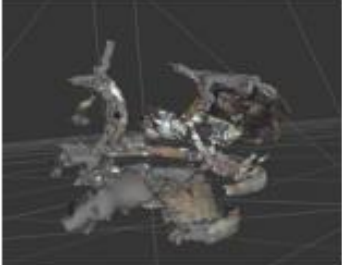



	Girando Kinect alrededor del modelo "bici"	Girando el modelo "bici". Kinect se mantiene fijo horizontalmente, solamente movimiento vertical
Justo después de escanear (sin aplicar ninguna función)		
Watertight		
Fusion		
Fusion + Watertight		
Fusion + Watertight (pantalla Mesh Lab)		

Tabla 1.- Resultados pruebas captura de bici, con Skanect

8.2.3.3 Problemática del escaneado del modelo “bici” con Skanect

Tras la obtención de los resultados presentados en el apartado anterior queda patente que la mayor parte de la geometría del modelo no se logra captar correctamente.

Tras muchos intentos se contactó con Manctl (empresa que se encarga del soporte de Skanect) para intentar llevar a cabo, en caso de ser posible, los ajustes necesarios para conseguir que el resultado del escaneado mejorase.

Se hicieron varias tentativas obteniéndose continuos mensajes del software tales como: “Camera moved too fast” (incluso sin mover la cámara), “Go back to last pose” y se enviaron los correspondientes logfiles para intentar localizar el error.

Las primeras respuestas del soporte de Skanect fueron en el sentido de que se debía añadir geometría (objetos adicionales) a la escena y así como de objetos o puntos de referencia de forma que no se perdiera el tracking (seguimiento) del modelo.

Incluso se llegó a cambiar de PC para desestimar cualquier incompatibilidad con los driver instalados anteriormente para el desarrollo de los apartados anteriores de este trabajo. Aunque el resultado fue idéntico.

Para dirimir el tema se decidió elaborar una prueba final que fuese determinante.

Para ello se preparó la escena con suficiente geometría, elementos que ayudaran a no perder la referencia, un bolígrafo (L=130 mm, $\varnothing = 10$ mm) y un pin (L=105 mm, $\varnothing = 2$ mm) colocados verticalmente; además de añadir el modelo “mussol” que se sabe que escanea correctamente.



Figura 42.- Disposición elementos prueba problemática escaneado.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los resultados obtenidos:





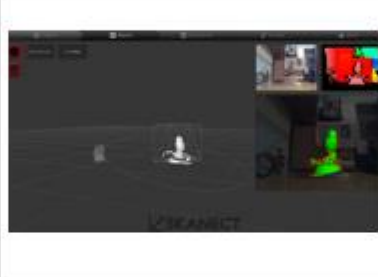


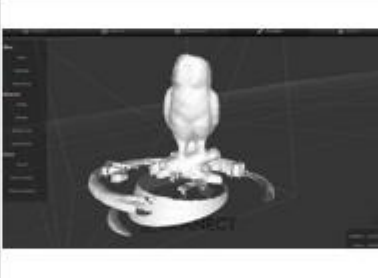




<p>Mussol (centro de base rotatoria a 65cm de Kinect)</p>	<p>Mussol +boli+ pin (centro de base rotatoria a 65cm de Kinect)</p>	<p>Mussol + boli + pin (boli y pin desplazados del centro de la base rotatoria) (centro de base rotatoria a 65cm de Kinect)</p>
		
		
		
		
<p>El mussol se escanea correctamente</p>	<p>No aparece, en el escaneo, ninguna traza del boli ni del pin vertical.</p>	<p>No aparece, en el escaneo, ninguna traza del boli ni del pin vertical.</p>

Tabla 2.- Resultados pruebas problemática escaneo

Los resultados de compartieron con el servicio de soporte de Skanect llegando a la conclusión de que existen limitaciones para el escaneo de piezas de dimensiones reducidas debido a la utilización de

sensores de profundidad de bajo coste. (Textualmente la respuesta recibida ha sido: *These are limitations of the low-cost depth sensor we are using. They cannot detect objects smaller than a few centimeters. So unfortunately there is nothing Skanect can do about it.*)

Debido que el modelo "bici" tiene alguna de sus partes dimensionalmente por debajo del rango de escaneado se decide no continuar el trabajo con este modelo.

8.2.4 Captura y pre-procesado con ReconstructMe

Lamentablemente en el caso de ReconstructMe ha surgido una problemática distinta que con Skanect ya que en este caso el problema se ha centrado en el Setup.

Se ha intercambiado con Profactor (empresa que soporta ReconstructMe) información sobre el hardware instalado, se ha analizado la correcta actualización de los drivers instalados así como la necesidad de instalar el SDK de Microsoft, se han enviado los logfiles en varias ocasiones pero sin poder obtener en ningún caso resultados de escaneado mínimamente correctos usando la versión gratuita disponible en su website.

Sin poner en duda que el software de pago se trate de una buena herramienta de escaneado lamentablemente la versión gratuita no ha conseguido pasar el proceso de setup en el PC que se describe en el apartado de descripción de hardware (en este mismo documento)

Se han llevado a cabo pruebas en otro PC (portátil) con menos prestaciones en cuanto a velocidad y tarjeta gráfica y los resultados no se consideran lo suficientemente buenos para recomendar el uso de esta versión gratuita en este trabajo.

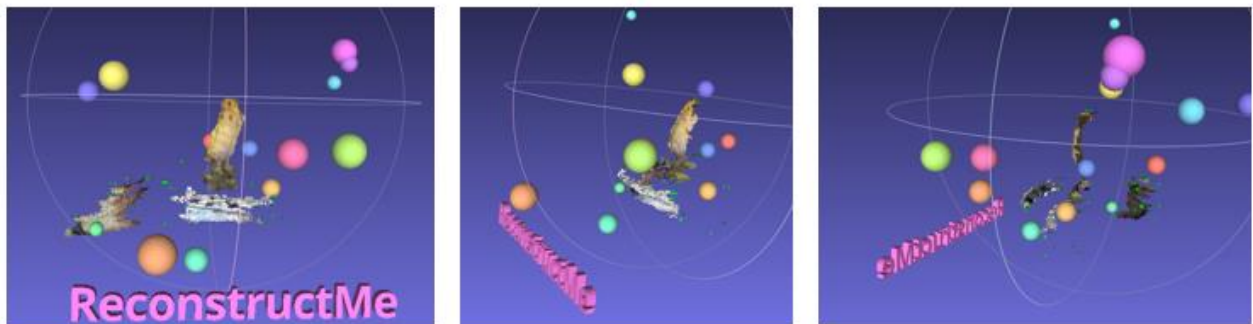


Figura 43.- Resultados escaneado "mussol" con ReconstructMe (pantallazos de MeshLab)

Tal como puede verse en la figura anterior ReconstructMe (en su versión gratuita) nos ha dado un pobre resultado ya que no ha conseguido el escaneado del modelo completo sino sólo de lo que parece una capa superficial de menos de ¼ parte de su totalidad. Lo mismo ha ocurrido tras muchos intentos y otros modelos.

Considerando que existen dudas razonables, en base al soporte recibido por parte de Profactor, de que se consiga instalar correctamente la versión de pago en el hardware disponible y teniendo en cuenta que los resultados de 123D Catch son correctos así como también se dispone del modelo escaneado con Skanect **se decide no continuar con el uso de ReconstructMe en el desarrollo de este TFG.**

Es necesario indicar que con Skanect no se obtuvieron resultados útiles hasta la compra de una licencia ya que la versión gratuita tenía anulada algunas de sus utilidades pero desde el primer momento se vieron los resultados que permitieron confiar en dicho software y el soporte tanto antes como después de obtener la licencia fue correcto.

En el caso de ReconstructMe hay dudas de que llegue a funcionar en la plataforma que se usa, el soporte no ha sido correcto y el coste de la licencia es mayor que la obtenida de Skanect,

8.3 Procesado

Antes de imprimir en 3D o usar los resultados de los modelos obtenidos de los distintos escaneos será necesario procesarlos. O sea se deben limpiar, editar y reparar para que sean útiles

Algunos de los resultados obtenidos con Skanect pueden haber sido pre-procesados al aplicar algunas de las herramientas que dicho software dispone tales como Watertight, Simplify, Fill holes, etc que se han descrito anteriormente en la sección correspondiente.

Algo similar puede ocurrir con el 123D Catch de Autodesk.

O sea que en algunos casos los softwares de pre-procesado y los que usaremos en el procesado tienen herramientas similares. Aplicaremos la más conveniente para llegar a los resultados más óptimos.

Los problemas más comunes que surgirán en los modelos 3D obtenidos serán:

- Huecos
- Partes inconexas o desconectadas
- Elementos indeseados que formaban parte del entorno real en el momento de escanear
- Objetos abiertos con superficies (o caras) que no se han cerrado

Para corregirlo usaremos programas como MeshLab, Netfabb y Meshmixer intentando aprovechar las funcionalidades más potentes de cada uno de ellos con el fin de obtener los mejores resultados.

En la sección “Software Procesamiento” se describe cada uno de ellos.

8.3.1 Selección de resultados finales para posteriores procesos

En la siguiente tabla se presentan algunas características de los resultados obtenidos. Sólo se presenta una selección de las pruebas efectuadas tras haber desestimado algunos materiales tras una inspección

visual. La valoración se somete a distintas propiedades específicas. Se han sombreado en la tabla las mejores opciones. Más adelante se indicará que formato de fichero de utiliza en cada caso.

Es importante indicar que ni Netfabb ni MeshMixer muestran el color adquirido del modelo.

En el apartado Glosario de este documento se describen los distintos formatos de archivos (STL, OBJ, PLY y VRML) que se mencionan en esta sección.

Fuente	Modelo F/G	Pre-proc aplicado	Fich. tipo	Nº vértices /caras	Abre el fichero (?)			Valoración: (0= mal / 10= bien). (Color=0 → B/N)							Comentarios
					Meshlab	Netfabb	Mesh Mixer	Huecos	Parte inconexas o abiertas	Elementos indeseados	Nivel detalle	Color	Total (max 50)		
Processing 1230	Fijo	No	STL	1836522/612174	Si	Si	Si	9	8	7	3	0	27	Muchos vértices duplicados	
	Fijo	No	STL	96717/32239	Si	Si	Si	10	10	9	8	0	37	Muchos vértices duplicados. Buen nivel de detalles.	
		No	OBJ	16348/32239	No (Si)	Si	Si	8	10	9	8	8	43	Buen nivel de detalles. Puede tratarse con 3dsMax para abrirlo con Meshlab. Ver explicación en el texto	
Skaneet	Girando	No	STL	47502/15834	Si	Si	Si	8	10	9	6	0	33	Muchos vértices duplicados. Nivel de detalles medio.	
		No	OBJ	8098/15834	No (Si)	Si	Si	8	10	9	6	6	39	Nivel de detalles medio. Puede tratarse con 3dsMax para abrirlo con Meshlab	
	Girando	No	STL	2152158/717386	Si	Si	Si	7	6	8	4	0	25	Muchos vértices duplicados. Nivel de detalles pobre.	
		No	OBJ	371270/717386	Si	Si	Si	7	6	8	4	0	25	Nivel de detalles pobre.	
		No	PLY	371270/717386	Si	Si	Si	7	6	8	4	0	25	Nivel de detalles pobre	
	Girando	No	VRML	371270/717386	Si	No	No	7	6	8	4	0	25	Nivel de detalles pobre	
		Filling holes + colorize	STL	684622/1369012	No	Si	Si	7	7	8	8	5	0	27	Muchos vértices duplicados. Nivel de detalles bajo.
Girando	Filling holes + colorize	OBJ	684622/1369012	Si	Si	Si	7	7	8	8	5	7	34	Nivel de detalles bajo.	
	Filling holes + colorize	PLY	684622/1369012	Si	Si	Si	7	7	8	8	5	7	34	Nivel de detalles bajo.	
	Filling holes + colorize	VRML	684622/1369012	Si	No	No	7	7	8	8	5	7	34	Nivel de detalles bajo.	

Tabla 3.- Valoración resultados obtenidos en la captura del modelo "mussol" antes de procesar.

8.3.2 Visualización de los resultados antes de proceder a su procesado

Con el fin de disponer de un primer contacto visual comparativo de los resultados obtenidos se ha preparado la tabla que sigue

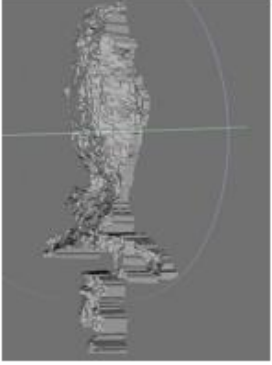
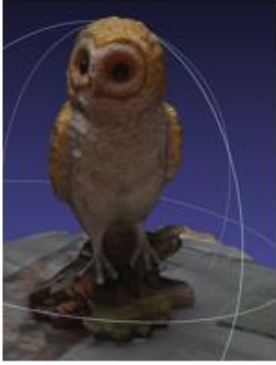

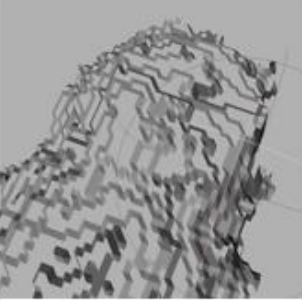

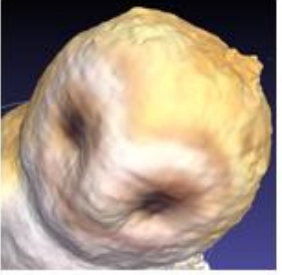
	Processing	123D Catch	Skaneect
Vista general			
Detalle			

Tabla 4.- Visualización resultados antes de procesar

Respecto a la calidad y nivel de detalle de Processing (captando los puntos mediante el uso de Kinect) se podría indicar que el resultado es el esperado.

Aunque sí contrasta la diferencia de calidad entre los resultados obtenidos con la compilación de imágenes mediante 123D Catch y el obtenido con Skaneect escaneando con Kinect.

Es aquí donde los comentarios citados anteriormente recibidos del proveedor de Skaneect se hacen más importantes: *“existen limitaciones para el escaneo de piezas de dimensiones reducidas debido a la utilización de sensores de profundidad de bajo coste”*.

Por lo tanto el uso de escáneres tales como por ejemplo basados en tecnología láser o radiaciones electromagnéticas, con mayor exactitud, mayor resolución y de coste más elevado, indudablemente nos proporcionaría calidades muy superiores.

Pero se debe resaltar que ha sorprendido la calidad y nivel de detalle del resultado obtenido con 123D Catch.

8.3.3 Fotogrametría de objeto cercano: Técnica base del 123D Catch

Dada la calidad y nivel de detalle obtenido en el resultado final mediante la toma de imágenes/fotografías del modelo y tratadas con 123D Catch se ha creído conveniente desarrollar una breve explicación sobre la técnica en la que se basa este sistema.

La fotogrametría de objeto cercano es un proceso por el cual permite reconstruir la posición, orientación, forma y tamaño de los objetos a partir de la toma de una serie fotografías de los objetos usados como modelo, llegando a obtener una imagen tridimensional de los mismos.

Si se toman dos fotografías de un objeto, puede llegarse a identificar una serie de puntos comunes en ambas imágenes que mediante sofisticados algoritmos de cálculo nos llevaría a conocer los parámetros indicados anteriormente (orientación, posición, tamaño, color,...) obteniendo nubes de puntos que pueden definir con mucha precisión su imagen tridimensional.

También se define como una disciplina que crea modelos 3D a partir de imágenes 2D, para de esta manera obtener características geométricas de los objetos que representan, mediante el uso de relaciones matemáticas establecidas en la geometría proyectiva, y de la visión estereoscópica que posee de forma natural el ser humano. [16]

La fotogrametría se usa para levantamiento de fachadas arquitectónicas, arqueología, cartografía, documentación de piezas arqueológicas en museos, reproducciones de lugares y monumentos, etc.

Para una mayor información sobre Fotogrametría se recomienda visitar los siguientes enlaces:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Photogrammetry>

http://tdserver1.fnal.gov/darve/mu_cool/pressuretest/Basics_of_Photogrammetry.pdf

Seguidamente se tratará el procesado de los modelos escaneados. Se procesarán los mejores resultados de cada caso en B/N y el obtenido con 123D Catch en color.

8.3.4 Procesado del resultado obtenido con Processing

En este caso ya que se trata con el resultado de un modelo que solamente ha sido escaneado desde la parte frontal se cree que lo más conveniente procesarlo con MeshMixer. Ello no significa que no se pueda tratar con el resto de los programas que se presentan en la sección Software / Software de Procesamiento de este mismo documento, donde se describen en que aspectos son más idóneos cada uno de ellos.

Partiendo del resultado obtenido, importamos éste en formato STL mediante MeshMixer:

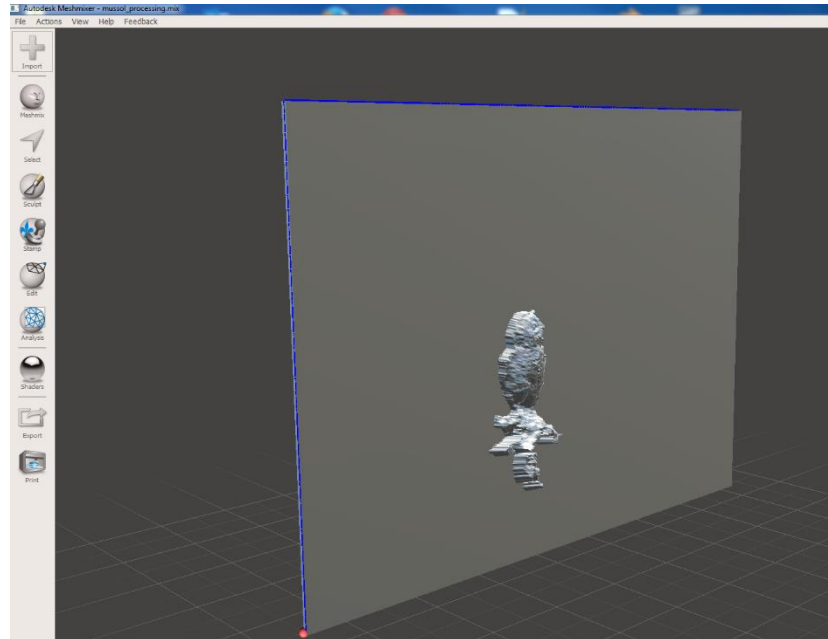


Figura 44.- Vista tras importar modelo "mussol" capturado con Processing a MeshMixer

Es interesante saber de qué herramientas disponemos en la aplicación que sean útiles para arreglar el modelo resultante mediante la eliminación de huecos o agujeros que puedan existir o eliminado porquería escaneada del entorno, etc.

En este caso se deben resaltar las utilidades incluidas en los menús Select, Edit y Analysis

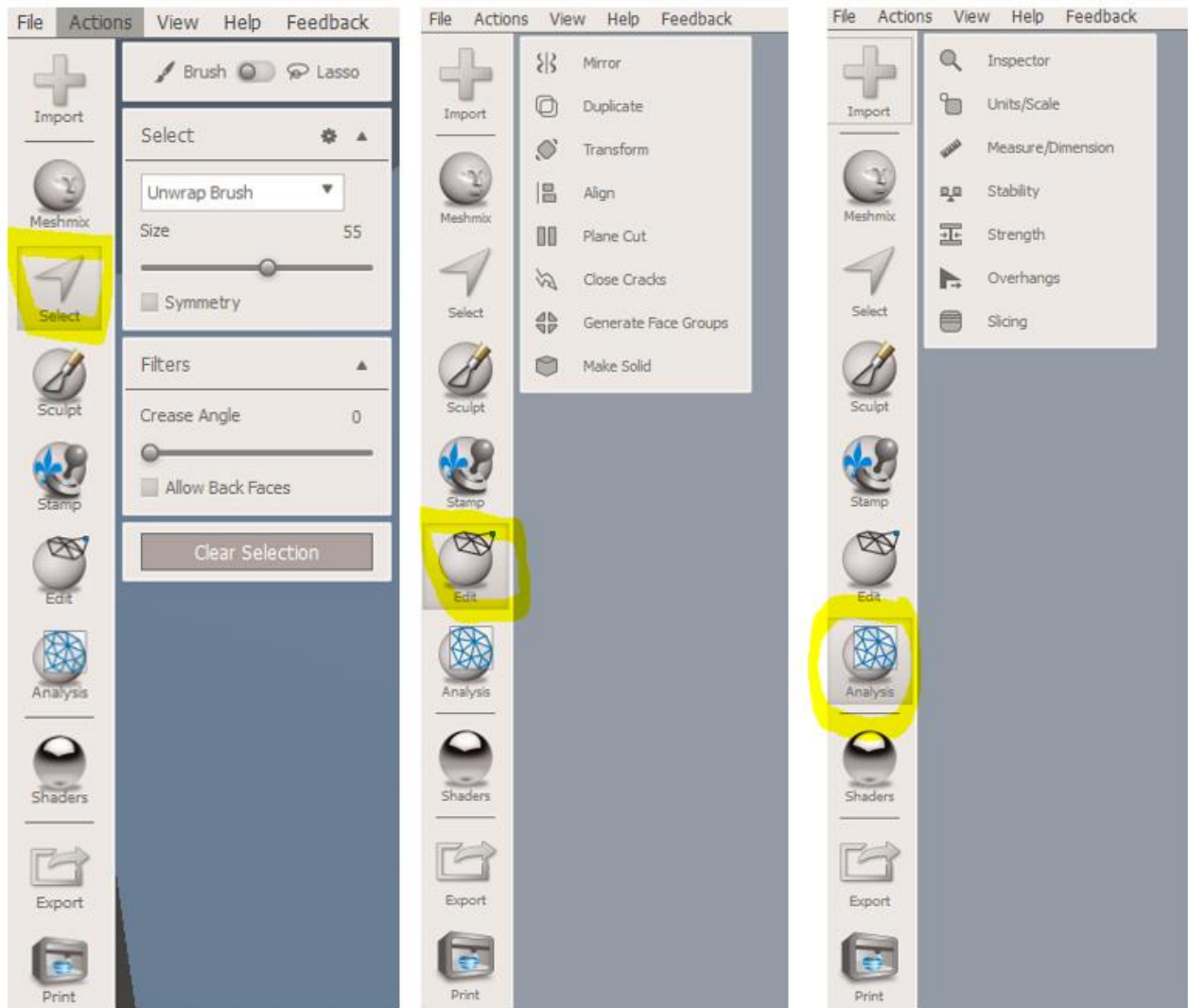


Figura 45.- Menus de MeshMixer: Select, Edit y Analysis

El primer paso del procesado de este modelo consistirá en eliminar tanto los elementos sobrantes tales como el que se encuentra en la parte baja del escaneado como reducir el tamaño del plano posterior.

Para eliminar los fragmentos que queremos desechar usamos las herramientas Select para escoger los elementos a eliminar y Erase contenido en Edit.

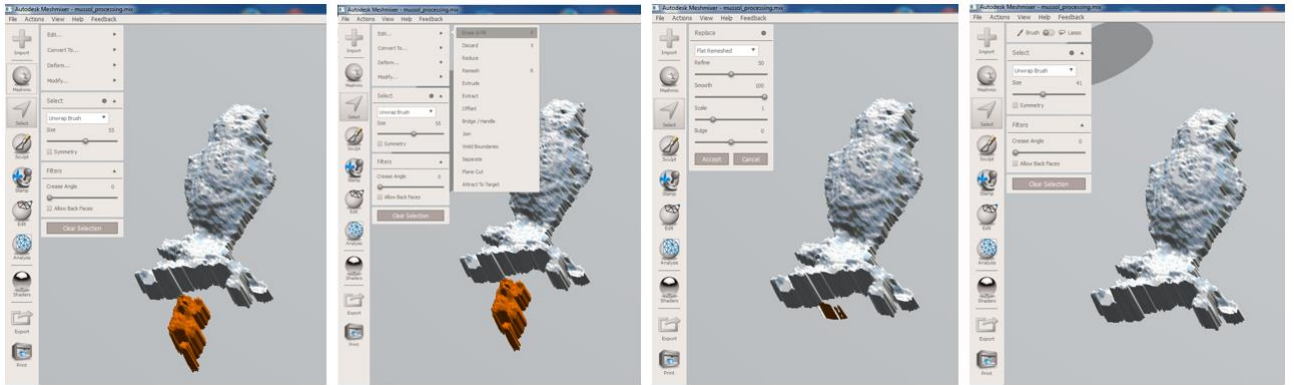


Figura 46.- Proceso eliminación elementos no deseados con Select y Edit / Erase

El modelo dispone de un plano posterior demasiado grande que procederemos a cortar usando la herramienta Plane Cut bajo el menú Edit. El proceso se efectúa en cuatro pasos cortando los laterales del plano base.

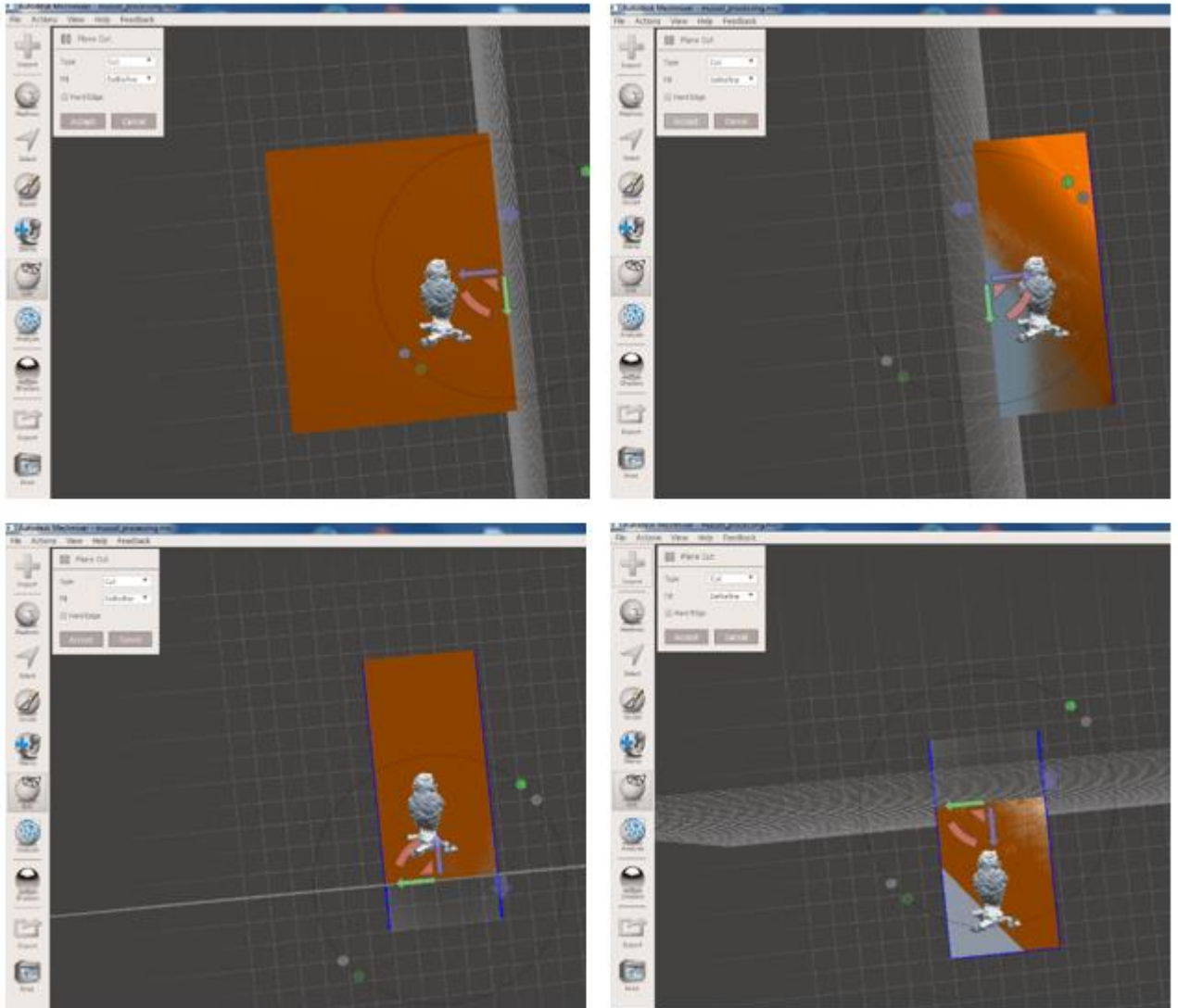


Figura 47.- Proceso de corte del plano base con Edit / Plane Cut de MeshMixer

Tras haber eliminado algunos elementos y cortado el plano posterior disponemos de un resultado cuyas medidas bidimensionales son de 403,15 x 217,89 mm que se considera demasiado grande para lo que queremos obtener, por lo tanto procedemos a escalarlo con la utilidad Units/Scale contenida en el menú Analysis pasando a una dimensiones más reducidas más aceptable en este caso (70,22 x 37,95mm)

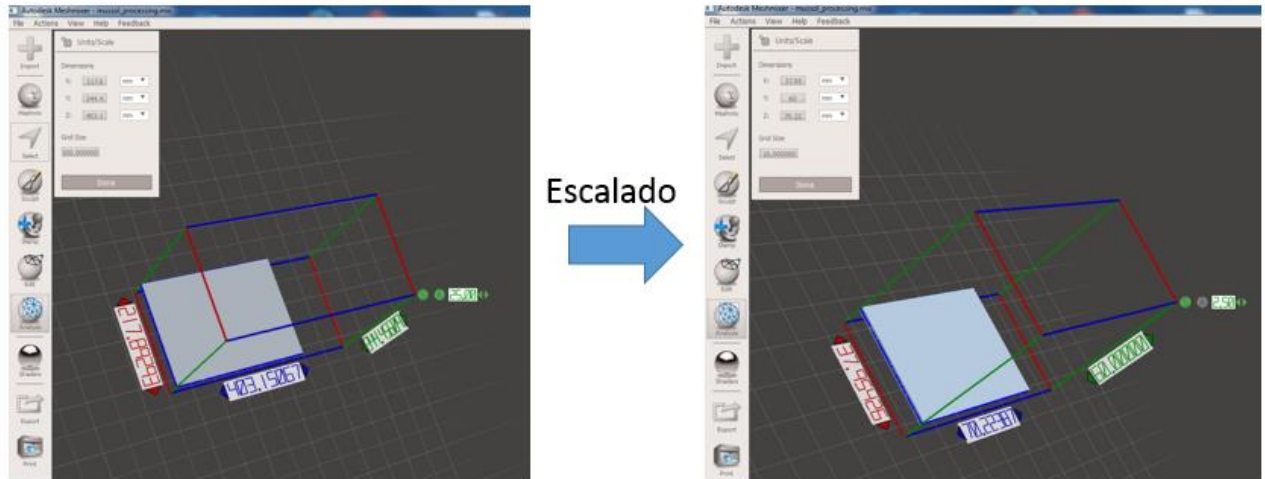


Figura 48.- Proceso de escalado con MeshMixer

El siguiente paso en el procesado sería chequear que no hay huecos, áreas no multiplicables o no propagables (non-manifold⁷ áreas) o componentes sin conexiones.

Para ello disponemos de la herramienta Inspector bajo el menú Analysis.

Si es el caso aparecerían unas esferas coloreadas marcando los lugares donde el error se produzca.

Según el color de la esfera se trataría de:

- Esfera roja : señala las superficies no desplegadas (non-manifold⁷ areas / edges)
- Esfera magenta: componentes desconexados
- Esfera azul: agujeros o huecos.

Girando alrededor del objeto se encontrarían las esferas mencionadas y se recomienda solucionar cada problema siguiendo el mismo orden de colores de la lista clicando sobre cada una de ellas.

En el caso que nos ocupa tan sólo aparecen esferas azules solucionando el problema de huecos del modo indicado.

⁷ Aristas o vértices no visibles a simple vista debido a que son vistas o vértices producto de cruces de planos en el espacio o que simplemente no comparten caras comunes con lo cual no pueden ser multiplicadas. Ejemplos en: <http://www.shapeways.com/tutorials/fixing-non-manifold-models>

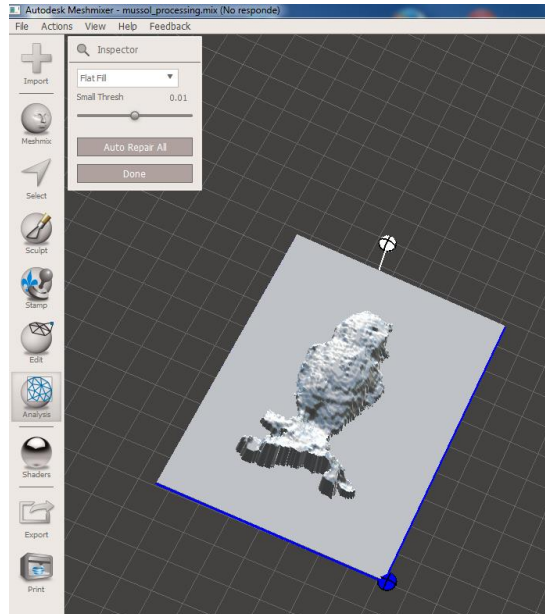


Figura 49.- Vista de los problemas del modelo mediante Analysis / Inspector

Antes de proceder a verificar si el resultado es adecuado para su impresión se lleva a cabo el último paso convirtiendo el objeto en un sólido mediante Edit / Make Solid.

MeshMixer dispone de la utilidad Print en el menú lateral de forma que se abre una pantalla donde se puede verificar si el objeto está preparado para su impresión (en este caso en una impresora 3D MakerBot Replicator 2).

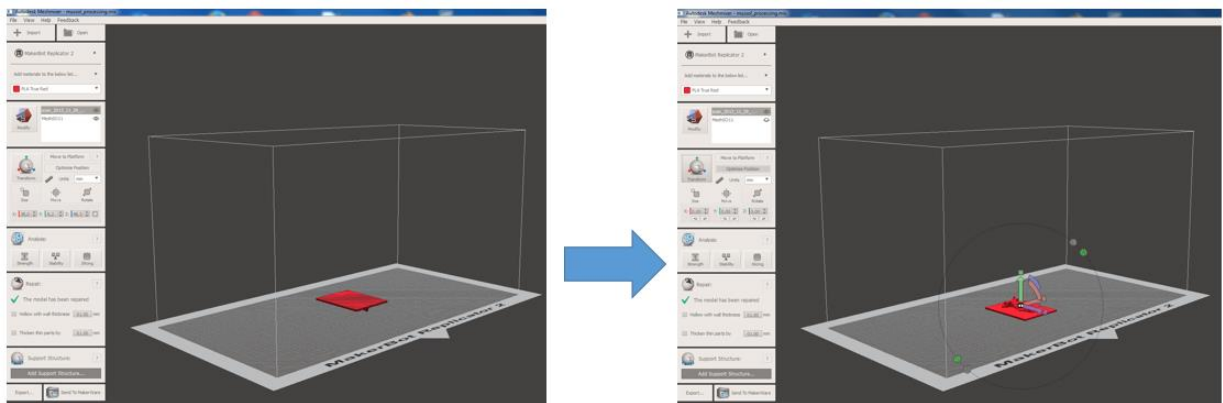


Figura 50.- Últimas verificaciones antes de impresión 3D con Print (para MakerBot Replicator 2)

En el modelo “mussol” obtenido con Processing tan sólo se ha tenido que voltear el objeto para quedar finalmente preparado para su impresión 3D.

Se ha exportado nuevamente a formato STL desde MeshMixer.

El resultado puede también verse en las dos webs con visor 3D en las que pueden subirse los modelos:

Sculpteo : http://www.sculpteo.com/en/design/mussol_processing_final_to_print/fjq8XYVL

Sketchfab: <https://skfb.ly/zDJx>

(Para poder visionar correctamente los modelos en 3D quizá deba usarse Mozilla Firefox o Google Chrome)

8.3.5 *Procesado del resultado obtenido con Skanect*

Se procede a procesar el objeto obtenido del escaneo del modelo “mussol” con el escáner Kinect para Microsoft usando el software de escaneo Skanect.

En los objetos escaneados es preciso repararlo con el fin de eliminar agujeros o huecos y porquería que se ha adquirido del entorno del lugar donde el modelo se ha escaneado. Además también posiblemente deberán editarse para eliminar vértices duplicados y suavizar superficies.

En este caso, con el resultado obtenido con Skanect procederemos de forma distinta a la que se ha usado para preparar el objeto obtenido con Processing. Ello no significa que no se podría procesar usando el mismo software que en apartado anterior sino que procedemos de forma distinta por motivos didácticos y por las distintas posibilidades que presentan los dos programas que se usarán que facilitarán el proceso en esta ocasión.

El primer paso será abrir el fichero STL con Netfabb Basic. Si el objeto no está seleccionado proceder a seleccionar mediante Edit / Select all parts.

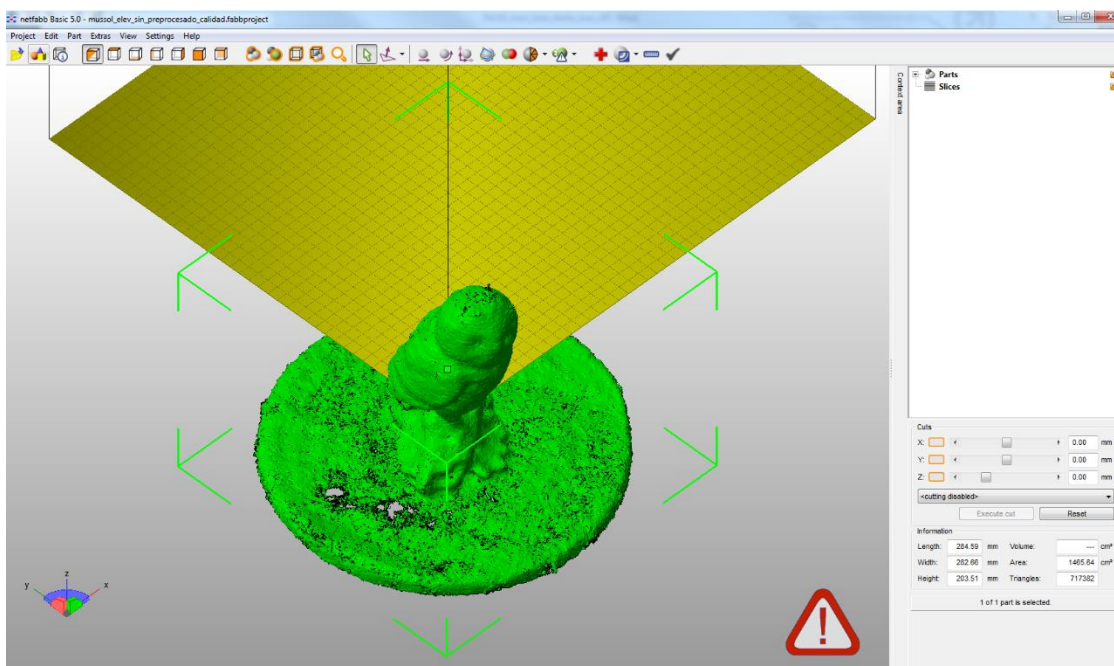


Figura 51.- Selección con Netfabb del objetos escaneado con Skanect

Dado que generalmente nos encontraremos el objeto desplazado procederemos a colocarlo en el origen mediante Part / Move / Translate to Origin.

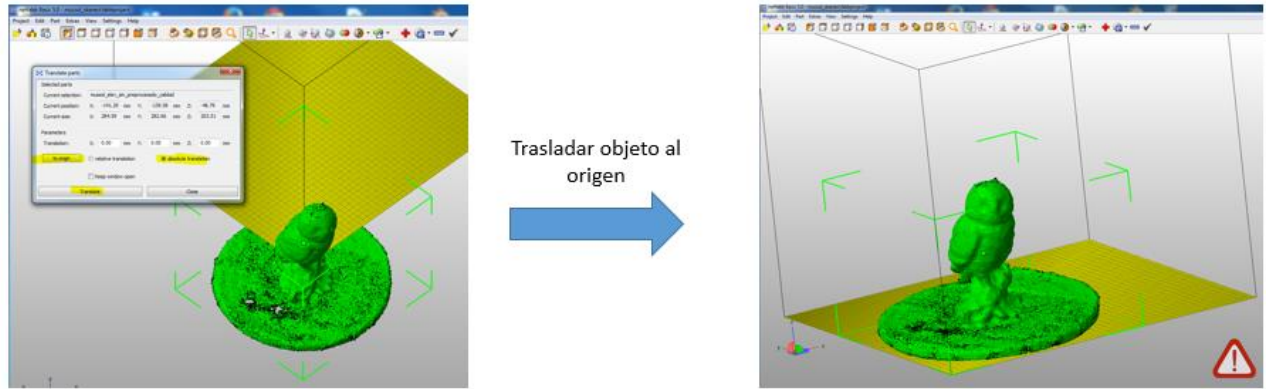


Figura 52-- Traslado al origen de coordenadas con Netfabb

La base rotatoria que se usó durante el escaneo ha quedado incorporada formando parte del objeto. Se desea eliminarla de forma que el objeto disponga de una base plana similar a la que tenía el modelo original para apoyarse.

Usaremos la herramienta de corte de Netfabb para eliminar la base rotatoria y disponer de una superficie cortada que haga de peana del objeto para que se pueda mantener estable en posición vertical.

Para ello desplazamos el plano de corte en la dirección del eje Z. El plano de corte se muestra sobre el objeto mediante una línea azul. Una vez situado dicho plano en la posición que se crea correcta se ejecuta el corte mediante el comando Execute Cut / Cut.

El objeto quedará dividido en dos partes. El menú de la parte superior derecha de la pantalla permitirá escoger y eliminar (clicando sobre la cruz que aparece junto a la parte seleccionada) la parte inferior del modelo que es la que se debe desechar.

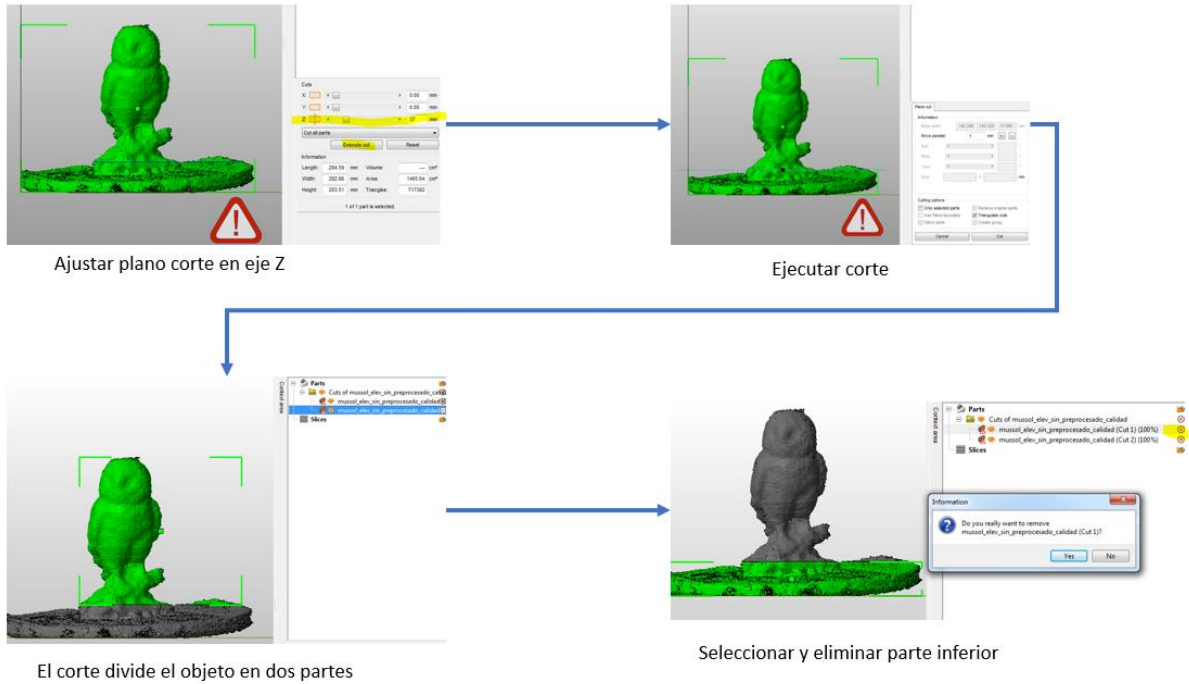


Figura 53.- Eliminar partes del modelo con plano de corte con Netfabb

Tras el corte mediante Z quedan algunos elementos indeseados que se eliminan mediante planos de corte según eje X e Y.

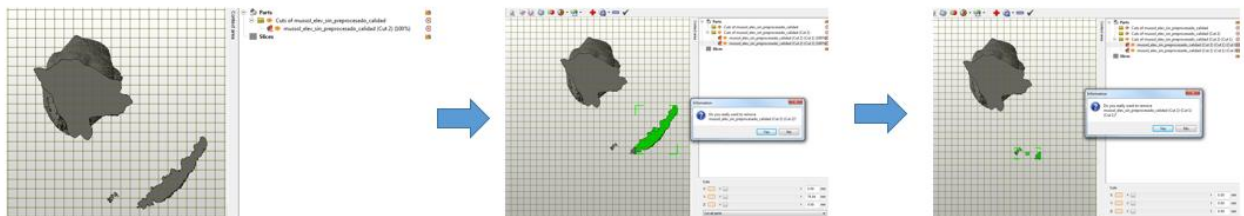


Figura 54.- Eliminar restos indeseados mediante planos de corte con Netfabb

El objeto ha quedado separado del origen de coordenadas y tal como se ha hecho anteriormente (mediante Part / Move / Translate to Origin) se vuelve a trasladar al origen.

El siguiente paso del proceso será reparar los defectos que se han creado durante el escaneado que Netfabb está indicando que deben repararse mediante un símbolo de precaución en la pantalla. Seleccionamos la cruz roja del menú superior (Repair Tool) el objeto se vuelve azul mostrando los triángulos de la malla y apareciendo puntos amarillo donde es necesaria la acción de reparación. Clicamos en Automatic Repair /Default Repair / Execute para proceder. El programa preguntará si se elimina la parte (objeto) antiguo (original) y se procede a confirmarlo.

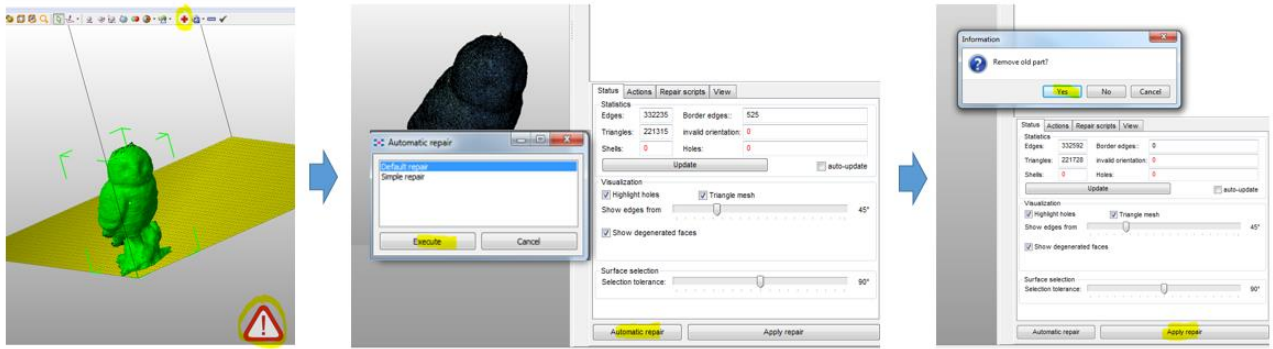


Figura 55.- Proceso de reparación de defectos con Netfabb

Antes de continuar se exporta el objeto en formato STL para continuar el proceso con MeshLab. La exportación desde Netfabb a STL se efectúa con el comando Part / Export /STL desde el menú de la parte superior con el objeto seleccionado. Antes de exportar efectúa una comprobación que comporta solucionar los vértices Manifold (comentado más arriba en este documento). Se acepta su reparación en la ventana emergente

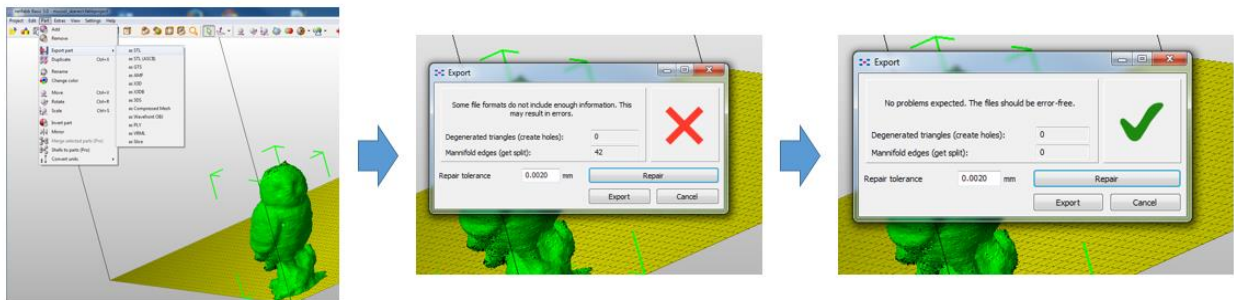


Figura 56.- Exportación a STL y reparación vértices manifold con Netfabb

Tal como se ha comentado se prosigue el procesado del objeto con MeshLab ya que éste programa dispone de una herramienta muy útil que permitirá suavizar la superficie del objeto preparándolo para su posterior impresión 3D. Se trata de un filtro Poisson al que se accede mediante la secuencia: Filters / Point Set / Surface Reconstruction Poisson. En la ventana emergente se escogerá el máximo valor de Ochre Depth (11) y posteriormente se esconderá el original.

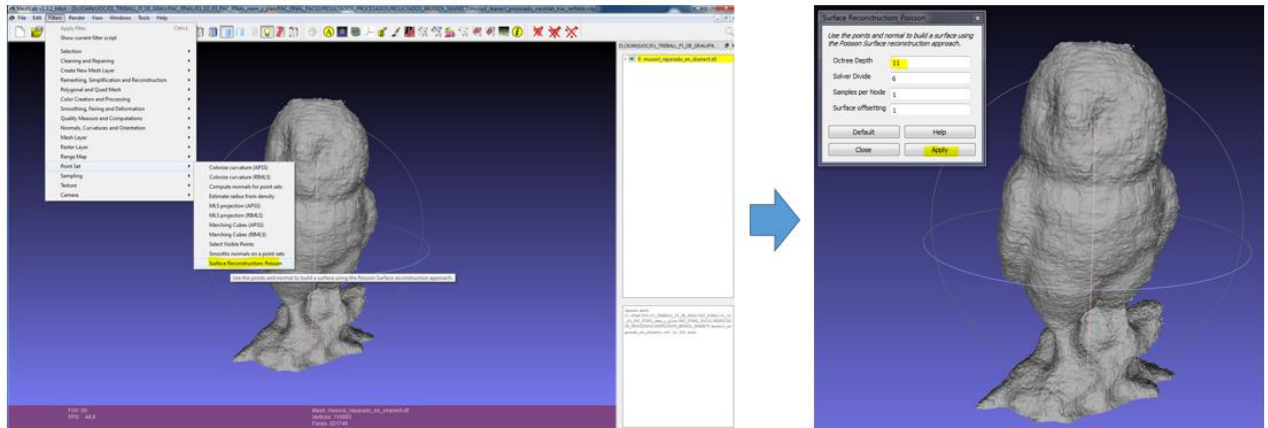


Figura 57.- Aplicación del filtro de suavizado al objeto con MeshLab

En la figura siguiente puede verse la comparación entre la el objeto original y el resultado tras aplicar el filtro. Puede observarse que en el objeto suavizado se ha eliminado el efecto “diente de sierra” en su superficie.

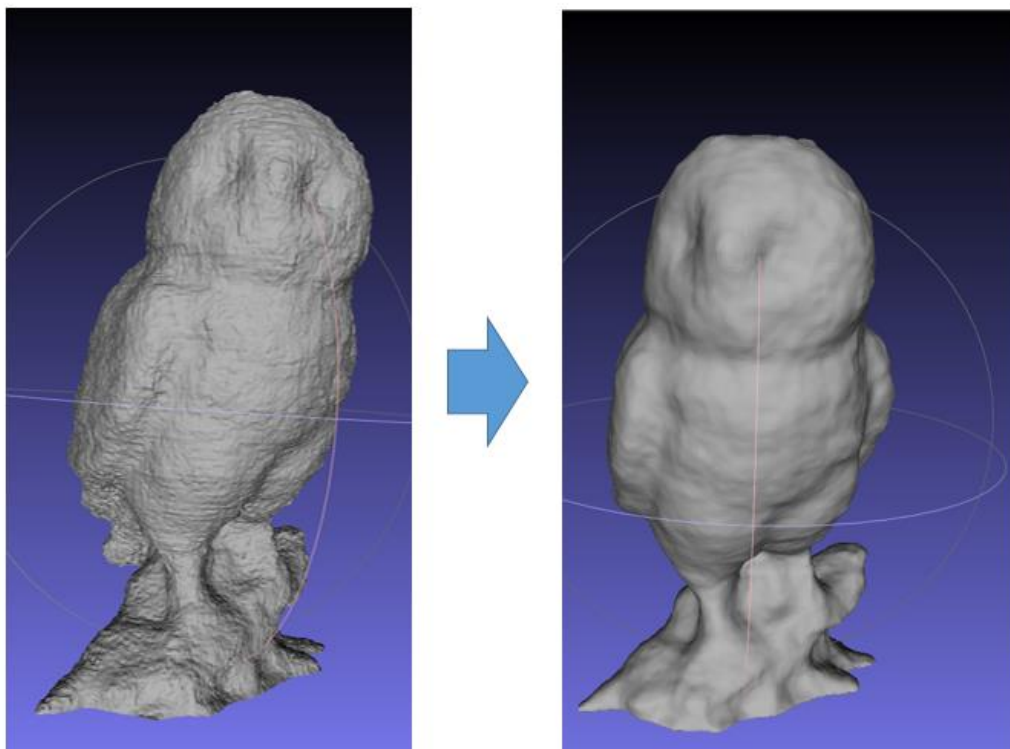


Figura 58.-Comparación del resultado antes y después de aplicar el filtro “Surface Reconstruct Poisson” de MeshLab

Se ha detectado una protuberancia en la cabeza del objeto “mussol” en tratamiento que se procederá a suavizar con Meshmixer.

Antes de procesarlo con Meshmixer se debe exportar a formato STL desde MeshLab.

Una vez en Meshmixer se “aplanará” la protuberancia que desea eliminar mediante la utilidad Sculpt / Smooth Brush una vez ajustada la medida del pincel para no afectar otras áreas que la que interesa arreglar. Manteniendo clicado el botón izquierdo del mouse y arrastrando sobre la superficie a suavizar se comprobará como ésta se va reparando.

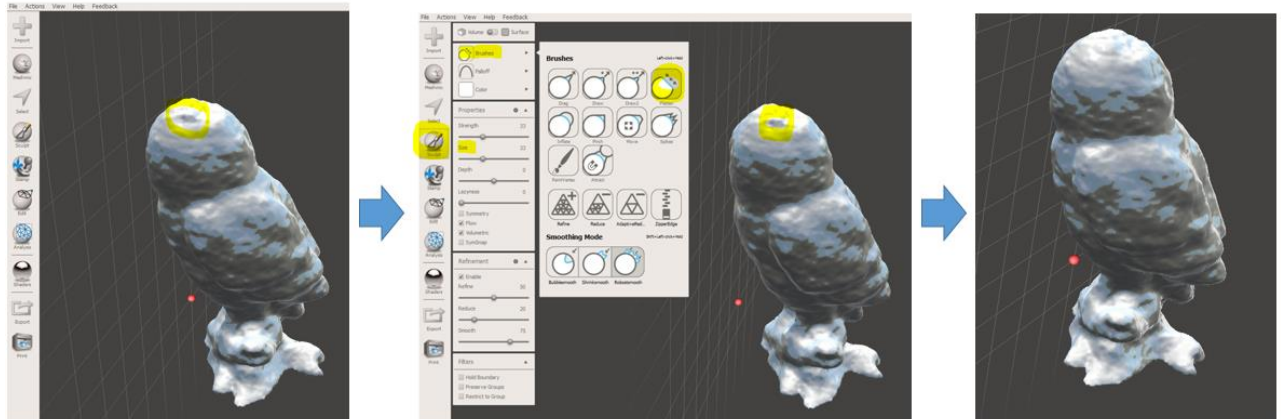


Figura 59.- Eliminación de protuberancia indeseada en el objeto, con Meshmixer

Para finalizar el proceso arreglar las irregularidades que han surgido en la parte inferior del objeto (base) tras usar el filtro de suavizado de MeshLab. Se procederá de nuevo con Netfabb cortando mediante un plano en el eje Z de forma que se elimine el defecto mencionando. Se procederá de forma similar a la descrita más arriba en este mismo apartado al eliminar la base giratoria usada durante el escaneado.

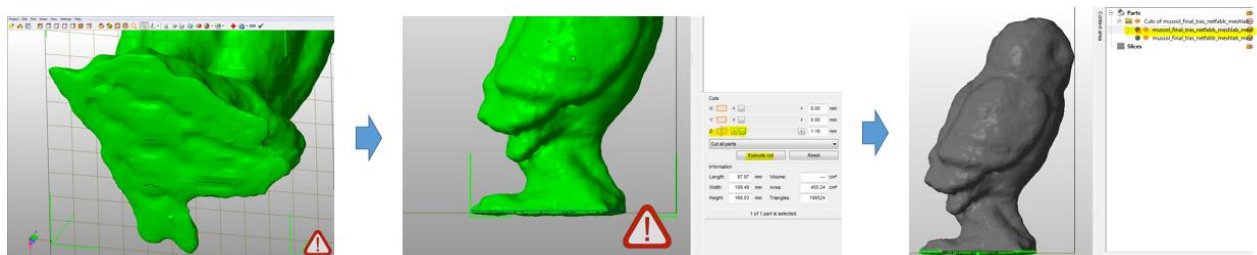


Figura 60.- Reparado final con Netfabb para eliminar defectos en la base del objeto

Dado que el objeto se considera demasiado grande para la impresión 3D se procederá a escalarlo un 60% con Netfabb pasando de 165 mm de alto a 99 mm.

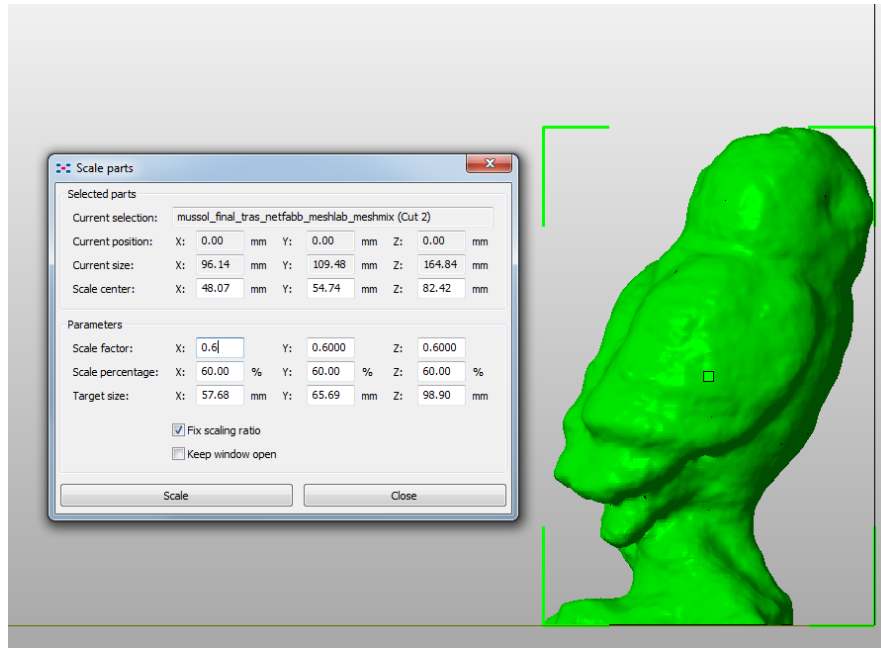


Figura 61.- Escalado del objeto con Netfabb

Y para finalizar de vuelve a desplazar al origen de coordenadas de la misma forma descrita anteriormente en esta misma sección.

Tras ello se exporta en formato STL.

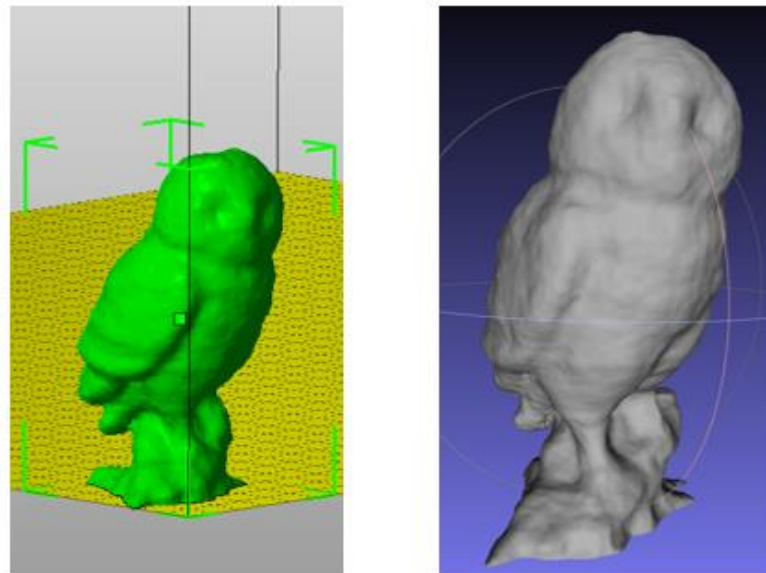


Figura 62.- Resultado final. Vista con Netfabb y MeshLab

El resultado puede también verse en las dos webs con visor 3D en las que pueden subirse los modelos:

Sculpteo : http://www.sculpteo.com/en/design/mussol_skanect_final_to_print/7YoKw8Sa

Sketchfab: <https://skfb.ly/zDJK>

(Para poder visionar correctamente los modelos en 3D quizá deba usarse Mozilla Firefox o Google Chrome)

8.3.6 *Procesado del resultado obtenido con 123D Catch*

El proceso será similar al apartado anterior aunque en este caso no se lleva a cabo el filtro de suavizado ya que será interesante ver el resultado en la impresión 3D dado el nivel de detalle conseguido.

En el momento de comprobar medidas se aprecia que el tamaño obtenido es muy reducido (altura de 22,4mm) por lo tanto se efectuará un escalado usando un factor de 4,4 para aumentar el tamaño del objeto.

A modo de resumen, en la siguiente figura se muestra un resumen del proceso seguido ya que cada paso ha sido explicado en el apartado previo.

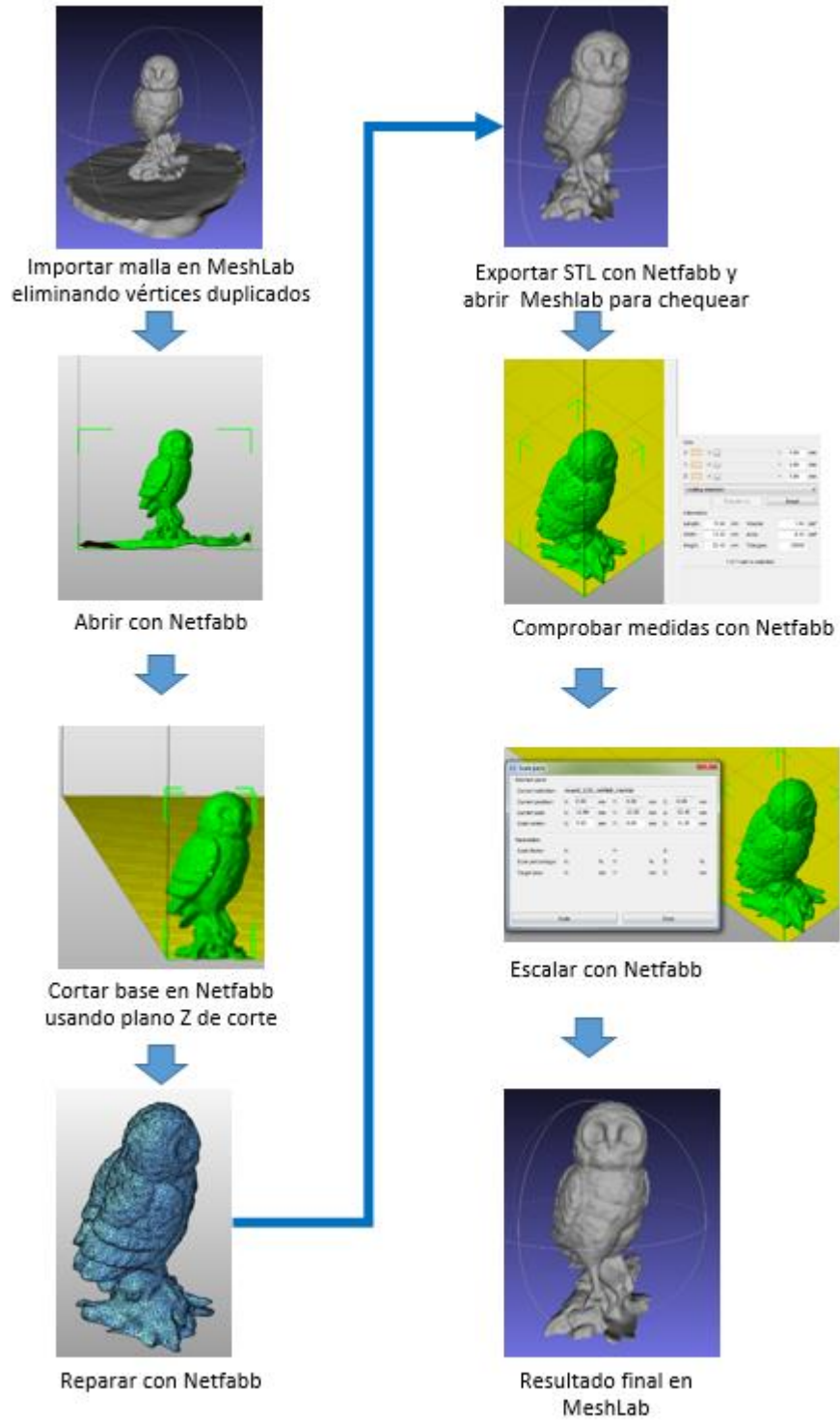


Figura 63.- Esquema del proceso seguido para el procesamiento del modelo "mussol" obtenido con 123D

El resultado puede también verse en las dos webs con visor 3D en las que pueden subirse los modelos:

Sculpteo : http://www.sculpteo.com/en/design/mussol_123d_final_to_print/FfEZYBYc

Sketchfab: <https://skfb.ly/zDJO>

(Para poder visionar correctamente los modelos en 3D quizá deba usarse Mozilla Firefox o Google Chrome)

8.3.7 Procesado del resultado obtenido 123D Catch (color)

Se procesará este resultado para su uso en Animación 3D y se investigará la posibilidad de su impresión en color.

En este caso se procesará el modelo obtenido en formato OBJ y el primer paso será tratarlo con Autodesk 3ds Max ya que MeshLab, que es el único de los softwares que estamos utilizando que puede mantener el color capturado no puede importar la malla tal como se ha obtenido de 123D Catch.

El primer paso es importar el fichero OBJ en Autodesk 3ds Max con la precaución de que los correspondientes archivos de textura tipo MTL, JPG o 3DP estén en el mismo directorio (o sepamos dónde están para redireccionar al programa cuando nos pida por alguno de ellos).

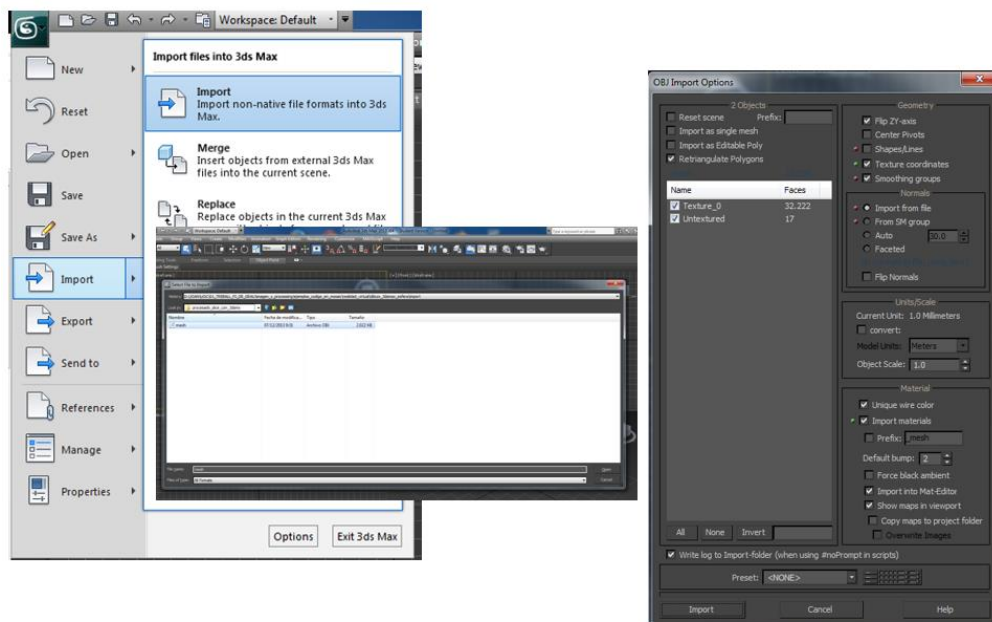


Figura 64.- Importación del modelo "mussol", con 3DS Max, obtenido con 123D Catch

Una vez finalizada la importación se puede visualizar el objeto en la pantalla de 3ds Max y se coloca el modelo de forma que esté situado perpendicular/paralelo a los ejes de coordenadas para poder operar mejor.

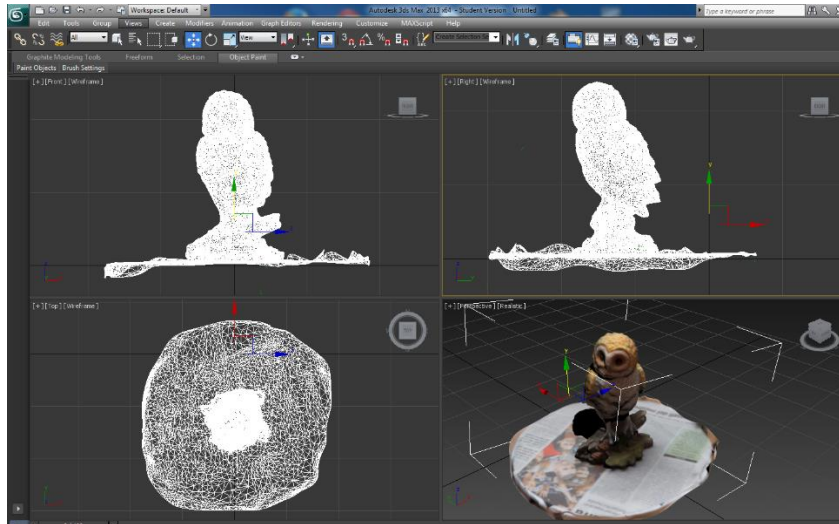


Figura 65.- Visualización del objeto "mussol" en pantalla 3ds Max una vez importado

Mediante el uso del modificador Slice de 3ds Max aplicado sobre la malla importada se procederá a cortar la parte inferior del objeto que queremos eliminar.

Una vez escogido el modificar Slice se sitúa el plano de corte a la altura deseada para poder eliminar la parte del soporte giratorio que se usó para el escaneado.

En el proceso debe mantenerse seleccionado Operate on: Polygon (que puede verse marcado en la figura que sigue). También se debe seleccionar la parte que se desea borrar (Remove Top o Remove Bottom).

En pantalla se visualizará el resultado a obtener.

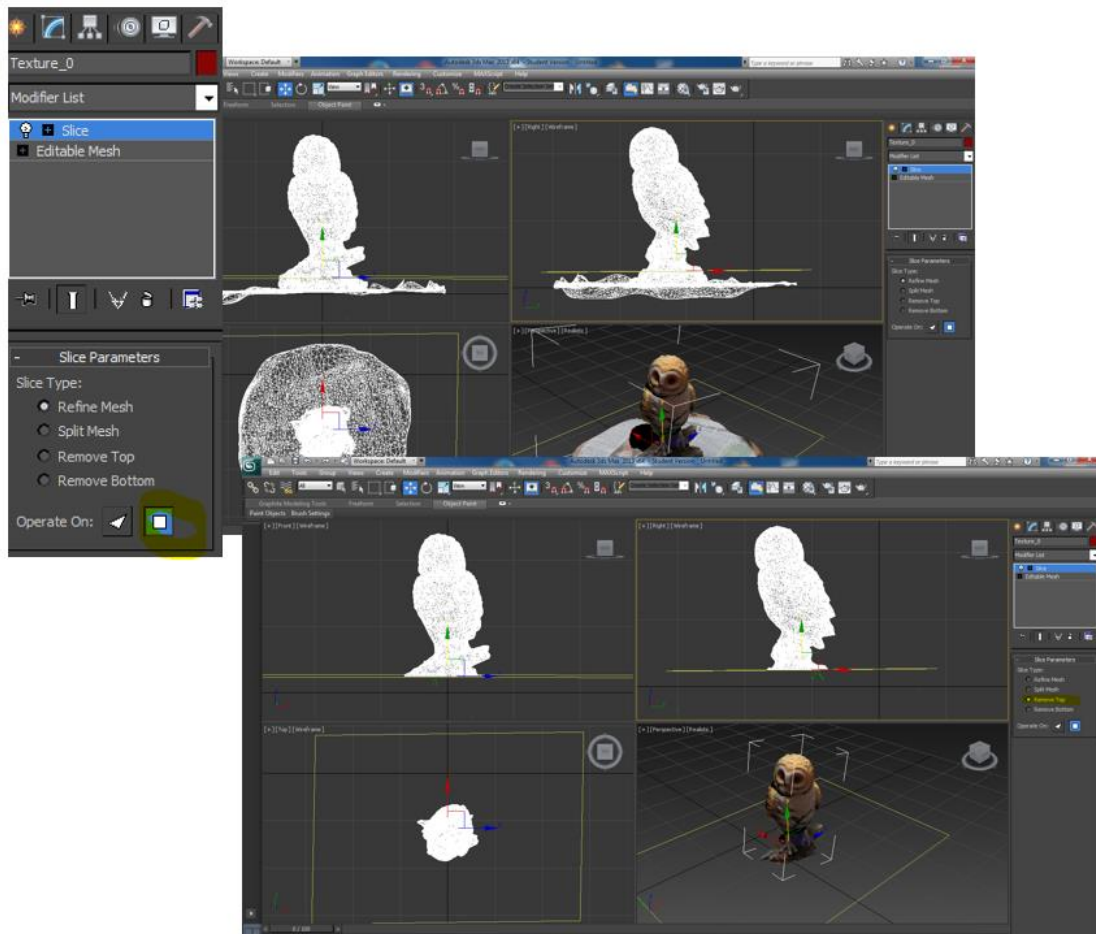


Figura 66.- Proceso de eliminación parte inferior objetos con modificador Slice de 3ds Max

Una vez cortado el objeto se debe tapan el hueco en la la parte inferior de la base.
Para ello se usa el modificador Cap Holes de 3ds Max.

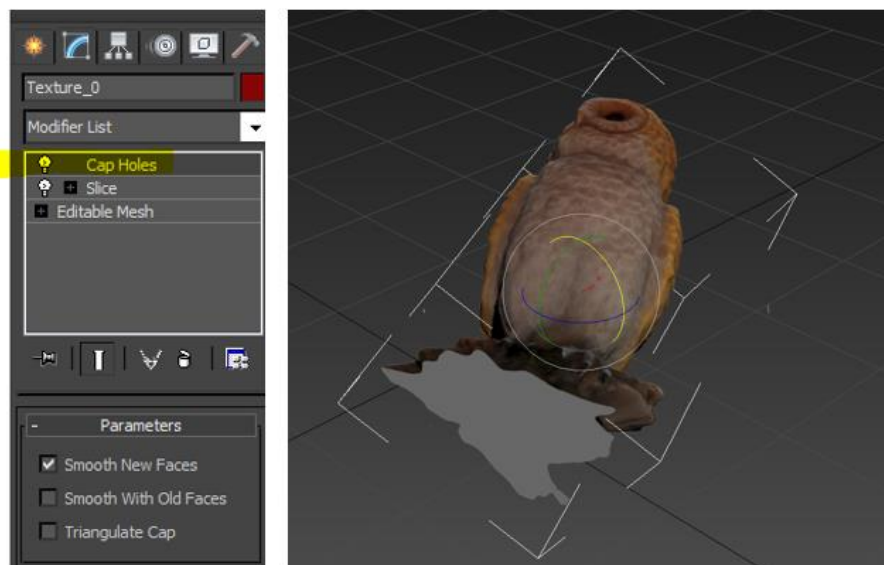


Figura 67.- Tapado del hueco de la base del objeto con el modificador Cap Holes de 3ds Max

Y como último paso antes de exportar se escala (x4) el objeto y se centra el pivote en el centro del objeto.

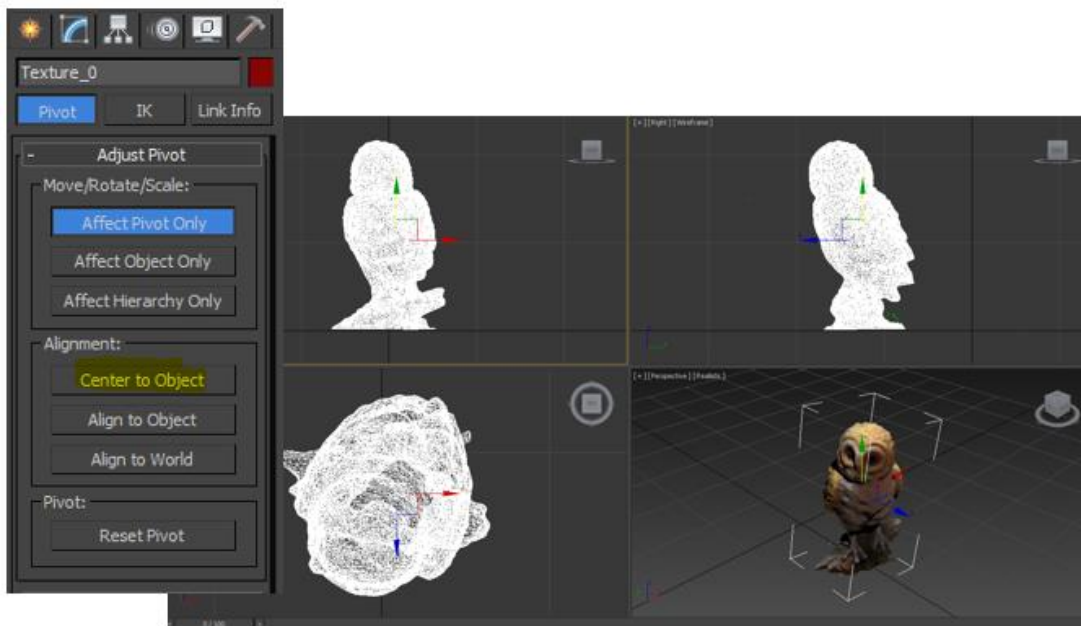


Figura 68.- Escalado y centrado del Pivote (en 3ds Max) , finalizando el proceso de "mussol" de 123D Catch en color

Y como se comentó anteriormente tan sólo resta exportar en formato OBJ.

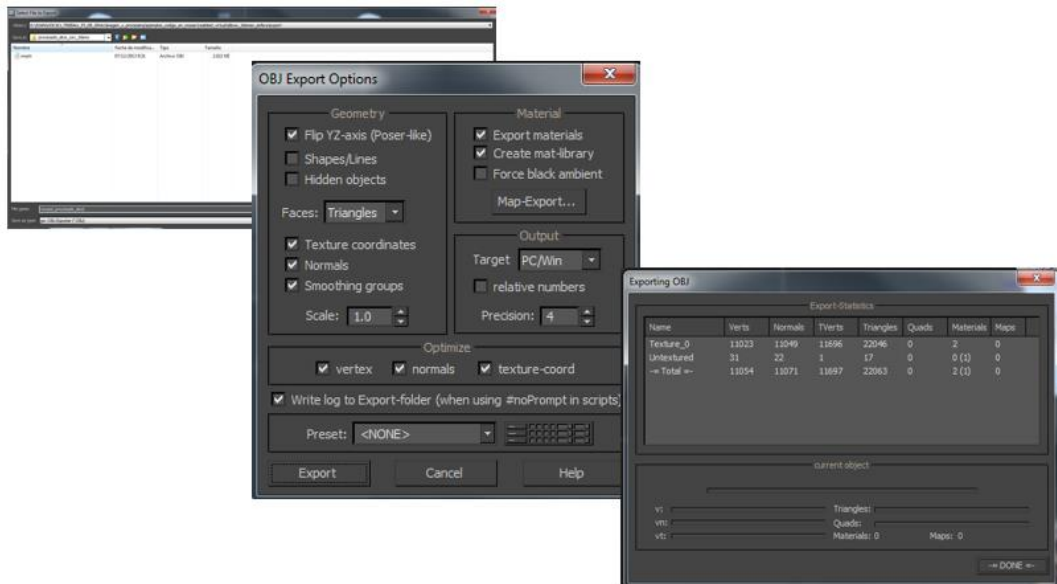


Figura 69.- Exportación desde 3ds Max en formato OBJ del objeto "mussol" en color, obtenido con 123D Catch

Para chequear el resultado se abre con MeshLab.



Figura 70.-Vista con MeshLab del objeto "mussol" en color, obtenido con 123D Catch

En la imagen anterior sólo se habían exportado los ficheros tipo OBJ y MTL, ya que la falta del JPG no surge hasta que se requiere imprimir el objeto. De forma que MesLab utilizaba el JPG original obtenido con 123D Catch. Pero tras procesar con 3ds Max es necesario exportar conjuntamente los tres ficheros (OBJ+MTL+JPG).

En este punto se debe tener en cuenta una **problemática surgida a posteriori** al subir los ficheros correspondientes al objeto final a los servidores web de los posibles suministradores del servicio de impresión 3D.

El problema es que el nuevo fichero JPG (que contiene la textura) creado al exportar el modelo desde 3ds Max ha dado como resultado que la cara frontal del "mussol" ha oscurecido y no ha sucedido lo mismo con la cara posterior.



Figura 71 .- Problemática surgida tras exportar de 3ds Max: cara frontal oscura

Se ha tratado de obtener un mejor resultado modificando parámetros de iluminación en 3ds Max pero ha sido totalmente en vano **PERO** analizando el fichero tex_0.jpg correspondiente a la textura se puede

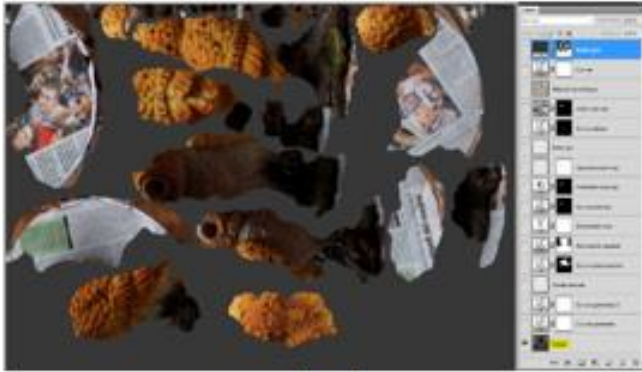
apreciar que efectivamente la zona de la imagen que corresponde a la parte frontal del objeto también es oscura.



Figura 72.- Imagen de fichero tex_0.jpg. Se marca la parte frontal oscura.

Se utilizará el programa de edición de imágenes Adobe Photoshop para solucionar el problema surgido de forma que se mejore ostensiblemente el resultado previo obtenido con 123D Catch y procesado con 3ds Max.

En la figura siguiente se describe el proceso seguido con Photoshop:



Original fichero de textura tex_0.jpg tras ser exportado desde 3ds Max. Pueden observarse las zonas oscuras que crean problemas en la calidad del resultado



Se aplican capas de ajuste de curvas con el fin de aclarar la iluminación general



Capa donde pintando en blanco sobre algunas zonas de la imagen ayudan a aclararlas (por ejemplo las patas del "mussol" que habían quedado muy indefinidas). Se baja el nivel de opacidad de la capa para evitar ver una mancha blanca sobre la imagen



Capa de ajuste de curvas usando máscara que ayudan a aclarar algunas zonas determinadas de la imagen.





Capa de ajuste de curvas. Máscara para evitar que algunas zonas (como la base rotatoria) se "quemen" al aclarar la imagen.



Capa de ajuste de intensidad de color para ajustar los colores.



Capa de ajuste de curvas que se aplica mediante máscara a la zona del ojo y su alrededor



Capa de contraste aplicada sobre el ojo para corregirlo.

El ojo izquierdo aparece todavía como un "agujero" negro a diferencia del derecho que es mucho más realista.





Capas de curvas, de ajuste de tono y saturación ..., se aplican diversas herramientas para "dar vida" al ojo izquierdo del mussol. Se ha clonado parte del derecho para armonizar. Se pinta un brillo sobre el ojo negro para dar realismo. Se corrige zona demasiado clara en la parte superior de la cabeza del mussol. Se reduce la saturación de color rojo del ojo izquierdo.



Se aplica máscara de enfoque tras juntar las capas anteriores. Se corrige, reduciendo, la iluminación general ya que se consideraba demasiado alta.



Se aplica color uniforme del fondo gris, finalizando aquí el proceso de edición de `tex_0.jpg`.

Figura 73.- Proceso seguido con Photoshop para solucionar y mejorar `tex_0.jpg`

Tras el proceso descrito se obtiene un resultado muy realista.

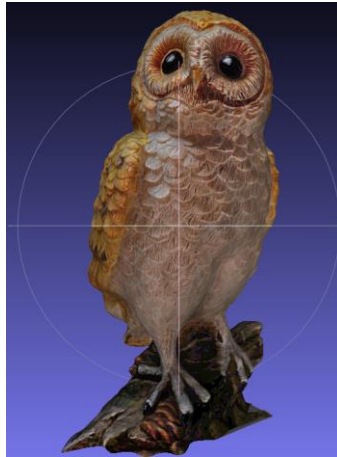


Figura 74.- Vista con MeshLab del objeto "mussol" en color, obtenido con 123D Catch tras tratar su textura en JPG con Photoshop

En resumen, mediante la edición con Photoshop de fichero tex_0.jpg que contiene los datos de textura del objeto se ha mejorado visiblemente el resultado, tal como puede verse en la siguiente figura comparativa:

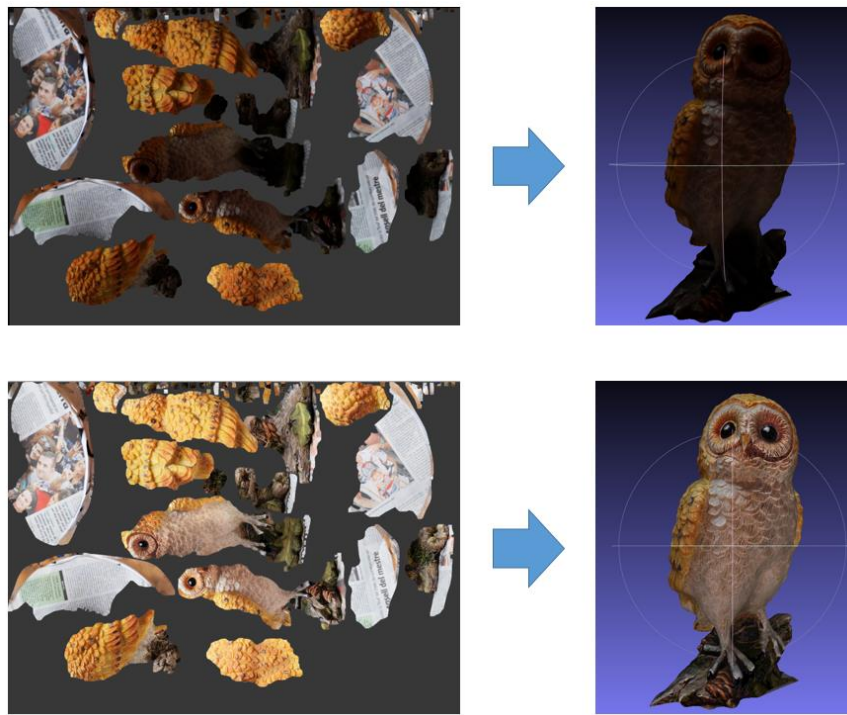


Figura 75.- Comparación resultados antes y después de tratar el fichero tex_0.jpg con Photoshop

El resultado final tras el tratamiento que se acaba de describir puede también verse en las dos webs con visor 3D a los que pueden subirse los modelos:

Sculpteo : http://www.sculpteo.com/en/design/mussol_color_123d_to_print-1/9zMdNHDU

Sketchfab: <https://skfb.ly/zHPJ>

(Para poder visionar correctamente los modelos en 3D quizá deba usarse Mozilla Firefox o Google Chrome)

8.4 Impresión 3D

Al carecer de impresora 3D propia y no tener acceso a dicho recurso de una forma factible se proceder a la buscar las posibilidades que ofrece Internet al respecto de forma que se puedan remitir electrónicamente los ficheros correspondientes a cada modelo y recibir el objeto físico por envío postal o empresa de mensajería.

Tras una intensiva búsqueda destacan los siguientes proveedores que se ajusten a la necesidad específica surgida:

- Shapeways (<http://www.shapeways.com/>)
- i.materialise (<http://i.materialise.com/>)
- Scuplteo (<http://www.sculpteo.com/en/>)
- Ponoko (<https://www.ponoko.com/>)

En el siguiente gráfico se intenta resumir la filosofía del servicio de cada uno de ellos:

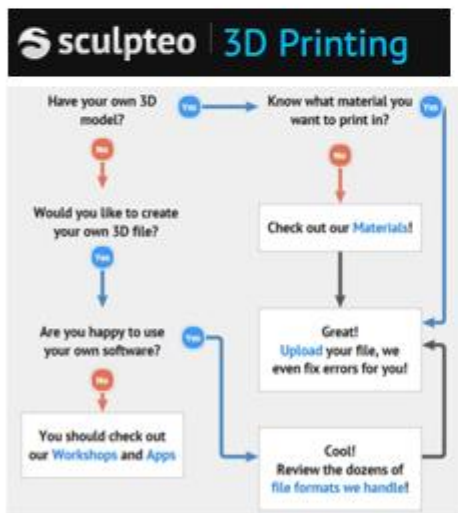
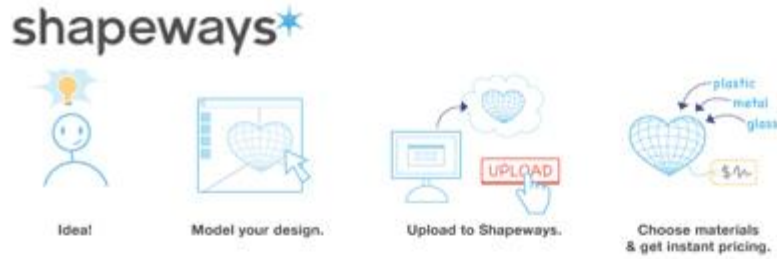


Figura 76.- Filosofía de servicio de los proveedores de impresión 3D

Dado que en este caso ya se dispone del diseño y se tiene preparado para su envío o su carga en la web del proveedor los puntos más importantes a decidir serán:

- Selección del material a usar para la impresión 3D
- Estudio de coste: material / dimensión /proveedor
- Selección del proveedor

8.4.1 Selección del material a usar para la impresión 3D

A partir de la información que se indica en los sitios web de los proveedores de servicios de impresión 3D que se han mencionado anteriormente y específicamente a partir de la información disponible sobre los distintos materiales con que se trabaja actualmente y concretamente referente a plásticos, resinas y cerámica se ha confeccionado la tabla que sigue con las características más importantes a tener en cuenta al seleccionar el material. Aparte de los materiales de la tabla también están disponibles materiales metálicos como bronce, plata, oro, latón, etc. que no son de interés en el caso que se está desarrollando.

Sirvan de referencia los distintos links de los sitios web mencionados:

<http://www.shapeways.com/materials>

<http://i.materialise.com/materials>

<http://www.sculpteo.com/en/materials/>

Las características se evalúan de 0 a 5 teniendo en cuenta que 0 indica un valor bajo de la característica tabulada y 5 un valor alto siempre relativamente a los materiales que se comparan.

MATERIAL	CARACTERÍSTICA										
	Ponderación precio (plástico)	Acabado superficial (apariciencia)	Nivel detalle	Solidez	Flexibilidad	Temp.a max antes deformación	Reciclable	Poroso	Soporta lava-vañillas	Peligro si se ingiere	Ejemplos aplicación
Poliamida (blanco)	1	3	4	4	3	86 ºC	No	Si	Si	Si	Modelos complejos, sólidos y flexibles y funcionales: lámparas, elementos ornamentales
Poliamida (color)	2	3	4	4	3	86 ºC	No	Si	Si	Si	Modelos en color complejos, sólidos y flexibles y funcionales: lámparas, elementos ornamentales
Poliamida (pulida)	2	4	4	4	3	86 ºC	No	Si	Si	Si	Modelos complejos, sólidos y flexibles y funcionales: lámparas, elementos ornamentales. Superficie suavizada mediante pulido.
Alumide (nylon+polvo aluminio)	3	3	3	5	1	130ºC	No	Si	Si	Si	Misma aplicación que poliamida aunque mayor dureza
Cera	4	5	5	1	1	43ºC	Si	No	No	Si	Usado como base para moldes de metales.
Resina	3	5	5	4	1	56ºC	No	Si	No	Si	Figuras pequeñas que se requiera un buen nivel de detalle. Es posible pintarlos.
Multicolor (polvo arena/sandstone)	1	1	4	3	0	60ºC	Si	Si	No	No	Modelos para colocar sobre la mesa, modelos arquitectónicos a escala, figuras, tec
Cerámica	1	5	1	1	0	500ºC	Si	No	Si	No	Tazas, platos, candelabros, vasijas, y otros elementos artísticos o para decoración.
Elasto plastic	3	1	1	5	3	90ºC	No	Si	No	Si	Prototipos, partes mecánicas, accesorios, ...
Detail plastic /acrílico photopolímero	4	5	4	3	3	48ºC	No	No	No	Si	Maquetas.
ABS	3	4	4	4	3	76ºC	Si	No	Si	Si	Modelos funcionales, fuertes y buen detalle. Por ejemplo: piezas de LEGO

Tabla 5.- Tabla comparativa de características de los materiales plásticos, resina o cerámica para impresión 3D

8.4.2 Estudio de coste: material / dimensión /proveedor

Se decide utilizar poliamida en todos los objetos a imprimir con excepción del objeto obtenido con 123D Catch y tratado para imprimir en color que se usará un material multicolor. Se procede a calcular el coste económico desde las páginas web propias de cada posible proveedor de impresión 3D.

Para ello se deben subir los modelos 3D en los proveedores que se van a utilizar para la valoración: Shapeways, i,materialise y Sculpteo. Se ha desestimado el sitio web Ponoko debido a la dificultad que presenta escoger el material.

Aunque cada uno de los sitios web que se han utilizado tiene sus propias particularidades, en todas ellas permite importar el modelo, verlo en el visor, posibilidad de escala la pieza a imprimir acorde a las necesidades y escoger los materiales a utilizar.

En las figuras que siguen puede verse el resultado del proceso obteniendo los precios para cada objetos en función de sus medidas y material escogido.

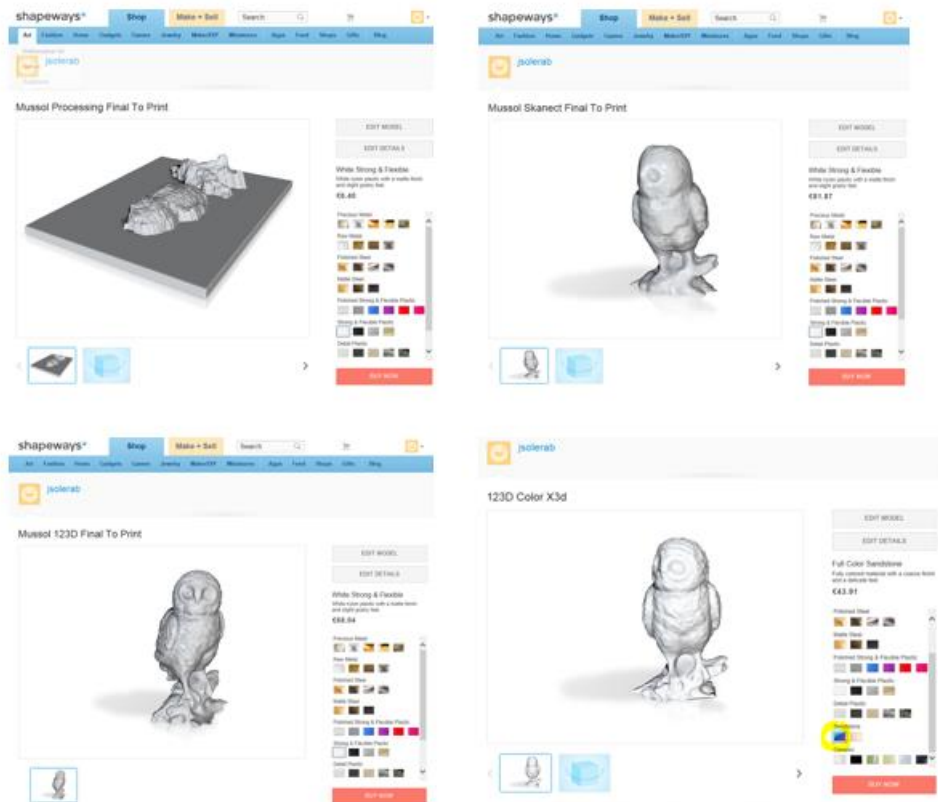


Figura 77.- Vistas de valoración económica efectuada en Shapeways

En el caso concreto de Shapeways y el objeto en color este sitio no acepta el zip con OBJ+MTL+ZIP y se debe sustituir el OBJ por un fichero tipo x3D y volver a comprimir en zip. (Se podría haber utilizado también el formato VRML).

La conversión del formato OBJ a X3D se ha llevado a cabo mediante MeshLab. Es la excepción ya que el resto sí es aceptado el fichero tipo OBJ.

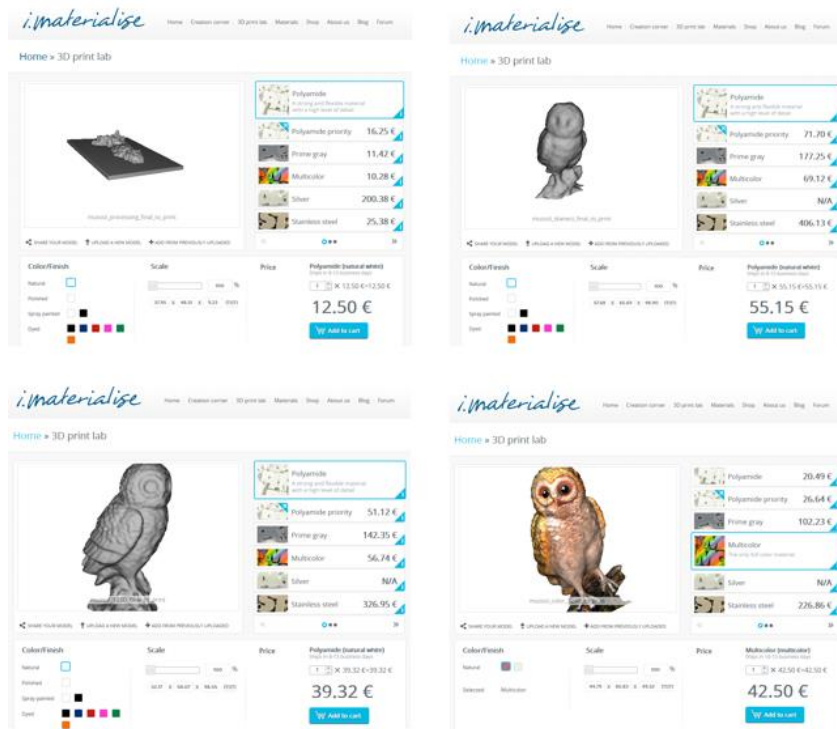


Figura 78.-Vistas de valoración económica efectuada en i.materialise



Figura 79.- Vistas de valoración económica efectuada en Sculpteo

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos:

		COSTE																				
		DIMENSIONES					Shapeways					i.materialise					Sculpteo					
OBJETO	"MIJSSOL"	Alto (mm)	Ancho (mm)	Profundo (mm)	Volumen (cm ³)	Clase material	Coste material (€)	Coste fijo (€)	Coste envío (€)	Coste total pieza (€)	Coste material (€)	Coste fijo (€)	Coste envío (€)	Coste total pieza (€)	Coste material (€)	Coste fijo (€)	Coste envío (€)	Coste total pieza (€)	Coste material (€)	Coste fijo (€)	Coste envío (€)	Coste total pieza (€)
Processing		9,2	48,5	38,0	4,1	Poliamida	6,4	0,4	9,5	16,3	12,5	1,3	0,0	13,8	6,0	0,0	0,0	6,0	6,0	0,0	0,0	6,0
Skaneet		98,9	65,7	57,7	115,3	Poliamida	81,9	5,3	9,5	96,7	55,2	5,5	0,0	60,7	133,4	0,0	0,0	133,4	133,4	0,0	0,0	133,4
123D		98,6	58,1	52,2	88,6	Poliamida	68,0	4,4	9,5	82,0	39,3	3,9	0,0	43,3	106,3	0,0	0,0	106,3	106,3	0,0	0,0	106,3
123D COLOR		85,8	49,5	44,8	62,7	Multicolor	43,9	2,9	9,5	56,3	42,5	4,3	0,0	46,8	53,1	0,0	0,0	53,1	53,1	0,0	0,0	53,1
							Coste total piezas Shapeways					Coste total piezas i.materialise					Coste total piezas Sculpteo					
							251,2 €					164,4 €					298,8 €					

Tabla 6.- Dimensiones y comparación costes entre distintos posibles suministradores (costes a 12/04/2014)

Cualquiera de los tres posibles proveedores mencionados más arriba puede ser seleccionado aparte que posiblemente existen otros perfectamente válidos que no se han incluido en este estudio.

Generalmente dependiendo del proveedor el plazo de entrega varía entre 8 y 15 días laborables.

8.5 Aplicación a Animación 3D

El propósito de este apartado es preparar una animación 3D para comprobar que los objetos resultantes obtenidos se pueden usar formando parte de animaciones 3D.

Se desarrolla una animación con 3d Studio Max (Autodesk) y se edita con After Effects (Adobe). Dicha animación 3D describirá visualmente el proceso seguido desde el escaneado del modelo en las distintas formas desarrolladas anteriormente hasta su impresión 3D.

8.5.1 Storyboard de la animación 3D

En las figuras siguientes se presenta el storyboard a seguir:

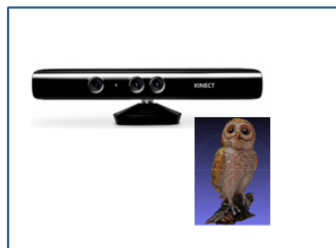
página 1 de 3

Storyboard de: TFG de Joan Soler Abelló
(Captura y tratamiento digital para impresión 3D)

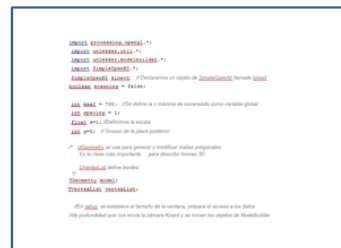
Con After Effects de añadirán los títulos, textos explicativos y transiciones necesarios.



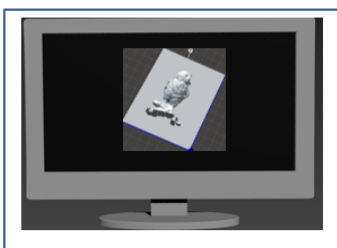
ESCENA 1
Vista alrededor del modelo a "capturar".



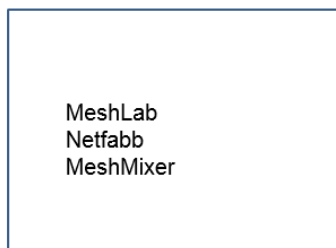
ESCENA 2
Proceso captura con Processing. Vista del escáner tomando puntos



ESCENA 3
(En After Effects se insertará plano del código de programa "corriendo")



ESCENA 4
Vista de pantalla de PC donde se crea una figura 3D con el resultado de Processing.



ESCENA 5
(En After Effects pasarán como texto los programa y utilidades más importante utilizados para procesar el resultado)



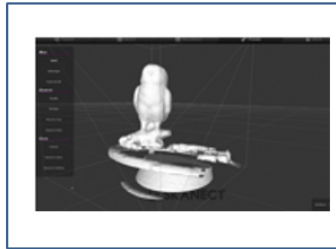
ESCENA 6
Vista de impresora 3D imprimiendo el objeto Processing

Storyboard de: TFG de Joan Soler Abelló
(Captura y tratamiento digital para impresión 3D)

Con After Effects de añadirán los títulos, textos explicativos y transiciones necesarios



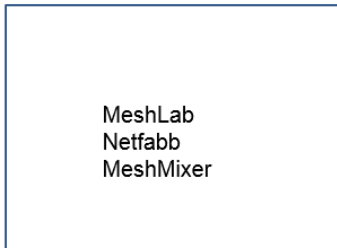
ESCENA 7
Proceso captura con Skanect. Vista del escáner tomando puntos. Figura girando



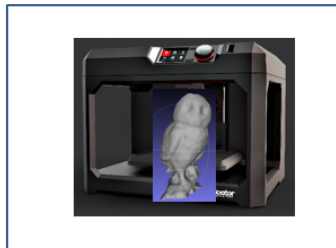
ESCENA 8
(En After Effects se insertará vista del interface del programa Skanect)



ESCENA 9
Vista de pantalla de PC donde se crea una figura 3D con el resultado del escaneo con Skanect



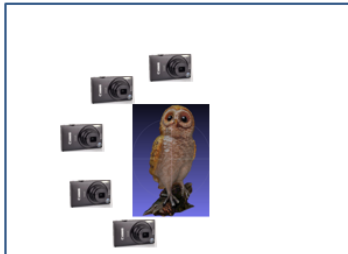
ESCENA 10
(En After Effects pasarán como texto los programa y utilidades más importante utilizados para el procesado)



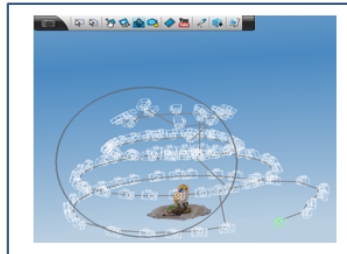
ESCENA 11
Vista de impresora 3D imprimiendo el objeto Skanect

Storyboard de: TFG de Joan Soler Abelló
(Captura y tratamiento digital para impresión 3D)

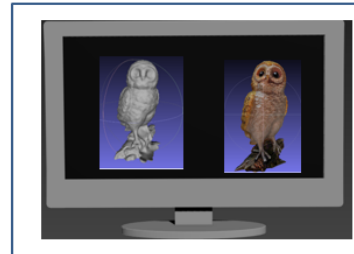
Con After Effects de añadirán los títulos, textos explicativos y transiciones necesarios



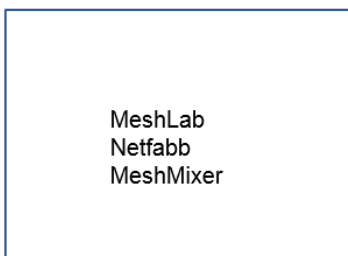
ESCENA 12
Proceso captura con 123D Catch. Vista del la cámara tomando fotos.



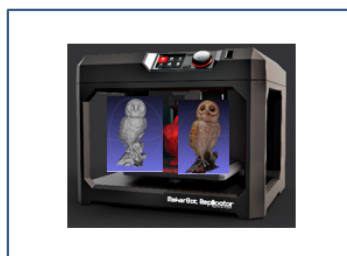
ESCENA 13
(En After Effects se insertará vista del interface del programa 123D Catch)



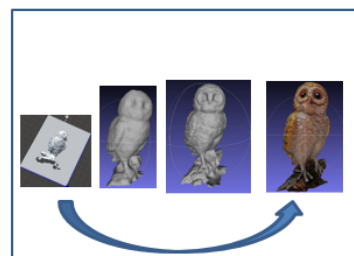
ESCENA 14
Vista de pantalla de PC donde se crea una figura 3D con los dos resultados desde 123D Catch (b/n y color) a la vez



ESCENA 15
(En After Effects pasarán como texto los programa y utilidades más importante utilizados para el procesado)



ESCENA 16
Vista de impresora 3D imprimiendo los objetos obtenidos con 123D Catch



ESCENA 17
Ultima escena con todos los resultados juntos girando.

Figura 80 .- Storyboard (3 ilustraciones) de la animación 3D

8.5.2 Preparación de los elementos que se incluyen en las distintas escenas

Además de los objetos obtenidos (mussol) usando las diversas tecnologías descritas anteriormente hará falta disponer de otros elementos como el escáner, el PC, impresora 3D, etc además de suelos, paredes, luces, y demás elementos que conforman cada escena.

Algunos de los elementos (PC e impresora 3D) se han obtenido en Internet y otros (como el escáner) se han creado.

En la tabla siguiente se muestran la base de las escenas más importantes.

 <p>Escenario preparado para la primera escena donde la cámara girará alrededor del modelo.</p>	 <p>Puesta en escena del modelo y el escáner</p>
 <p>Escena preparada para la visión del resultado 3D en el PC</p>	 <p>Vista de la impresora 3D en la que se crea la analogía de impresión del objeto en 3D.</p>
 <p>Escena final donde los distintos objetos girarán.</p>	

Tabla 7.- Vista de las escenas principales creadas para la animación 3D

8.5.3 Creación de las escenas con 3ds Max (Autodesk)

En la tabla siguiente se describen algunos puntos importantes en el proceso de creación de las escenas con 3ds Max.

ESCENA / IMAGEN	COMENTARIOS (creación escenas con 3ds Max)
<u>Escena 1:</u>	Se crea una cámara que girará alrededor del modelo
<u>Escena 2:</u>	<p>Partiendo de un plano cerrado del escáner 3D la cámara efectúa un travelling hasta encuadrar la escena completa.</p> <p>Se realiza una animación de un símil de los parpadeos luminosos de los pilotos del escáner. Se efectúa con pequeñas esferas luminosas, parametrizando su característica visibilidad. El material de las esferas es autoiluminado. (Se debe aclarar que la luz verde que simula la recogida de datos RGB y la azul que corresponde a la captación de la luz infrarroja reflejada en el objeto, no tiene lugar en la realidad)</p>
<u>Escena 3:</u>	Se construirá totalmente en After Effects (AE) moviendo una imagen correspondiente al código de programación de Processing.
<u>Escena 4:</u>	La composición de la escena del PC se realiza en 3d Max aunque la película que corresponde al objeto rotando se lleva a cabo independiente para posteriormente adaptar en AE el plano de la animación a la posición de la pantalla del PC.
<u>Escena 5:</u>	Se prepara totalmente en AE animado textos y/o imágenes de los programas de reparación utilizados sobre los resultados obtenidos.
<u>Escena 6:</u>	Se anima el cabezal de la impresora 3D dando la sensación de que está imprimiendo. Se crea un efecto de Superspray (a modo de chorro) simulando el material usado para imprimir. Durante el periodo de tiempo que el cabezal se mueve el objeto (mussol obtenido mediante la técnica que se ha denominado "mussol Processing", en este documento, no está presente en la escena de forma que la animación del objeto apareciendo se llevará a cabo en AE mediante una máscara.
<u>Escena 7:</u>	Animación realizada de forma similar a la escena 2 aunque usando otro objeto y aplicando una rotación a la base donde éste descansa tras haber aplicado un link entre la base y el objeto ya que la adquisición de los puntos del modelo mediante el escáner 3D se efectúa girando éste alrededor de su eje.
<u>Escena 8:</u>	La composición de la escena del PC se realiza completamente en AE usando una imagen del interface del programa de adquisición (Skanect).
<u>Escena 9:</u>	La composición de la escena del PC se realiza en 3d max aunque la película que corresponde al objeto rotando se lleva a cabo independiente para posteriormente adaptar en AE el plano de la animación a la posición de la pantalla del PC.
<u>Escena 10:</u>	Se prepara totalmente en AE animado textos y/o imágenes de los programas de reparación utilizados sobre los resultados obtenidos.
<u>Escena 11:</u>	Se anima el cabezal de la impresora 3D dando la sensación de que está imprimiendo. Se crea un efecto de Superspray (a modo de chorro) simulando el material usado para imprimir. Durante el periodo de tiempo que el cabezal se mueve el objeto (mussol obtenido mediante la técnica que se ha denominado "mussol Skanect", en este documento, no está presente en la escena de forma

ESCENA / IMAGEN	COMENTARIOS (creación escenas con 3ds Max)
	que la animación del objeto apareciendo se llevará a cabo en AE mediante una máscara.
<u>Escena 12:</u>	La animación de la cámara fotográfica se lleva a cabo mediante que ésta siga la trayectoria de una forma helicoidal creada anteriormente en el propio 3ds Max, (por medio de asignar la cámara fotográfica, con Path Constraint, a dicha trayectoria). Las paradas para simular que toma una instantánea en algunos puntos del recorrido se efectuará en AE.
<u>Escena 13:</u>	En AE se usará una imagen capturada del interface del programa de 123D Catch.
<u>Escena 14:</u>	La composición de la escena del PC se realiza en 3d max aunque la película que corresponde a los objetos rotando se lleva a cabo independiente para posteriormente adaptar en AE el plano de cada una de las animaciones a la posición de la pantalla del PC.
<u>Escena 15:</u>	Se prepara totalmente en AE animado textos y/o imágenes de los programas de reparación utilizados sobre los resultados obtenidos
<u>Escena 16:</u>	Se anima el cabezal de la impresora 3D dando la sensación de que está imprimiendo. Se crea un efecto de Superspray (a modo de chorro) simulando el material usado para imprimir. Durante el periodo de tiempo que el cabezal se mueve los objetos (mussol obtenido mediante la técnica que se ha denominado “mussol 123D” y “mussol 123D color”, en este documento, no está presente en la escena de forma que la animación de los objetos apareciendo se llevará a cabo en AE mediante una máscara sobre cada uno de ellos.
<u>Escena 17:</u>	Se realiza una animación de forma que se linkan todos los objetos a un cilindro central (que no se renderiza). Al girar el cilindro giran todos los objetos a la vez que se hace una pequeña animación en cada uno de ellos para que a su vez giren sobre sí mismos.

Tabla 8.- Descripción sobre creación de escenas de animación 3D con 3ds Max.

El resultado de la primera composición (en bruto) de todas las escenas completamente sin editar puede encontrarse en:

<https://vimeo.com/95185146> (Link donde puede verse la animación en bruto).

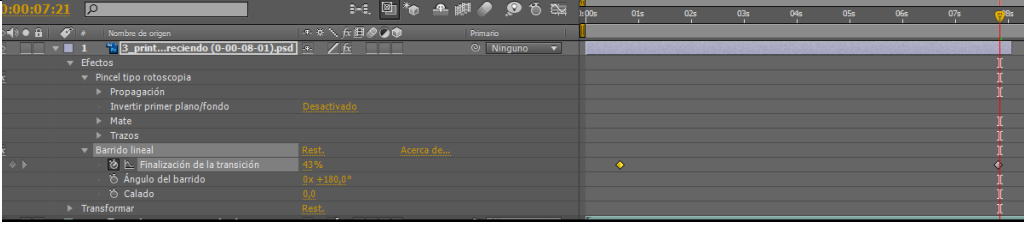
8.5.4 Edición con After Effects (Adobe)

En la tabla que sigue, se describen los puntos más importantes correspondientes a la edición de las escenas mediante After Effects (AE) usando videos creados previamente con 3ds Max, imágenes de escena creados también con 3ds Max e imágenes obtenidas en Internet (como por ejemplo los logos de los distintos softwares utilizados).

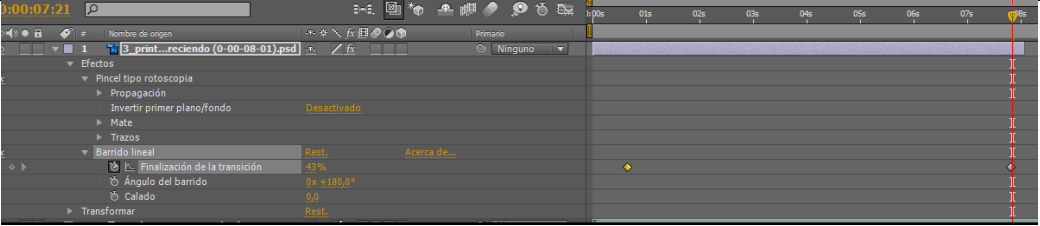
En el caso de aplicar transiciones entre los distintos cortes de video de cada escena no se considera incluirlas en las descripciones mencionadas. En general se ha utilizado una fusión a negro entre las escenas.

ESCENA / IMAGEN	COMENTARIOS (edición con After Effects)
<p><u>Escena 1:</u> Título, modelo girando y lista contenido</p>	<p>Al inicio de la escena 1 se incluyen los títulos pertinentes sobre el video de animación, autor, universidad y logo de la UOC.</p> <p>La propia escena 1 se importa completa de 3ds Max mostrando la vista de la cámara girando alrededor del modelo. Se añade un texto en la parte superior derecha indicando que se muestra el modelo "mussol".</p> <p>La escena finaliza con una lista de los distintos procesos utilizados para la captura de modelo 3D. Se usa la propiedad Opacidad en el título para que éste aparezca gradualmente. En cuanto a la lista de ha aplicado un efecto "Entrada gradual por línea" para que aparezcan paulatinamente cada línea.</p>
<p><u>Escena 2:</u> Captura con Processing</p>	<p>El contenido de la escena base se ha realizado con 3ds Max y es importada a AE. En ella se muestra la captura de puntos mediante el escáner 3D Kinect provenientes del modelo "mussol". Al iniciar la escena de ha añadida un título indicativo del proceso que se describe "Captura con Processing".</p> <p>También se ha añadido unos sonidos como efecto del funcionamiento del escáner.</p>
<p><u>Escena 3:</u> Simulación hoja programación Processing</p>	<p>Para representar el procesado de los datos obtenidos, se dispone con AE una escena usando parte del código del programa de Processing de forma que aparezcan diversas hojas del código de programación (usando el efecto de animación "Zoom espiral". A su vez al logo del software se le ha aplicado una animación, cambiando de tamaño, simulando un bombeo o palpitación.</p>
<p><u>Escena 4:</u> Vista resultado obtenido con Processing en pantalla PC</p>	<p>Esta escena se configura mediante una imagen fija del PC, su base y el entorno procedente de 3ds Max y aparte una animación en 3Ds Max del objeto capturado con Processing. Con ello se ha editado el video de forma que el plano de la animación girando esté en el mismo plano de la pantalla del PC. Para ello se ha debido utilizar la tercera dimensión en 3D de AE, y mediante la modificación de los ángulos según los tres ejes del plano que contiene la animación ajustarla a la pantalla del PC.</p> <p>En la escena que aparece en la pantalla del video se aplica un efecto transitorio de entrada: "Barridos venecianos".</p> <p>El video que se obtiene es el que se utiliza en esta escena.</p>
<p><u>Escena 5:</u> Corta descripción programas utilizados para procesar el</p>	<p>Se utiliza el logo de MeshMixer girando alrededor del eje Y (una vez activado el modo 3D en la capa del AE que lo contiene.</p> <p>Aparece un breve texto descriptivo de la funcionalidad usada del programa.</p>

ESCENA / IMAGEN	COMENTARIOS (edición con After Effects)
<p>resultado obtenido con Processing</p>	
<p><u>Escena 6:</u> Impresión 3D del objeto capturado mediante la utilización de Processing</p>	<p>Se inserta en una capa en la línea de tiempo de AE una composición de video sin el objeto durante éste se está “imprimiendo”. O sea que en la animación que se exporta desde 3ds Max sólo aparece el “mussol” al final de la animación cuando está completo, se ha parado el cabezal de la impresora y la pieza resultante se mueve hacia el exterior de la impresora 3D.</p> <p>Se obtiene desde AE una imagen de la impresora con el objeto impreso completo antes de trasladarse. Ello se efectúa mediante Composición / Guardar fotograma como / Archivo / Photoshop.</p> <p>Se importa dicha imagen en otra capa, con duración 0, y se coloca encima de la capa donde se dispone de la animación de la impresora con el cabezal moviéndose y que a partir de cierto momento el objeto aparece de golpe (considerándose completo) y se traslada y gira fuera del receptáculo de la impresora.</p> <p>A la capa en que se encuentra la imagen (capa superior) se le aplica (mediante efectuar doble clic sobre ella) la herramienta “Pincel Rotoscopia”.</p> <p>Se extiende en la capa creada el efecto pincel de rotoscopia hasta el primer fotograma en que el mussol ya aparece (completo) en el video (capa inferior).</p> <p>Con ello lo que se ha hecho es crear una máscara de forma que el área que dibujemos con el pincel será lo que veamos (si no aplicamos una inversión) de la capa de la imagen fija, el resto se mantiene transparente dejando ver el video de la capa inferior.</p> <p>Con el pincel de rotoscopia marcamos el contorno del mussol:</p> <div data-bbox="735 1323 1142 1655" data-label="Image"> </div> <p>Y a la capa de la imagen también aplicamos un efecto: Transición / Barrido lineal con ángulo 180° para que vaya “descubriendo” la imagen (definida por el contorno seleccionado) de abajo a arriba.</p> <p>También deben ajustarse los puntos (keyframes) para marcar el principio y final de la transición definiendo la aparición del objeto gradualmente.</p>

ESCENA / IMAGEN	COMENTARIOS (edición con After Effects)
	 <p>Se ha utilizado un efecto sonoro de una impresora funcionado.</p>
<p><u>Escena 7:</u> Captura con Skanect</p>	<p>El contenido de la escena base se ha realizado con 3ds Max y es importada a AE. En ella se muestra la captura de puntos mediante el escáner 3D Kinect provenientes del modelo “mussol”. Al iniciar la escena de ha añadida un título indicativo del proceso que se describe “Captura con Skanect”.</p> <p>En este caso el modelo gira sobre si mismo durante la captura.</p> <p>También se ha añadido unos sonidos como efecto del funcionamiento del escáner.</p>
<p><u>Escena 8:</u> Animación de la vista del interface de Skanect</p>	<p>Aplicando a una imagen el efecto de “Entrar hasta el margen” y escalando la otra imagen de pequeña a grande se lleva a cabo una animación que simula que una imagen empuja a la otra para mostrarse.</p>
<p><u>Escena 9:</u> Vista resultado obtenido con Skanect en pantalla PC</p>	<p>Esta escena se configura mediante una imagen fija del PC, su base y el entorno procedente de 3ds Max y aparte una animación en 3Ds Max del objeto capturado con Skanect. Con ello se ha editado el video de forma que el plano de la animación girando esté en el mismo plano de la pantalla del PC. Para ello se ha debido utilizar la tercera dimensión en 3D de AE, y mediante la modificación de los ángulos según los tres ejes del plano que contiene la animación ajustarla a la pantalla del PC.</p> <p>En la escena que aparece en la pantalla del video se aplica un efecto transitorio de entrada: “Disolver bloques” (aplicada a la inversa).</p> <p>El video que se obtiene es el que se utiliza en esta escena.</p>
<p><u>Escena 10:</u> Corta descripción programas utilizados para procesar el resultado obtenido con Skanect</p>	<p>Se utilizan los logos de los programas girando alrededor del eje Y (una vez activado el modo 3D en la capa del AE que los contiene en cada caso).</p> <p>Aparece un breve texto descriptivo de la funcionalidad usada del programa.</p> <p>La animación se ha llevado a cabo de forma que el logo gira al muestra el texto de la funcionalidad usada,</p>
<p><u>Escena 11:</u> Impresión 3D del objeto capturado mediante la utilización de Skanect</p>	<p>Se inserta en una capa en la línea de tiempo de AE una composición de video sin el objeto durante éste se está “imprimiendo”. O sea que en la animación que se exporta desde 3ds Max sólo aparece el “mussol” al final de la animación cuando está completo, se ha parado el cabezal de la impresora y la pieza resultante se mueve hacia el exterior de la impresora 3D.</p>

ESCENA / IMAGEN	COMENTARIOS (edición con After Effects)
	<p>Se obtiene desde AE una imagen de la impresora con el objeto impreso completo antes de trasladarse. Ello se efectúa mediante Composición / Guardar fotograma como / Archivo / Photoshop.</p> <p>Se importa dicha imagen en otra capa, con duración 0, y se coloca encima de la capa donde se dispone de la animación de la impresora con el cabezal moviéndose y que a partir de cierto momento el objeto aparece de golpe (considerándose completo) y se traslada y gira fuera del receptáculo de la impresora.</p> <p>A la capa en que se encuentra la imagen (capa superior) se le aplica (mediante efectuar doble clic sobre ella) la herramienta “Píncel Rotoscopia”.</p> <p>Se extiende en la capa creada el efecto pincel de rotoscopia hasta el primer fotograma en que el mussol ya aparece (completo) en el video (capa inferior).</p> <p>Con ello lo que se ha hecho es crear una máscara de forma que el área que dibujemos con el pincel será lo que veamos (si no aplicamos una inversión) de la capa de la imagen fija, el resto se mantiene transparente dejando ver el video de la capa inferior.</p> <div data-bbox="705 974 1171 1299" data-label="Image"> </div> <p>Con el pincel de rotoscopia marcamos el contorno del mussol:</p> <div data-bbox="810 1361 1066 1686" data-label="Image"> </div> <p>Y a la capa de la imagen también aplicamos un efecto: Transición / Barrido lineal con ángulo 180° para que vaya “descubriendo” la imagen (definida por el contorno seleccionado) de abajo a arriba.</p> <p>También deben ajustarse los puntos (keyframes) para marcar el principio y final de la transición definiendo la aparición del objeto gradualmente.</p>

ESCENA / IMAGEN	COMENTARIOS (edición con After Effects)
	 <p>Se ha utilizado un efecto sonoro de una impresora funcionado.</p>
<p><u>Escena 12:</u> Captura con 123D Catch</p>	<p>La animación de la cámara fotográfica girando alrededor del modelo de importa totalmente de 3ds Max y en AE se aplica un efecto de Iris Wipe simulando la apertura y cierre de diafragma al hacer una instantánea</p> <p>Se utiliza como efecto sonoro el sonido de una cámara al disparar.</p>
<p><u>Escena 13:</u> Animación de la vista del interface de 123D Catch</p>	<p>Se aplica el efecto Estirar horizontal a una imagen de la interface de 123D Catch de derecha a izquierda hasta que ésta llegue hasta una imagen fija del logo de esta aplicación.</p>
<p><u>Escena 14:</u> Vista resultados, b/n y color, obtenidos con 123D Catch en pantalla PC</p>	<p>Esta escena se configura mediante una imagen fija del PC, su base y el entorno procedente de 3ds Max y aparte una animación en 3Ds Max de los objetos capturados con 123D Catch. Con ello se ha editado el video de forma que el plano de la animación girando esté en el mismo plano de la pantalla del PC. Para ello se ha debido utilizar la tercera dimensión en 3D de AE, y mediante la modificación de los ángulos según los tres ejes del plano que contiene la animación ajustarla a la pantalla del PC.</p> <p>En la escena que aparece en la pantalla del video se aplica un efecto transitorio de entrada: "CC Image Wipe".</p> <p>El video que se obtiene es el que se utiliza en esta escena.</p>
<p><u>Escena 15:</u> Corta descripción programas utilizados para procesar el resultados obtenidos 123D Catch (en ambos casos, b/n y color)</p>	<p>Se utilizan los logos de los programas girando alrededor del eje Y (una vez activado el modo 3D en la capa del AE que los contiene en cada caso.</p> <p>Aparece un breve texto descriptivo de la funcionalidad usada del programa.</p> <p>La animación se ha llevado a cabo de forma que el logo gira al muestra el texto de la funcionalidad usada.</p> <p>En este caso la escena de ha desdoblado en dos para mostrar el proceso sobre el objeto en b/n y para el caso del objeto en color.</p>
<p><u>Escena 16:</u> Impresión 3D de los objetos capturados mediante la utilización de 123D Catch</p>	<p>Se inserta en una capa en la línea de tiempo de AE una composición de video sin los objetos durante éstos se están "imprimiendo". O sea que en la animación que se exporta desde 3ds Max sólo aparece los dos "mussol" al final de la animación cuando están completos, se ha parado el cabezal de la impresora y las piezas resultantes se mueven hacia el exterior de la impresora 3D.</p>

ESCENA / IMAGEN	COMENTARIOS (edición con After Effects)
	<p>Se obtiene desde AE una imagen de la impresora con los objetos impresos completos antes de trasladarse. Ello se efectúa mediante Composición / Guardar fotograma como / Archivo / Photoshop.</p> <p>Se importa dicha imagen en otra capa, con duración 0, y se coloca encima de la capa donde se dispone de la animación de la impresora con el cabezal moviéndose y que a partir de cierto momento los dos objetos aparecen de golpe (considerándose completos) y se trasladan y giran fuera del receptáculo de la impresora.</p> <p>A la capa en que se encuentra la imagen (capa superior) se le aplica (mediante efectuar doble clic sobre ella) la herramienta “Pincel Rotoscopia”.</p> <p>Se extiende en la capa creada el efecto pincel de rotoscopia hasta el primer fotograma en que los dos mussol ya aparecen (completos) en el video (capa inferior).</p> <p>Con ello lo que se ha hecho es crear una máscara de forma que las áreas que dibujemos con el pincel será lo que veamos (si no aplicamos una inversión) de la capa de la imagen fija el resto se mantiene transparente dejando ver el video de la capa inferior.</p> <p>Con el pincel de rotoscopia marcamos el contorno de ambos mussols:</p> <div data-bbox="710 1019 1166 1384" data-label="Image"> </div> <p>Y a la capa de la imagen también aplicamos un efecto: Transición / Barrido lineal con ángulo 180° para que vaya “descubriendo” la imagen (definida por el contorno seleccionado) de abajo a arriba.</p> <p>También deben ajustarse los puntos (keyframes) para marcar el principio y final de la transición definiendo la aparición de los objetos gradualmente.</p> <div data-bbox="411 1675 1458 1899" data-label="Image"> </div> <p>Se ha utilizado un efecto sonoro de una impresora funcionado.</p>

ESCENA / IMAGEN	COMENTARIOS (edición con After Effects)
<p><u>Escena 17:</u> Títulos de crédito finales y animación de todos los resultados girando.</p>	<p>Además de los textos correspondientes a los títulos de crédito se usa una animación de los cuatros objetos “mussol” resultantes rotando sobre un eje central y sobre sí mismos.</p>

Tabla 9.- Descripción sobre la edición de escenas con After Effects

Como música de fondo de ha utilizado el tema: First Light de Brian Eno.

8.5.5 Resultado final de la animación

El video final tiene una resolución de 640 x 480 pixeles, editado a 25 fps (PAL). Su duración es de 2min 24s. Se ha utilizado el códec H264 obteniendo el video en formato mp4

El resultado final puede visualizarse en los siguientes links:

<https://vimeo.com/96621608>

<http://youtu.be/SNMo2eNFRYw>

8.6 Aplicación a Realidad Aumentada

Para llevar a cabo la aplicación de Realidad Aumentada se utiliza la herramienta Aumentaty Author (<http://www.aumentaty.com/es/content/aumentaty-author>):

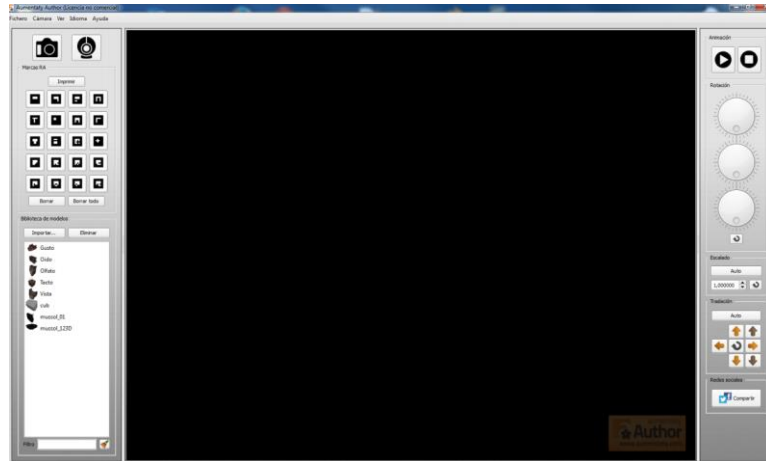


Figura 81.- Pantalla de inicio de Aumentaty Author

En primer lugar se deben importar los modelos a usar para visionar en RA. El programa, para modelos 3D, acepta los siguientes formatos: 3ds, fbx, obj y dae).

Los modelos que se disponen en STL pueden convertirse a OBJ con MeshLab o bien pueden abrirse con 3ds Max tanto partiendo de STL como de OBJ y convertirlos a cualquiera de los formatos requeridos.

En este caso se ha usado el formato OBJ excepto en el caso del mussol 123D en color y la animación que se han exportado desde 3ds Max al formato FBX. La animación que se menciona se trata de una animación simple creada con 3ds Max usando el objeto 123D color,

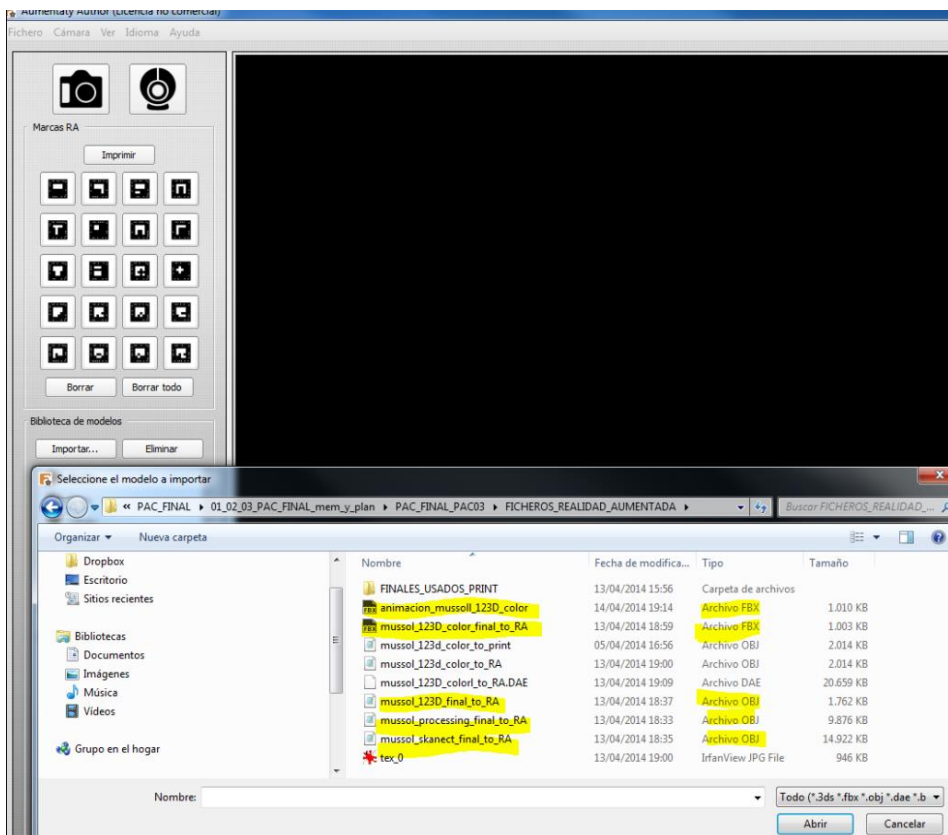


Figura 82.- Importación modelos 3D a Aumentaty Author

Tras importar los modelos se procede a asignar cada uno de ellos a una marca de AR:

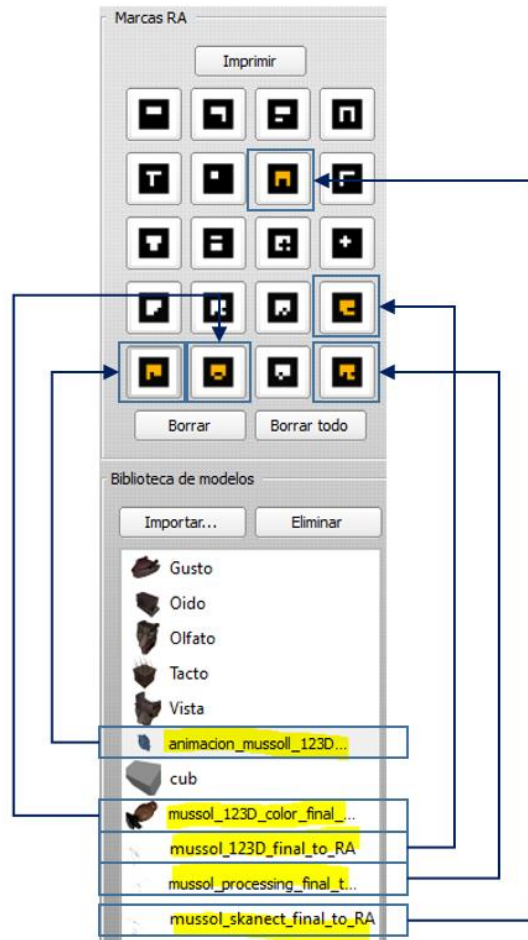


Figura 83.- Asignación de marcas de RA a cada modelo 3D y animación

Las marcas asignadas quedan como sigue:

MARCAS para "mussol" TFG / UOC: jsolerab

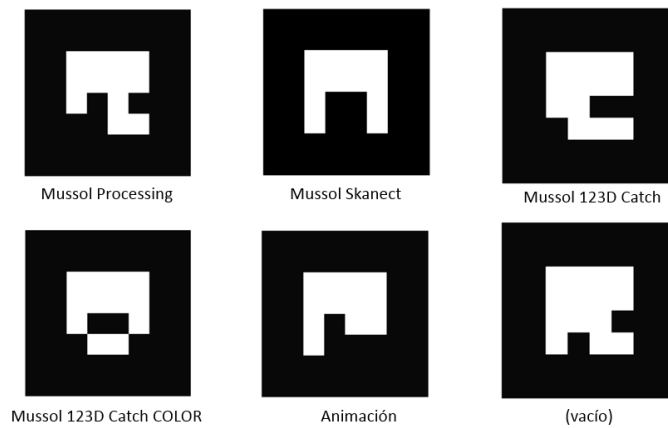


Figura 84.- Detalle relación marcas RA con cada modelo

Tras relacionar las marcas RA y los modelos 3D ya podemos visualizar los modelos en Realidad Aumentada con la ayuda de una webcam:

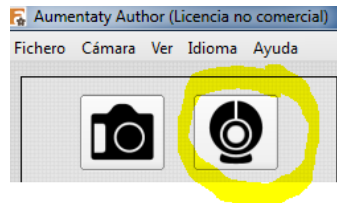


Figura 85.- Arranque de la webcam para visualizar la RA

Y colocando todas las marcas frente a la webcam se obtiene:

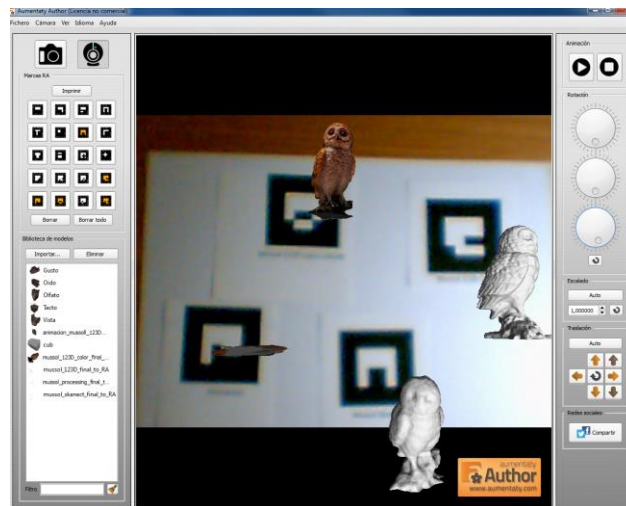


Figura 86.- Vista en RA de todos los modelos en Aumentaty Author

Además la herramienta dispone de controles para ajustar el desplazamiento respecto a la marca RA, la inclinación y la escala de visualización.

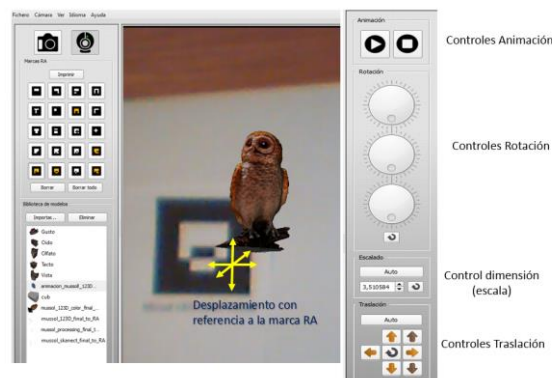


Figura 87.- Controles de desplazamiento, escala y rotación en Aumentaty

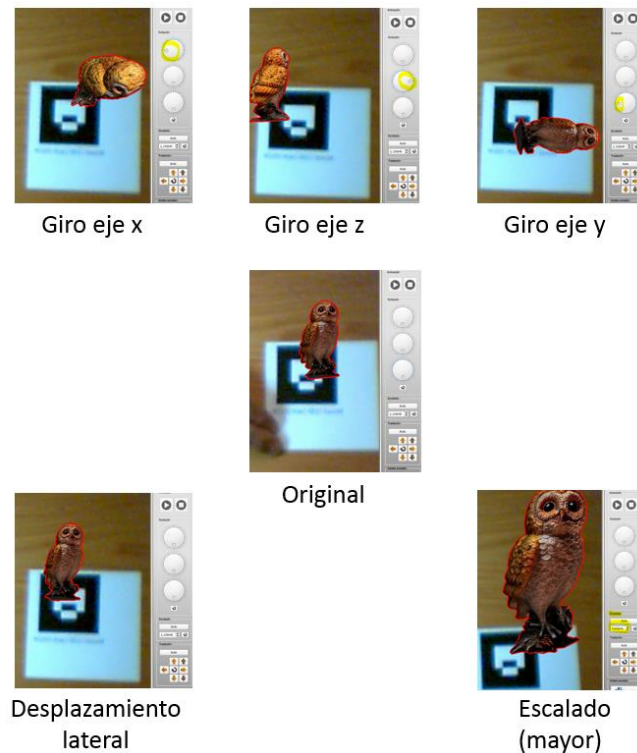


Figura 88.- Ejemplos actuación controles Aumentaty

Una vez ajustada la visualización mediante los controles se puede grabar la escena para posteriores retoques (en formato nativo aty) o exportarla (formato atx para Windows o Mac o formato atm para móviles) la compartirla con otras personas para lo que deben tener instalado el Aumentaty Viewer para Windows o Mac (<http://www.aumentaty.com/content/herramientas-manuales-y-complementos>) o la app correspondiente (http://www.aumentaty.com/es/content/aumentaty-author?qt-aumentaty_author=2#qt-aumentaty_author)

Tal como indica Aumentaty en su website:

“Aumentaty Viewer y la APP Aumentaty Viewer para dispositivos móviles SON DOS HERRAMIENTAS DISTINTAS, cada una con sus características específicas debido al condicionante que supone el soporte donde trabajan.

Cada visor se desarrolla independientemente por lo que habrán opciones ligeramente distintas para aprovechar las características de cada soporte.”

Se presenta el resultado de la visualización a través de Aumentaty Viewer en la composición que se ha preparado mediante el uso de Adobe After Effects:

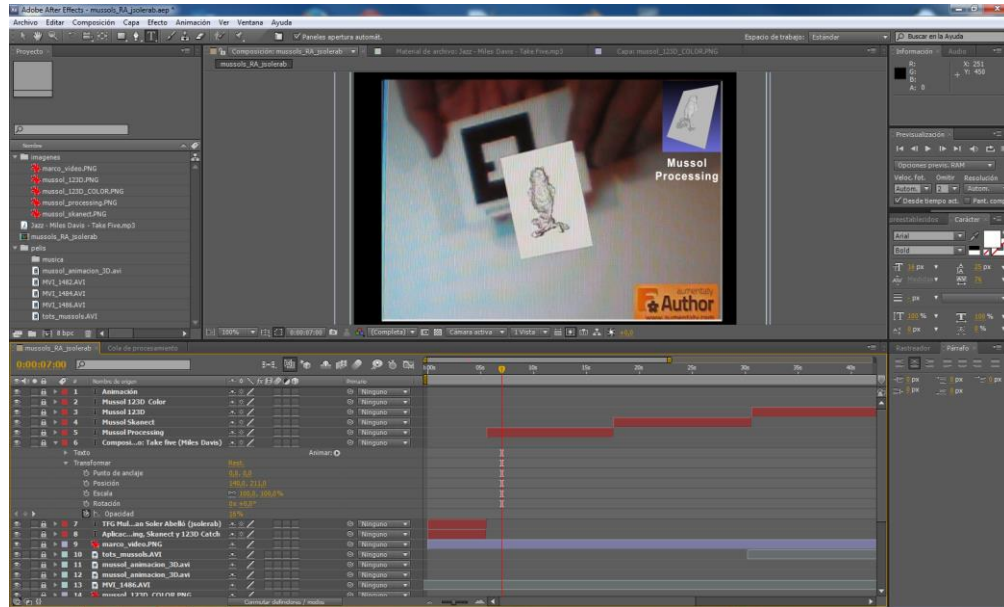


Figura 89.- Vista de la pantalla de trabajo de After Effects usada en la preparación de la composición elaborada para presentar los resultados de RA

La composición puede encontrarse en:

<https://vimeo.com/92226249>

<http://youtu.be/M9Ds6YYzQ9w>

9 Descripción hardware y software utilizados

A continuación se detalla el hardware y software utilizados en este desarrollo del proceso desde la captura de imágenes o información hasta su impresión 3D y pasando por la animación realizada así como también la aplicación de Realidad Aumentada.

9.1 Hardware

9.1.1 PC

Procesador Intel ® Core ™ Quad CPU Q9300 2,50Ghz

RAM : 8GB

9.1.2 Cámara fotográfica digital

Canon EOS 5D Mark II

9.1.3 Escáner 3D

KINECT ® for Windows

<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>

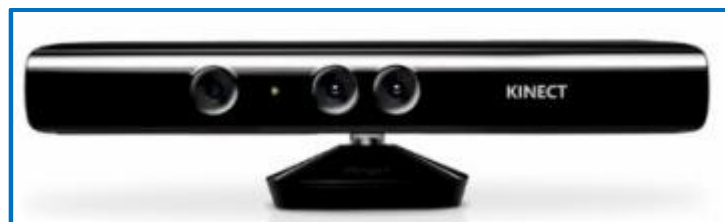


Figura 90-- Aspecto frontal del escáner 3D KINECT

9.1.4 Tarjeta gráfica

NVIDIA GeForce 9800 GT

http://la.nvidia.com/object/geforce_9800gt_la.html

9.2 Software

9.2.1 Sistema operativo

Se ha utilizado el sistema operativo Microsoft® Windows 7 de 64 bits.

9.2.2 Software pre-procesamiento

123D CATCH

<http://www.123dapp.com/catch>

123D Catch es una aplicación gratuita de Autodesk que permite tomar fotos y convertirlas en modelos 3D. Está disponible como una aplicación basada en web,

EL funcionamiento consiste en tomar varias fotos digitales que se han disparado alrededor de un objeto fijo y luego enviar esas fotos a un servidor alojado en la nube para su procesamiento. Dicho servidor utiliza su mayor potencia de procesamiento para unir las fotos hasta obtener un modelo 3D y luego envía el modelo al usuario para su posterior edición

SKANECT

<http://skanect.manctl.com/>

La aplicación Skanect se ha popularizado gracias a su capacidad para escanear habitaciones completas o parte de ellas con una resolución bastante aceptable, utilizando una simple kinect como herramienta, lo que ha disminuido considerablemente los costes de digitalización y la ha llevado a manos de cientos de profesionales y aficionados. A principios de 2013 Skanect ha hecho pública su última actualización: la aplicación de Manctl ahora permite la digitalización de pequeños objetos y bustos de personas compitiendo directamente con la aplicación Reconstructme.

RECONSTRUCTME

<http://reconstructme.net/projects/reconstructme-console/>

<http://reconstructme.net/releases/>

<http://reconstructme.net/blog/>

ReconstructMe es un sistema de reconstrucción 3D que proporciona información visual a medida que se escanea un modelo completo 3D en tiempo real. Funciona con el Microsoft Kinect (Xbox y PC) y el Asus Xtion Pro. ReconstructMe está disponible sólo para Windows y se necesita una tarjeta de vídeo de alta calidad para su funcionamiento. De momento se dispone de una versión no comercial gratuita (más lenta) y una versión comercial de pago. ReconstructMe es excelente para la digitalización de objetos grandes, como por ejemplo personas, pero no es aconsejable para objetos pequeños que precisan de gran detalle.

MODELBUILDER (Librería Processing)

<http://code.google.com/p/codeandform/downloads/list>

Modelbuilder proporciona herramientas que hacen más fácil crear y manipular la geometría 3D en Processing y la exportación de los objetos resultantes en un formato que permita su fabricación.

ModelBuilder es una biblioteca completa con todo tipo de sofisticadas herramientas para la generación de formas 3D.

9.2.3 Software Procesamiento

MESHLAB

<http://meshlab.sourceforge.net/>

Tiene una gran variedad de funciones que se pueden utilizar para reparar y editar mallas, pero el filtro de Poisson para suavizar las superficies es el más útil para la limpieza de escaneados para su posterior impresión en 3D. No sólo es fácil de girar mallas arrastrándolas con el ratón, sino que también dispone de un excelente visor de ficheros en formato STL. Está disponible como una aplicación de escritorio multiplataforma y como visor de modelos 3D para iOS y Android.

MeshLab es un programa multiplataforma de código abierto para trabajar con modelos 3D. MeshLab es muy potente pero también muy intuitivo de usar. La mayoría de los programas de modelado 3D proporcionan una interfaz para poder crear sus propios modelos mediante la combinación y manipulación de formas geométricas y puntos con el ratón. MeshLab, por otro lado, permite procesar la geometría existente utilizando complejos algoritmos diseñados para lograr efectos específicos, como “ScaleDependent Laplacian Smooth,” “Mesh Aging and Chipping Simulation,” y “Crease Marking with NonFaux Edges.”. La interfaz del programa se compone principalmente de los menús que permiten entrar en los parámetros requeridos por estos algoritmos para su funcionamiento. Estas opciones pueden ser intuitivas para expertos especializados en geometría 3D por ordenador, pero presentar muchas dificultades al usuario medio. En MeshLab es muy fácil experimentar con estos algoritmos y aplicar los pocos que se entienden o se consideren útiles.

MeshLab también dispone de una gran interfaz para simplemente ver los modelos 3D. Se puede cargar grandes modelos complejos sin ningún problema y verse desde varios ángulos y en múltiples escalas.

Se ha usado la versión de MeshLab v1.3.2 para Win64

NETFABB

<http://www.netfabb.com/>

Programa que se utiliza para reparar modelos 3D para su posterior impresión también 3D. También se puede utilizar para cortar los modelos y añadirles un fondo plano.

Permite ver y editar mallas y proporciona excelentes capacidades de reparación y el análisis de los archivos de STL. Netfabb hace que sea fácil de rebanar trozos de exploraciones irregulares y reparar rápidamente

escaneados. En la mayoría de los casos, se querrá cortar la parte inferior del modelo para crear una superficie plana sobre la plataforma de generación.

Netfabb está disponible como una aplicación de escritorio y un servicio en la nube. Netfabb Studio está disponible en una versión profesional y una (gratis) edición Basic. Se ejecuta en Windows, Linux o Mac. Se ha usado la versión de Netfabb Basic 5.0.1 para Win32

AUTODESK MESHMIXER

<http://meshmixer.com/index.html>

Sencillo programa útil para arreglar y manipular modelos 3D.

Es ideal para combinar mallas individuales en un nuevo modelo. Funciona bien para suavizar las protuberancias, defectos y otros objetos extraños que pueden aparecer en los archivos escaneados.

También es una excelente herramienta para editar mallas y de dejar preparados los modelos escaneados listos para imprimir.

También es una excelente herramienta para completar los modelos que les falta un lateral / superior / inferior.

Se ha usado la versión de Meshmixer v10.1.9 para Win64

PLEASANT 3D (solo para Mac)

<http://www.pleasantsoftware.com/developer/pleasant3d/>

Pleasant 3D es un gran aplicación, aunque solo para Mac, para redimensionar modelos en formato STL redimensionar las unidades. También puede convertir archivos desde el formato STL ASCII a formato STL binario. Siendo también posible previsualizar la apariencia final de los modelos lo cual es útil para comprobar cómo será la impresión física.

9.2.4 Software Edición

AUTODESK 3DS Max 2013

<http://www.autodesk.es/products/autodesk-3ds-max/overview>

Software de modelado, animación y renderización en 3D. El software de modelado en 3D 3ds Max® proporciona una solución completa de modelado, animación, simulación y renderización a los creadores de juegos, cine y gráficos de movimiento.

ADOBE PHOTOSHOP CS5

<http://www.adobe.com/es/products/photoshop.html>

Editor de gráficos rasterizados desarrollado por Adobe Systems principalmente usado para el retoque de fotografías y gráficos.

ADOBE AFTER EFFECTS CS5

<http://www.adobe.com/es/products/aftereffects.html>

Se ha usado para la edición y composición de video.

Se trata de una aplicación en forma de estudio destinado para la creación o aplicación en una composición, así como realización de gráficos profesionales en movimiento (en 2D y, también en 3D), de montaje de vídeo y de efectos especiales audiovisuales.

9.2.5 Software Impresión 3D

REPLICATORG

<http://replicat.org/>

ReplicatorG es un programa que toma los modelos 3D y los corta en capas (“rebanadas”) siendo el resultado equiparable a una pila de gráficos 2D. Se utiliza este programa para generar archivos que la impresora Makerbot Replicator entienda y asegurando que se puedan utilizar para obtener el modelo en plástico.

9.2.6 Software Animación 3D

AUTODESK 3DS Max 2013

<http://www.autodesk.es/products/autodesk-3ds-max/overview>

(Usado también para edición 3D)

9.2.7 Software Realidad Aumentada

AUMENTATY AUTHOR

<http://www.umentaty.com/>

Aumentaty Author: Se trata de una herramienta de generación de contenidos de Realidad Aumentada de forma simple sin necesidad de programar (<http://www.umentaty.com/es/content/umentaty-author>)

Aumentaty Viewer: Permite visionar las escenas de Realidad Aumentada terminadas publicadas desde Aumentaty Author.

9.3 Webs de publicación

Además de imprimir los modelos preparados, es interesante enumerar algunas de las webs más importantes para compartir escaneados y creaciones 3D

SKETCHFAB

<https://sketchfab.com/>

Sketchfab es un servicio web para publicar, compartir y visualizar de forma interactiva modelos 3D. No requiere plugins: tan sólo subir el modelo, integrarlo y compartirlo.

SCULPTEO

<http://www.sculpteo.com/en/>

Sculpteo es un sitio web donde se pueden compartir diseños 3D, comprar, vender e imprimir ideas en objetos sólidos.

THINGIVERSE

<http://www.thingiverse.com/>

Thingiverse es un sitio web donde los usuarios de todo el mundo se reúnen para compartir diseños digitales para la fabricación de objetos físicos.

Los usuarios suben archivos de todo tipo, desde archivos 3D que se puede construir en una impresora MakerBot, archivos 2D para corte por láser o fresado CNC, diseños de placas de circuitos que se pueden pedir online o construir en casa. Además de los propios archivos, se dispone de representaciones generadas por ordenador de esos archivos, imágenes de las copias físicas de objeto acabado, instrucciones de cómo montarlo, y un foro de discusión donde los usuarios pueden colaborar, sugerir mejoras, etc.

10 Perfiles del usuario

Se definen algunos de los perfiles y posibles escenarios de usuarios a los que el resultado de este trabajo puede ser de interés.



RICARD PUIG GUITART

Edad: 50 años

Profesión: Diseñador Mecánico en Asesores Industriales S.L.

Estudios: Ingeniero Técnico Industrial

Estado Civil: Casado con dos hijos.

Domicilio: Badalona

Ricard está muy vinculado a su trabajo. Es socio fundador de una sociedad dedicada a la asesoría de PYMEs y su ocupación le absorbe mucho tiempo y dedicación. Las expectativas de crecimiento de la empresa antes de la crisis eran excelentes pero actualmente tan sólo consiguen, con mucho esfuerzo, mantenerse en el mercado tras perder muchos de sus clientes. Pero, él particularmente es optimista y cree en la recuperación.

Aun así Ricard dedica el máximo tiempo que puede a su familia y está totalmente involucrado en la educación de sus dos hijos de 22 y 18 años respectivamente.

También consigue sacar tiempo para sus tres grande hobbies: fotografía, informática y sus salidas dominicales en bicicleta.

No se considera friki de la tecnología pero dispone de PC portátil, Tablet y Smartphone. Argumenta que los necesita no directamente por motivos de trabajo pero sí porque es importante estar al día.

Le gusta navegar en la web siempre que quiere adquirir algo y valora mucho la opinión de otros usuarios. Compara mucho antes de decidirse.

Últimamente ha leído algunos artículos sobre impresión 3D y de cómo puede revolucionar el mercado y en particular el suministro de piezas de recambio. Le gustaría saber más sobre el tema y el proceso.



GEMMA FONT FERRER

Edad: 20 años

Profesión: Estudiante de Artes Aplicadas

Estudios: COU

Estado Civil: Soltera

Domicilio: Alicante

Gemma está llevando cabo su sueño de cursar estudios de Artes Aplicadas ya que de pequeña le ha atraído todo lo relacionado al diseño y bisutería. Durante años su imaginación creativa la ha llevado a diseñar toda clase de abalorios que ha ido regalando a su familia hasta que se dio cuenta que podría convertir su pasión en su profesión.

Ya últimamente ha colaborado en los diseños de una empresa del sector en su ciudad a la vez que ha vendido algunas de sus creaciones a terceras personas.

Dedica mucha parte de su jornada a dibujar y probar diversos materiales.

Aparte de su gran hobby y obsesión le gusta muchísimo la música la cual suena constantemente en su puesto de trabajo como en su inseparable reproductor mp3.

En muchas ocasiones se ha preguntado a sí misma por qué no puede transponer sus dibujos y diseños en su PC directamente a objetos reales. Hace poco un amigo de la universidad le ha explicado que parece que ya empiezan a comercializarse, aunque carísimas, impresoras 3D usando distintos materiales.

De momento le ha recordado a algunas escenas de ciencia ficción pero no se lo puede sacar de la cabeza como podría personalizar sus diseños y se ha prometido a sí misma investigar al respecto.

En principio está muy ilusionada ante la posibilidad de compartir sus diseños en los sitios web que acaba de descubrir donde alojar sus modelos en 3D e incluso venderlos a través de ellos.



JAVIER CRUZ MONTEIRO

Edad: 35 años

Profesión: Columnista y editor en publicación semanal, local.

Estudios: Periodismo

Estado Civil: Soltero.

Domicilio: A Coruña

Javier acabó sus estudios de periodismo hace dos años tras pasar por distintas inquietudes y años sabáticos y es un entusiasta que cree que no hay periódico pequeño sino grandes lectores que dedican la atención a tu trabajo.

Una de las secciones que publica y que está teniendo éxito es acerca cómo afectan a nuestras vidas las nuevas tecnologías, cómo se van filtrando en nuestros hogares y alteran paulatinamente nuestras formas de actuar.

Por lo tanto parte de su trabajo es la búsqueda de información al respecto antes de preparar sus propios artículos.

Aparte de salir con los amigos, la música popular y practicar senderismo, Javier tiene un hobby escondido ya que escribe sus propias novelas bajo un pseudónimo (que no nos ha querido desvelar) y envías sus manuscritos para ser valorados y su deseo es verlos publicados próximamente. De momento, según confiesa, no ha tenido suerte y que no se los han publicado.

Lo que sí es cierto es que su tesón y la búsqueda de documentación le llevan a crear unos trabajos en la revista realmente buenos y ya tiene incluso algunos seguidores que de momento son locales aunque el editor del suplemento documental de un periódico de gran tirada se ha interesado por sus publicaciones. Hace tiempo que quiere empezar a trabajar en un artículo que cree innovador y que trataría sobre cómo las nuevas tecnología podrían aportar un nuevo concepto que podría substituir o complementar el hábito de coleccionar recuerdos de nuestros familiares y amigos. En el transcurrir del tiempo fueron retratos pictóricos, esculturas, fotografías en blanco y negro y posteriormente en color, películas y video, .. y por qué no ahora impresos en 3D en diversos materiales. Debería empezar a investigar!..

Es un usuario empedernido del Whatsapp, Facebook y Twitter, usándolo para sus tres hobbies.



JORGE AGUILAR CARMENA

Edad: 15 años

Profesión: Estudiante ESO.

Estudios: Inglés

Estado Civil: Soltero.

Domicilio: Toledo

Jorge es la vitalidad en persona. Cuando el tiempo que dedica a sus estudios se lo permite siempre está practicando cualquier deporte de equipo junto con sus amigos.

Es también un gran entusiasta de los juegos online por ordenador aunque sus preferencias se decantan en participar en actividades con sus compañeros.

Aunque no acaba de entender la etiqueta se considera un nativo digital y es consciente que ello está relacionado con el método de prueba-fallo que aplica para evitar leer cualquier manual y solucionando los problemas informáticos que surgen mediante consulta a diversos foros porque generalmente nunca se es el primero que dicho problema le aparece. Sus conocimientos extras de inglés, aprendido en academia extraescolar y practicado durante sus viajes vacacionales al extranjero, le son de mucha ayuda en estos casos.

En uno de sus viajes se interesó por una feria informática para ver qué novedades se presentaban y le sorprendió un extraño aparato que tras situarse delante de un foco a la vez un ayudante le indicaba que girarse sobre sí mismo acabó con un pequeño muñeco de sí mismo en plástico.

Guarda aquella pieza en un lugar privilegiado de su habitación y en muchas ocasiones barrunta lo chulo que sería sorprender a sus amigos con algo semejante. De tanto en tanto hojea las revistas informáticas para ver si se publica alguna información relacionada con aquél aparato sorprendente..

11 Proyección de futuro

Podríamos decir sin temor a equivocarnos que la impresión 3D representa ya una revolución tanto industrial como social e incluso algunas personas más intrépidas hablan de que será un cambio mayor incluso mayor que el que ha representado Internet (BBC [8]).

La captura de objetos en 3D será sin duda una pieza clave de dicha revolución ya que aunque estemos viviendo la época en que las impresoras 3D han ido reduciendo su coste y tamaño a la vez que mejorando su calidad y la previsión de la rápida incorporación de otros materiales, distintos al plástico apoyando todos estos factores a su popularización, no debemos olvidar que dichas impresoras deberán “alimentarse de datos” para su funcionamiento.

En el punto en que se necesitan datos en 3D, podemos hablar de obtenerlos bajándolos de la web o bien diseñándolos uno mismo. Pero no todo el mundo es un experto en diseño sino que la gran mayoría de personas están muy alejadas de dicho perfil. Pero sí que hemos visto que al igual como la máquina fotográfica se popularizó en su momento (tanto en su versión analógica como digital), y también lo hizo el video, teléfonos móviles, etc. ¿Por qué no puede hacerlo la captura 3D ya bien sea mediante escáner o registrando imágenes?

Con todo ello lo que se quiere indicar es que la proyección de futuro de esta tecnología y sus procesos será enorme sin duda alguna.

Este futuro no estará tan sólo relacionado a la componente social sino también se prevén grandes cambios en la vertiente industrial.

Con respecto a la vertiente social imaginemos, por ejemplo, regresar a casa después de un viaje turístico llevando con nosotros links adquiridos (datos de los monumentos, lugares, ... visitados) para poder imprimirlos tranquilamente en nuestra propia impresora 3D de sobremesa en vez de volver cargados de pesados souvenirs. Si hemos preferido dar nuestro toque personal a la “captura” de esos recuerdos, posiblemente también podamos hacerlo simplemente con nuestro teléfono móvil tomando fotos o con algún ingenioso aparato, acoplado a éste, funcionando como escáner.

O quizá nos interese disponer de representaciones en 3D de nuestras personas queridas, familiares o amigos. ¿Por qué no tener un objeto que podamos tocar y no tan sólo contemplar en 2D? A título de ejemplo hay información de parejas que han conseguido una reproducción del feto de su futuro bebé a partir de las ecografías.

Y ello no se limita tan sólo a imprimir, ya que animaciones, Realidad Aumentada, hologramas, etc estarían a nuestro alcance utilizando el modelo capturado, sin tener grandes nociones de diseño.

En el terreno industrial la revolución que se espera en el proceso de fabricación y distribución es impactante a tenor de las siguientes aseveraciones sobre la impresión 3D en algunos productos que pueden leerse en prensa o bibliografía especializada y que algunas de ellas se listan a continuación:

- Menor coste (en cuanto se popularice). Eliminación de muchos tiempos de montaje.
- Menor desperdicio (ya que se trata de un método aditivo).
- Niveles de stock de productos, mucho menores. Aumento de la viabilidad de fabricar totalmente bajo demanda.
- Reducción del tiempo de producción
- Reducción de costes de transporte y menor huella de carbono
- Ausencia de moldes para la producción y de juntas en el producto.
- Aumento de las microfábricas
- Obtención de productos imposibles de fabricar mediante las tecnologías tradicionales posibilitando la fabricación de productos más complejos.
- Etc

Para mayor información, sobre la “máquina que puede hacerlo casi todo” se recomienda la lectura de: Fabricated de Hod Lipson & Melba Kurman [17] (de hecho así se titula el capítulo 2 de este libro donde se recogen los 10 principios de la impresión 3D)

Sobre esta nueva revolución industrial y las microfábricas tratando de prever lo que sucederá en los próximos diez años trata el libro de Chris Anderson: Makers. The New Industrial Revolution [18]

Tan sólo un ejemplo que me gustaría citar y que puede revelar las espectaculares posibilidades que nos puede ofrecer esta tecnología. Se trata de la producción y gestión de recambios. Nos permitirá imprimir la pieza en cuanto se necesite tras obtener del fabricante el modelo preparado para imprimir. Una impresión que podrá efectuarse in situ o en servicios de impresión que surgirían localmente.

O incluso podríamos escanearlo mediante algunos de los procesos que se han descrito en este TFG. Y aquí el punto de partida sobre la legalidad de copiar/capturar el producto. Indiscutiblemente se está preparando una nueva batalla sobre el copyright.

Además de lo citado hasta ahora hay otras muchas áreas donde la captura e impresión 3D afectará ya que se abren grandes expectativas para aplicaciones tan diversas como:

- Medicina (implantes, reproducción de órganos, ...) [9]
- Construcción de casas. En China se están construyendo casas de 200 m² a razón de 10 viviendas al día mediante impresión 3D mediante cemento y fibra de vidrio por un precio de 4000€ [19]
- Escaneos de monumentos o lugares emblemáticos como preservación de su desaparición o destrucción para que nuestros descendientes puedan contemplarlos. [1]
- Impresión de comestibles (chocolate, azúcar, pasteles, ..)
- Piezas de joyería totalmente personalizadas

... y un largo etcétera de posibilidades que en un futuro próximo irán apareciendo.

Tan sólo queda lanzar la pregunta: ¿Preparados para “escanear” el mundo?.

Un sinfín de oportunidades se vislumbran en un futuro muy cercano y me gustaría compartir una descripción de la impresora 3D como una máquina que se fabrica a sí misma

(<http://www.microsiervos.com/archivo/frases-citas/problem-3d.html>) :

Comprar impresora 3D / Imprimir impresora 3D / Devolver impresora 3D

12 Conclusiones

Realmente la primera conclusión es que el tema es amplio, muy interesante y apasionante. El calificativo apasionante quizá es debido a mi formación técnica y haber desarrollado mi actividad profesional durante muchos años en departamentos de Ingeniería e I+D. Tal como comentaba en el capítulo anterior las oportunidades y posibilidades que adivino en estas tecnologías de captura en impresión 3D son impresionantes y presentan un extenso campo a desarrollar dentro de la propia innovación de productos tanto como en aplicaciones relacionadas.

En mi opinión, en este TFG, se ha ido más allá de los objetivos marcados en un principio ya que el tema así lo requería dados los continuos avances actuales y noticias que se están publicando.

El tema en que se centraba el proyecto era en la captura de los “datos” 3D de los modelos y su preparación para posteriormente demostrar que los resultados eran aplicables a la impresión 3D, la animación y la Realidad Aumentada. Pero además de definir los procesos creo que se ha llevado a cabo una labor de investigación sobre diversas posibilidades tanto de captura como de impresión y realizando asimismo un análisis comparativo bastante completo.

Particularmente me ha sorprendido la alta calidad obtenida con una cámara digital y el tratamiento de las imágenes obtenidas, con 123D Catch de Autodesk hasta conseguir un objeto en 3D. A la vez que el sentimiento sobre el resultado conseguido con el escáner es algo decepcionante ya que esperaba algo más aun siendo un producto de baja gama y coste. Estoy convencido que con escáneres de mayor calidad o usando tecnología láser los resultados mejorarían ostensiblemente.

Hay dos decisiones que se han tomado durante el desarrollo del TFG las cuales considero que han sido totalmente acertadas. La primera se trata de que en vez de enfocarse en imprimir una pieza real se haya tomado la vía de analizar diversos suministradores posibles realizando una comparativa entre ellos así como de los materiales más idóneos para el caso del modelo utilizado. El resultado final no ha quedado desmejorado vistos los visores 3D disponibles en los sitios web de esas empresas de impresión.

La segunda decisión que creo correcta es la de utilizar la descripción o analogía de los procesos seguidos para realizar la demostración de que los objetos obtenidos son aptos para su animación en 3D creando un video que puede ayudar a comprender mejor las metodologías aplicadas.

Debo citar, en el polo opuesto, dos casos en los que no he tenido éxito debido a distintas problemáticas. Se trata del escaneado del modelo “bici” debido a sus dimensiones pero ha servido para ver las limitaciones de los procesos desarrollados en el apartado Desarrollo. Y por otra parte lamentar la imposibilidad de la utilización del software de escaneo ReconstructMe (muy extendido en este ámbito que se ha tratado) por los motivos que se han explicado en el documento, principalmente basados en la asistencia inadecuada de la empresa que gestiona dicho producto.

En mi opinión es muy clara la aplicación de los conocimientos adquiridos durante la realización del Grau Multimedia en base a los resultados tales como las creaciones de animaciones 3D con 3ds Max, edición de videos con After Effects, retoque de imágenes con Photoshop, planificación del proyecto dividiéndolo en tareas con Microsoft Project e incluso programación con Processing, sin olvidar la aplicación de conocimientos de Realidad Virtual en su aspecto de mostrar el comportamiento de los objetos resultantes en la Realidad Aumentada.

Y me gustaría finalizar comentando que tal como ha sucedido con otras asignaturas durante el Grau, en este caso el desarrollo ya ha despertado mi completo interés desde mi vertiente profesional habiendo ya llevado a cabo alguna acción al comentar en foros internos (de la compañía donde desarrollo mi actividad profesional) sobre el tema de impresión 3D y cómo puede cambiar el entorno industrial al que estamos habituados.

Anexo 1. Entregables del proyecto

- Memoria del proyecto completo (este documento)
- Panificación del proyecto (documento Microsoft Project entregado conjuntamente con este documento)
- Presentación del proyecto (documento PowerPoint entregado conjuntamente con este documento)
- Presentación en video sobre el proyecto (subida al espacio Present@)
- Autoinforme de evaluación sobre uso de competencias transversales durante el proyecto (documento entregado conjuntamente con este documento)
- Resultados en visores 3D de websites de suministradores de impresión 3D
(Para poder visionar correctamente los modelos en 3D quizá deba usarse Mozilla Firefox o Google Chrome)

Objetos obtenidos mediante captura con el método que se ha denominado Processing

Sculpteo :

http://www.sculpteo.com/en/design/mussol_processing_final_to_print/fig8XYVL

Sketchfab:

<https://skfb.ly/zDJx>

Objetos obtenidos mediante captura con el método que se ha denominado Skanect

Sculpteo : http://www.sculpteo.com/en/design/mussol_skanect_final_to_print/7YoKw8Sa

Sketchfab: <https://skfb.ly/zDJK>

Objetos obtenidos mediante captura con el método que se ha denominado 123D Catch

Sculpteo :

http://www.sculpteo.com/en/design/mussol_123d_final_to_print/FfEZYBYc

Sketchfab:

<https://skfb.ly/zDJO>

Objetos obtenidos mediante captura con el método que se ha denominado 123D Catch color

Sculpteo :

http://www.sculpteo.com/en/design/mussol_color_123d_to_print-1/9zMdNHDU

Sketchfab:

<https://skfb.ly/zHPJ>

- Composición en bruto (sin editar) de la analogía visual de captura e impresión 3D
<https://vimeo.com/95185146>

- Composición editada de la analogía visual del proceso de captura y tratamiento digital en 3D de imágenes para ser editadas en impresión 3D
<https://vimeo.com/96621608>
<http://youtu.be/SNMo2eNFRYw>
- Composición del resultado de la aplicación con Realidad Aumentada
<https://vimeo.com/92226249>
<http://youtu.be/M9Ds6YYzQ9w>

Anexo 2. Código fuente

En este apartado se adjunta el código fuente de Processing comentado que se utiliza para la captura de imagen 3D.

No se trata de un código original sino que se ha adaptado y comentado el código contenido en el libro *Makings Things See* [12] en su capítulo 5 titulado *Scanning for Fabrication*.

Código para captura de imágenes 3D con Processing

//Importamos las librerías y declaramos variables

*/**

Las librerías que usamos son:

opengl:

Permite a los programas de Processing utilizar la velocidad del acelerador gráfico OpenGL para gráficos 2D y 3D.

modelbuilder:

Permite crear geometría con Processing (Modelado paramétrico)

Modelbuilder tiene dos partes :

unlekker.util y unlekker.modelbuilder y necesitamos ambas para crear geometría y para grabar ficheros en formato STL.

SimpleOpenNI :

Da acceso a todos los datos de la Kinect que necesitaremos y

a la serie de herramientas y ayudantes que serán de mucha ayuda.

Interacciona con la Kinect

**/*

*/**

La variable booleana scanning nos permite disponer de 2 modos

(activando la barra espaciadora pasamos al segundo de ellos):

uno que solamente visualizamos la nube de puntos

y otro donde creamos la geometría y la malla. Y grabamos como fichero STL

La variable spacing se usa para determinar la resolución de la malla.

Las mallas tardan mucho tiempo en construirse y el fichero STL almacenado

podría ser muy grande y de esta forma con esta variable podemos escoger la resolución

Tomando spacing=2 podemos obtener un resultado equilibrado entre detalle y tamaño del

fichero

Y para mayor resolución usamos 1

Se define la variable maxZ de forma que no escaneará más allá de ese valor

**/*

```

import processing.opengl.*;
import unlekker.util.*;
import unlekker.modelbuilder.*;
import SimpleOpenNI.*;
SimpleOpenNI kinect; // Declaramos un objeto de SimpleOpenNI llamado kinect
boolean scanning = false;

int maxZ = 700; //Se define la z máxima de escaneado como variable global
int spacing = 1;
float s=1; //Definimos la escala
int g=5; // Grueso de la placa posterior

/* UGeometry se usa para generar y modificar mallas poligonales.
   Es la clase más importante para describir formas 3D

   UVertexList define bordes
*/
UGeometry model;
UVertexList vertexList;

//En setup, se establece el tamaño de la ventana, prepara el acceso a los datos
//de profundidad que nos envía la cámara Kinect y se inician los objetos de Modelbuilder

void setup() {
    size(1024, 768, OPENGL);
    kinect = new SimpleOpenNI(this); // creamos una instancia de SimpleOpenNI
    kinect.enableDepth(); // indicamos que queremos acceder a la imagen de
                          // profundidad
    model = new UGeometry(); // se inicializa el Modelo
    vertexList = new UVertexList();
}

void draw() {
    background(0);
    kinect.update(); // indica a la libreria que obtendrá nuevos datos desde la
                    // Kinect
    translate(width/2, height/2, -1000); //Trasladamos los 3 ejes

```



```

rotateX(radians(180)); // Rotamos nuestras coordenadas 180° sobre el eje x
                        // y el efecto es que la imagen de la nube de puntos quedará
                        // enderezada y no boca abajo

// Si la variable scanning es true indicando que creará el modelo
// creando una malla de triángulos a partir de los puntos obtenidos
if (scanning) {
    model.beginShape(TRIANGLES); // Se establece el tipo de forma :
                                   // TRIANGULOS
                                   // Tras llamar a beginShape, el modelo está listo
                                   // para recibir triángulos. Para ello usaremos la función
                                   // addFace
}

PVector[] depthPoints = kinect.depthMapRealWorld();
                        // Devuelve una matriz de vectores (PVectors) en los
                        // cuales se almacenan en la variable local depthPoints
                        // Al llamar a kinect.depthMapRealWorld carga los puntos
                        // de profundidad del Kinect

/* Quitar lo sobrante
- Se eliminan las areas donde el valor de profundidad sea 0 o muy bajo
- Se repararan los bordes de la imagen (de profundidad)
- Se aplica una profundidad máxima z que se puede definir (maxZ) aunque se elimine el
fondo ambiental
Todo ello se realiza antes del ciclo de escaneado y creación de malla.

*/

```

```

for (int y = 0; y < 480; y+=spacing) {
    for (int x = 0; x < 640; x+= spacing) {

        int i = y * 640 + x;
        //realiza iteraciones sobre la matriz de depthPoints
        //adquirida llamando kinect.depthMapRealWorld con x

```

```

// e y siguiendo los índices de la
// respectiva declaración "for"

PVector p = depthPoints[i];
// si el punto está en el borde o no tiene datos de
// profundidad o está demasiado cerca (400mm para modo
// near y 800mm para default y 3m y 4m respectivamente )
// o demasiado lejos

if (p.z < 400 || p.z > maxZ
    || y == 0 || y == 480 - spacing
    || x == 0 || x == 640 - spacing)
{
    // reemplaza su valor con un punto con la profundidad de
    // plano posterior (por ejemplo= maxZ)

    /* Lo que hacemos cuando capturamos un punto que necesita reparación
    es:
    - Creamos un nuevo vector, RealWorld, donde nuestro resultado final va a
    terminar.
    - Entonces creamos un temporal PVector proyective, que poblamos con
    x, y, y maxZ.
    - Entonces llamamos Kinect.convertProjective ToRealWorld (projective,
    RealWorld), que transformará nuestro vector proyección, coordenadas de
    pantalla, en uno en el espacio del mundo real con el resto de nuestros
    depthPoints.
    */

    PVector realWorld = new PVector();
    PVector projective = new PVector(x, y, maxZ);
    //para obtener el punto en el sitio correcto se necesita traducirlo
    // de (x,y) a las coordenadas de realworld.

    /* Las coordenadas proyectadas indican la ubicación de
    parte de la imagen de profundidad desde el punto de vista
    de la pantalla de dos dimensiones en lugar del espacio en
    tres dimensiones del mundo real.
    Las coordenadas proyectadas se ajustan a las de un objeto
    3D cuando se ve a través de una ventana plana en 2D

```

La función `convertProjectiveToRealWorld` de `SimpleOpenNI` traduce la posición de las coordenadas reales a las proyectadas

La `x` e `y` ubicación de nuestros índices de la matriz `depthPoints` están en proyección, o en la pantalla, del espacio.

Por lo tanto, podemos crear un `PVector` usando estos valores junto con nuestro `maxZ` y luego convertirlo en coordenadas del mundo real, y va a llenar un sitio justo con el resto de nuestras `depthPoints` perfectamente

**/*

```
kinect.convertProjectiveToRealWorld(projective,  
realWorld); depthPoints[i] = realWorld;
```

```
// aqui finalizaría la limpieza o restauración de los puntos de profundidad.
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```

/ Aquí empieza el bucle a través de los datos de profundidad*

El bucle lo lleva a cabo independientemente de si se ha apretado o no la barra espaciadora para que crearía la malla de triángulo y grabaría a STL.

Hace uso de la variable definida como `spacing` para obtener más o menos densidad de puntos

**/*

*/**

*Se leera un area de pixels de 640*480 En este punto se debe acalarar que la función `depthMap` va leyendo los pixels de las coordenadas `x-y` pero los coloca en una matriz lineal.*

*Para leer el valor correspondiente a `(x,y)` buscaremos en la posición de la matriz `x+y*640` o por ejemplo, la posición de las coordenadas `((x+spacing), (y+spacing))` será `(x+spacing)+ (y+spacing)*640`*

Se usa la convención (para malla de 4 puntos) de punto arriba izquierda = NW (NorthWest) , arriba derecha NorthEst : NE, abajo izquierda SW (SouthWest) y abajo derecha SE (SouthEast)

**/*

```

for (int y = 0; y < 480 - spacing; y+=spacing) {
  for (int x = 0; x < 640 -spacing; x+= spacing) {
    if (scanning) { //si la variable scanning toma le valor true
      int nw = x + y * 640 ;
      int ne = (x + spacing) + y * 640;
      int sw = x + (y + spacing) * 640;
      int se = (x + spacing) + (y + spacing) * 640;

```

/ La función addFace toma 3 puntos (vértices) y define el triángulo a añadir al modelo.*

Los triángulos están conectados unos a otros y comparten vértices y lados.

Cada vez que se llama a model.addFace es necesario pasarle 3 vértices en orden --> x, y, z de los 3 lados

UVec3 recoge los 3 vertices (vector) definiendo el lado del triángulo

MUY IMPORTANTE: Para que los programas de edición que se usarán posteriormente como MeshLab entienda cuál es la cara externa del triángulo, se deben entrar los puntos siguiendo el sentido de las agujas del reloj de forma que aplicando la regla de la mano derecha el vector área en este caso saldría hacia arriba (o hacia el espectador). Hacia donde sale la flecha del vector área determina la cara frontal

**/*

//Define y añade 1er triangulo

```

model.addFace(new UVec3(depthPoints[nw].x,
                        depthPoints[nw].y,
                        depthPoints[nw].z),
              new UVec3(depthPoints[ne].x,
                        depthPoints[ne].y,
                        depthPoints[ne].z),

```

```

        new UVec3 (depthPoints [sw] .x,
                  depthPoints [sw] .y,
                  depthPoints [sw] .z ) );

    //Define y añade el segundo triángulo compartiendo el lado sw-ne
    model .addFace (new UVec3 (depthPoints [ne] .x,
                               depthPoints [ne] .y,
                               depthPoints [ne] .z ),
                   new UVec3 (depthPoints [se] .x,
                               depthPoints [se] .y,
                               depthPoints [se] .z ),
                   new UVec3 (depthPoints [sw] .x,
                               depthPoints [sw] .y,
                               depthPoints [sw] .z ) );

    }

    else {
stroke (255) ; //establece el color del punto:blanco
int i = y * 640 + x;
PVector currentPoint = depthPoints [i]; // extrae el currentPoint
                                           // de la matriz depthPoints

if (currentPoint .z < maxZ) {
    point (currentPoint .x, currentPoint .y, currentPoint .z);
                                           //Dibuja el punto x, y, z en el espacio
    }
    }
}
}
}

```

/ En este punto, hemos terminado de añadir geometría a nuestro modelo basado en los datos de Kinect. Ahora tenemos que realizar una limpieza final para producir un modelo sólido.*

Tenemos que añadir un sólido rectangular en la parte posterior de nuestro modelo de manera que quede completamente cerrado. También escalaremos, rotaremos y posicionaremos nuestro modelo para que sea más fácil trabajar posteriormente una vez fuera de Processing.

El trabajo de post-procesamiento se produce después de que el doble bucle haya finalizado. Está envuelto dentro de una sentencia if para asegurarse de que sólo ocurre cuando estamos en modo de escaneo

```

*/

if (scanning) {

    /*
    model.calcBounds indica al modelo calcular su caja delimitadora. Cada modelo 3D
    tiene un cuadro limitador, la caja más pequeña que contiene todos sus puntos. Una
    determinada su propia caja de límite, vamos a ser capaces de transformarlo de
    manera más eficaz.
    */

    model.calcBounds(); // calcula la menor caja que contiene todos los puntos

    model.translate(0, 0, -maxZ);
        // de nuestro modelo hacia adelante por lo que no estará tan lejos
        // en profundidad, de forma que será más conveniente para
        // trabajar en el resto del software que utilizaremos para preparar e
        // imprimirlo.

    /*
    Accedemos a la caja calculada en torno a nuestra geometría llamando a:
    model.bb.
    Esta caja limitadora, a su vez, tiene propiedades máximo y mínimo que podemos
    acceder para encontrar su extensión.
    Usando las coordenadas de estos puntos, podemos calcular las dimensiones de
    nuestro modelo.
    */

    float modelWidth = (model.bb.max.x - model.bb.min.x);
    float modelHeight = (model.bb.max.y - model.bb.min.y);

    /*
    Creamos nuestra forma posterior. Modelbuilder tiene un método de ayuda
    integrado para la creación de sólidos rectangulares: Primitive.box. Esa función
    tiene tres argumentos que representan el tamaño de la caja desde su centro.
    Adjuntamos la forma posterior a nuestro model
    */

```

```

UGeometry backing = Primitive.box(modelWidth/2,
                                modelHeight/2, g);

model.add(backing);
model.scale(s);
model.rotateY(radians(180));
model.toOrigin();
model.endShape();

// Una vez todos los triángulos han sido añadidos se completa el modelo llamando
// a la función model.endShape que completa el proceso de construcción del //
modelo.

// Se usa un formato para el nombre del archivo que incluye la fecha
//para evitar sobrescribir archivos

int dia = day(); // Valores de 1 - 31
int mes = month(); // Valores de 1 - 12
int y = year(); // 2003, 2004, 2005, etc.
int s = second(); // Valores de 0 - 59
int m = minute(); // Valores de 0 - 59
int h = hour(); // Valores de 0 - 23

model.writeSTL(this, "scan_"+y + "_" + mes + "_" + dia +
                  "_" + h + m+ s+".stl");

scanning = false;
}
}

/* La función keyPressed inicia el proceso de formar mallas y grabación en STL a pasar
la variable booleana scanning a true

También se han creado acciones para la tecla de flecha arriba y abajo
de forma que sube el valor de la z maxima de 100 en 100 o la baja
con el mismo intervalo. Y muestra el valor en pantalla.
*/

```

```
void keyPressed() {  
  
    println(maxZ);  
    if (keyCode == UP) {  
        maxZ += 100;  
    }  
    if (keyCode == DOWN) {  
        maxZ -= 100;  
    }  
    if (key == ' ') {  
        scanning = true;  
        model.reset();  
    }  
}
```


Anexo 3. Librerías utilizadas

En el código de Processing para la captura de imágenes 3D se han utilizado las siguientes librerías externas:

opengl:

Permite a los programas de Processing utilizar la velocidad del acelerador gráfico OpenGL para gráficos 2D y 3D.

modelbuilder:

Permite crear geometría con Processing (Modelado paramétrico)

Modelbuilder tiene dos partes:

unlekker.util y unlekker.modelbuilder y necesitamos ambas para crear geometría y para grabar ficheros en formato STL.

SimpleOpenNI :

Da acceso a todos los datos de la Kinect que necesitaremos y a la serie de herramientas y ayudantes que serán de mucha ayuda.

Interacciona con la Kinect

Anexo 4. Glosario

Seguidamente se presentan las definiciones de algunos términos usados en el texto de este documento que se consideran interesantes y que no se han desarrollado en el propio texto:

Ficheros OBJ:

(De Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/Wavefront_obj_file). Es un formato de archivo que define la geometría de un objeto. Primero fue desarrollado por Wavefront Technologies para su paquete de animación Advanced Visualizer. El formato de archivo es abierto y ha sido adoptado por otros proveedores de aplicaciones de gráficos 3D. En su mayor parte se trata de un formato universalmente aceptado.

Se trata de un sencillo formato de datos que representa la geometría 3D sola - es decir, la posición de cada vértice, la posición de UV de cada coordenada de textura de vértices, las normales de estos vértices y las caras que crean cada polígono definido como una lista de vértices, y su textura. Los vértices se almacenan en un sentido contrario a las agujas del reloj de forma predeterminada, por lo que la declaración explícita de las normales de las caras de los polígonos resulta innecesaria. Las coordenadas OBJ no tienen unidades, pero los archivos OBJ pueden contener información de sobre la escala del objeto en una línea de comentario legible.

Ficheros PLY:

(De Wikipedia [http://en.wikipedia.org/wiki/PLY_\(file_format\)](http://en.wikipedia.org/wiki/PLY_(file_format))). Es un formato de archivo informático conocido como el Formato de archivo de Polígono (Polygon File Format)

El formato fue diseñado principalmente para almacenar datos tridimensionales a partir de escáneres 3D. Consiste en una descripción relativamente simple de un solo objeto único como una lista de polígonos nominalmente planos. Una gran variedad de propiedades pueden almacenarse en archivo, incluyendo: color y la transparencia, normales a la superficie, coordenadas de textura. El formato permite tener propiedades distintas para la parte delantera y la trasera de un polígono. Existen dos versiones del formato de este tipo de archivo, uno en ASCII y el otro en binario.

Ficheros STL:

(De Wikipedia <http://es.wikipedia.org/wiki/STL>) STL (siglas provenientes del inglés "STereo Lithography") es un formato de archivo informático de diseño asistido por computadora (CAD) que define geometría de objetos 3D, excluyendo información como color, texturas o propiedades físicas que sí incluyen otros formatos CAD.

Fue creado por la empresa 3D Systems, concebido para su uso en la industria del prototipado rápido y sistemas de fabricación asistida por ordenador. En especial desde los años 2011-2012 con la aparición en el mercado de impresoras 3D de extrusión de plástico termofusible (personal y

asequible), el formato STL está siendo utilizado ampliamente por el software de control de estas máquinas.

Un archivo STL describe una superficie triangulada "bruta" no estructurada mediante la normal y los vértices (ordenados por la regla de la mano derechaderecha) de los triángulos usando un sistema tridimensional de coordenadas cartesianas. Las coordenadas STL deben ser números positivos, no hay información de escala, y las unidades son arbitrarias

Ficheros VRML:

(De Wikipedia <http://es.wikipedia.org/wiki/VRML>) VRML (sigla del inglés Virtual Reality Modeling Language. "Lenguaje para Modelado de Realidad Virtual") - formato de archivo normalizado que tiene como objetivo la representación de escenas u objetos interactivos tridimensionales; diseñado particularmente para su empleo en la web. Se usa por medio de comandos en inglés, los cuales agregan y determinan las características.

El lenguaje VRML posibilita la descripción de una escena compuesta por objetos 3D a partir de prototipos basados en formas geométricas básicas o de estructuras en las que se especifican los vértices y las aristas de cada polígono tridimensional y el color de su superficie. VRML permite también definir objetos 3D multimedia, a los cuales se puede asociar un enlace de manera que el usuario pueda acceder a una página web, imágenes, vídeos u otro fichero VRML de Internet cada vez que haga clic en el componente gráfico en cuestión.

Impresión 3D:

(De Wikipedia http://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n_3D) La impresión 3D es un grupo de tecnologías de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material. Las impresoras 3D son por lo general más rápidas, más baratas y más fáciles de usar que otras tecnologías de fabricación por adición, aunque como cualquier proceso industrial, estarán sometidas a un compromiso entre su precio de adquisición y la tolerancia en las medidas de los objetos producidos. Las impresoras 3D ofrecen a los desarrolladores de producto, la capacidad para imprimir partes y montajes hechos de diferentes materiales con diferentes propiedades físicas y mecánicas, a menudo con un simple proceso de montaje. Las tecnologías avanzadas de impresión 3D, pueden incluso ofrecer modelos que pueden servir como prototipos de producto.

Luz estructurada:

Los escáneres 3D de luz estructurada proyectan un patrón de luz en el objeto y analizan la deformación del patrón producida por la geometría de la escena. (Ver Wikipedia http://es.wikipedia.org/wiki/Esc%C3%A1ner_de_luz_estructurada)

Nube de puntos (Points Cloud):

(De Wikipedia http://es.wikipedia.org/wiki/Nube_de_puntos) Una nube de puntos es un conjunto de vértices en un sistema de coordenadas tridimensional. Estos vértices se identifican habitualmente como coordenadas X, Y, y Z y son representaciones de la superficie externa de un objeto.

Realidad Aumentada:

(De Wikipedia http://es.wikipedia.org/wiki/Realidad_aumentada) La realidad aumentada (RA) es el término que se usa para definir una visión a través de un dispositivo tecnológico, directa o indirecta, de un entorno físico del mundo real, cuyos elementos se combinan con elementos virtuales para la creación de una realidad mixta en tiempo real. Consiste en un conjunto de dispositivos que añaden información virtual a la información física ya existente, es decir, añadir una parte sintética virtual a lo real. Esta es la principal diferencia con la realidad virtual, puesto que no sustituye la realidad física, sino que sobreimprime los datos informáticos al mundo real.

Anexo 5. Bibliografía

- [1] B. Kacyra, «Maravillas de la antigüedad capturadas en 3D,» TED Talks, Noviembre 2011. [En línea]. Available: http://www.ted.com/talks/ben_kacyra_ancient_wonders_captured_in_3d.html.
- [2] L. Harouni, «Una introducción a la impresión en 3D,» TedTalks, Enero 2012. [En línea]. Available: http://www.ted.com/talks/lisa_harouni_a_primer_on_3d_printing.html.
- [3] E. Dans, «Consolidando el panorama en impresión 3D,» 11 Junio 2013. [En línea]. Available: <http://www.enriquedans.com/2013/06/consolidando-el-panorama-en-impresion-3d.html>.
- [4] E. Dans, «Impresoras 3D: el estado de la cuestión,» 9 Febrero 2013. [En línea]. Available: <http://www.enriquedans.com/2013/02/impresoras-3d-el-estado-de-la-cuestion.html>.
- [5] E. Dans, «Modelado 3D: un panorama confuso,» 20 Abril 2013. [En línea]. Available: <http://www.enriquedans.com/2013/04/modelado-3d-un-panorama-confuso.html>.
- [6] E. Dans, «Avanzando en impresión 3D: más pequeñas, más baratas, más sencillas, más ...,» 4 Junio 2013. [En línea]. Available: <http://www.enriquedans.com/2013/06/avanzando-en-impresion-3d-mas-pequenas-mas-baratas-mas-sencillas-mas.html>.
- [7] E. Dans, «Un mundo fotocopiable,» 18 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.enriquedans.com/2013/09/un-mundo-fotocopiable.html>.
- [8] M. Wall, «Se avecina una revolución más grande que la de internet,» BBC, 28 Septiembre 2013. [En línea]. Available: http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2013/09/130926_hagalo_usted_mismo_finde.shtml.
- [9] S. Ismail, «Salim Ismail en el Barcelona Challenge 2020: "¿Se imaginan cuando se pueda imprimir un riñón?",» La Vanguardia, 28 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.lavanguardia.com/vida/20130928/54388111719/salim-ismail-barcelona-challenge-2020-imaginan-cuando-pueda-imprimir-rinon.html>.
- [10] «Magazine MAKE,» 20 Febrero 2013. [En línea]. Available: <http://makezine.com/>.
- [11] «Ultimate Guide for 3D Printing,» MAKE, 20 Febrero 2013.
- [12] G. Borenstein, Making Things See. 3D vision with Kinect, Processing, Arduino, and MakerBot, O'Reilly, 2012.
- [13] A. K. F. J. S. Bre Peetis, Getting Started with MakerBot, O'Reilly, 2012.
- [14] D. Shiffman, «Learning Processing,» [En línea]. Available: <http://www.learningprocessing.com/>.
- [15] D. Shiffman, «Getting Started with Kinect and Processing,» [En línea]. Available: <http://shiffman.net/p5/kinect/>.
- [16] L. Jauregui, «Introducción a la Fotogrametría. Cap.1,» 2008. [En línea]. Available: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Fotogrametr%EDa/CAPITULO1.pdf>.

- [17] H. L. & M. Kurman, FABRICATED : The new world od 3D orinting., Wiley, 2013.
- [18] C. Anderson, MAKERS. The New Industrial Revolution, New York: Crown Business, 2012.
- [19] «La Vanguardia,» 28 04 2014. [En línea]. Available:
<http://www.lavanguardia.com/vida/20140428/54406422580/china-construye-casas-impresora-3d.html>.

Anexo 6. Vita

Joan Soler Abelló nació en Terrassa el 1 de Julio de 1956.

Cursó los estudios de Ingeniero Técnico Superior Industrial en la rama Eléctrica en la UPC (Terrassa).

Ha desarrollado su profesión en ABB Motores S.A., empresa dedicada al diseño, fabricación y venta de motores eléctricos como Ingeniero de Aplicaciones y Ofertas (1983-1989), director del departamento de Ingeniería (1989-2001) y posteriormente dirigiendo el departamento de I+D (2001-2012).

A partir de 2013 es el responsable de Normas y Directiva en el Product Group IEC Low Voltage Motors en ABB. Debido a este cargo es miembro de varios grupos de trabajo de IEC y CENELEC colaborando en el desarrollo de normas IEC y EN relacionadas con Máquinas Eléctricas.

Es importante mencionar que dentro del ámbito de las normas y directivas actualmente se están tratando muchos temas dentro del marco conservación del medio ambiente con el fin de conseguir productos mucho más eficientes en cuanto a su rendimiento funcional y a la vez menos contaminantes.

Debido a sus inquietudes en el apartado de video, fotografía, audio, ... empezó los estudios de Graduado Multimedia en la UOC (Universitat Oberta de Catalunya) en el año 2004 adaptándose al Grau en Multimedia en la misma UOC en el 2008 hasta finalizarlos en 2013 a falta del Treball Final de Grau que en este documento se ha desarrollado.

(Para mayor información consultar <http://www.linkedin.com/in/jsolerab>)