



LEVANTAMIENTO DIGITAL Y MODELACIÓN 3D

curso básico
Alessandro Merlo
Andrea Aliperta





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

Questa pubblicazione è stata sottoposta ad una procedura di accettazione e valutazione qualitativa basata sul giudizio tra pari affidata al Comitato Scientifico nominato dal dipartimento DIDA.

Los temas tratados en este volumen han sido objeto de comunicaciones específicas dentro de cursos universitarios impartidos por Alessandro Merlo entre 2012 y 2014, en el Instituto de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia y en el Departamento de Historia del Arte de la Universidad de Valencia.



progetto grafico



Laboratorio
**Comunicazione
e Immagine**

Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze

© 2015

DIDA Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze
via della Mattonaia, 14
50121 Firenze

ISBN 9788896080290

LEVANTAMIENTO DIGITAL Y MODELACIÓN 3D

curso básico **Alessandro Merlo, Andrea Aliperta**



EL LEVANTAMIENTO DIGITAL: HERRAMIENTAS Y METODOLOGÍAS DE ADQUISICIÓN

Lección 1 Introducción al levantamiento digital, los sensores activos, el levantamiento con escáner láser.

Lección 2 Los sensores pasivos, informe básico sobre la fotografía digital, el levantamiento fotogramétrico.

PROGRAMAS DE GESTIÓN DE LOS DATOS Y RESTITUCIÓN 2D

Lección 3 3D point cloud processing software. Elaboración de los datos y alineación de las nubes de puntos.

Lección 4 3D point cloud processing software. Restitución 2D (plantas, alzados y secciones).

Lección 5 Programas de fotogrametría. Procesamiento digital, elaboración de los fotogramas para la creación de nubes de puntos 3D y restitución 2D.

REALITY BASED MODELS PARA LA DOCUMENTACIÓN DE LOS BIENES CULTURALES

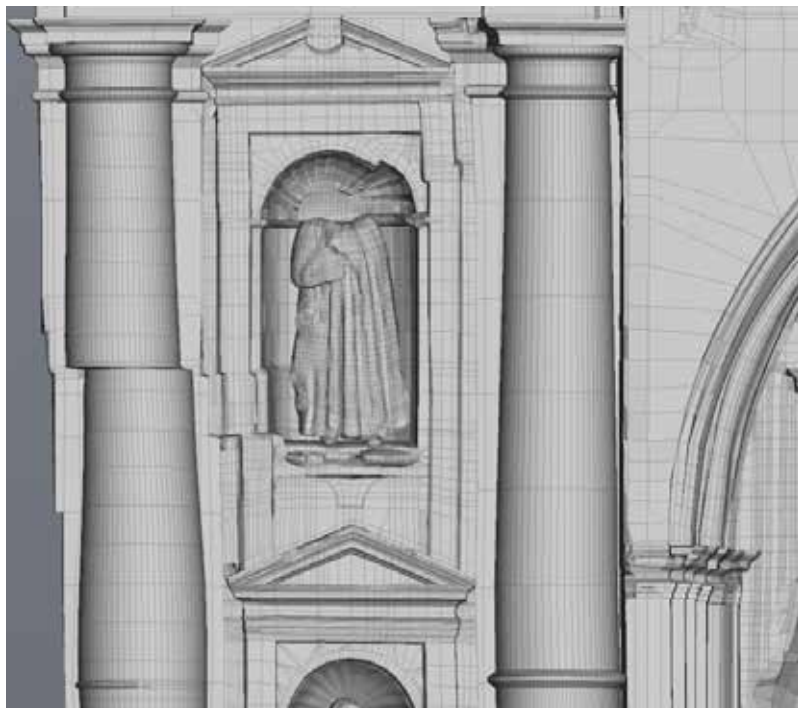
Lección 6 Reverse Modelling para la creación de maquetas Range Based: teoría y programas. Foto-modelación para la creación de maquetas Image Based.

PROCESOS DE OPTIMIZACIÓN DE LOS MODELOS 3D PARA LAS APLICACIONES MULTIMEDIA

Lección 7 Gestión de la resolución de la maqueta: mesh high-poly y mesh low-poly. El papel de los programas para el entretenimiento en la pipeline del trabajo.

Lección 8 ¿Forma o apariencia? UV map y baking de las informaciones geométricas de la maqueta.

Lección 9 La restitución del color difuso: camera resectioning, camera projection y baking de las informaciones cromáticas.



El curso básico sobre las técnicas y las herramientas para el levantamiento digital del patrimonio cultural tiene dos objetivos principales: definir los campos de aplicación y los principios de funcionamiento de los instrumentos de obtención de datos 3D más utilizados en el ámbito del Patrimonio Cultural, evidenciando tanto sus puntos fuertes como sus débiles; y analizar las técnicas de modelación 3D a partir de la información proporcionada por medio de levantamientos digitales.

Hoy en día, en el ámbito del Patrimonio Cultural las técnicas de levantamiento y de modelado digital en 3D, con el apoyo de sistemas cada vez más eficientes para la visualización de datos digitales, juegan un papel clave en la documentación de los bienes patrimoniales, en sus análisis, en la puesta en valor y divulgación de los artefactos a través de la web y de aparatos móviles y, por último, en el almacenamiento de datos.

Las dos familias de instrumentos y métodos utilizados en este contexto son el escáner láser 3D y las técnicas fotogramétricas.

El uso de estas herramientas se ajusta generalmente dentro de un proceso “cognitivo” pluridisciplinar, en el que los expertos en imágenes 3D tienen la función de documentar los aspectos geométricos, formales y materiales de los objetos, basándose en las peticiones formuladas por los demás técnicos del equipo, quienes para poder valorar la eficacia y utilidad del levantamiento digital deben conocer también el potencial y el funcionamiento básico de estas tecnologías. Las técnicas actuales de levantamiento digital tienen un nivel de complejidad muy superior a la mayoría de los métodos de levantamiento “directo” de uso común. No obstante esta dificultad, debida principalmente al uso y manejo de la información en 3D, estas técnicas se compensan por una mayor exhaustividad de la información geométrica y colorimétrica, un menor tiempo en la toma de los datos y un grado de precisión muy elevado.

La tolerancia de las copias digitales en comparación con los datos reales depende del tipo de instrumento y del método de restitución elegido en fun-

ción del propósito que debe cumplir el modelo digital, de las características geométricas y materiales del objeto, de las condiciones ambientales en las que se debe hacer el levantamiento, del presupuesto disponible y de la experiencia del técnico o de quien encarga la obra.

En el levantamiento 3D lo que interesa es la obtención, en soporte digital, de la distribución en el espacio de las superficies externas de un objeto, de las cuales no tenemos ninguna suposición *a priori*.

Los sensores tridimensionales son, por tanto, herramientas que permiten generar una imagen 3D del encuadre de una escena.

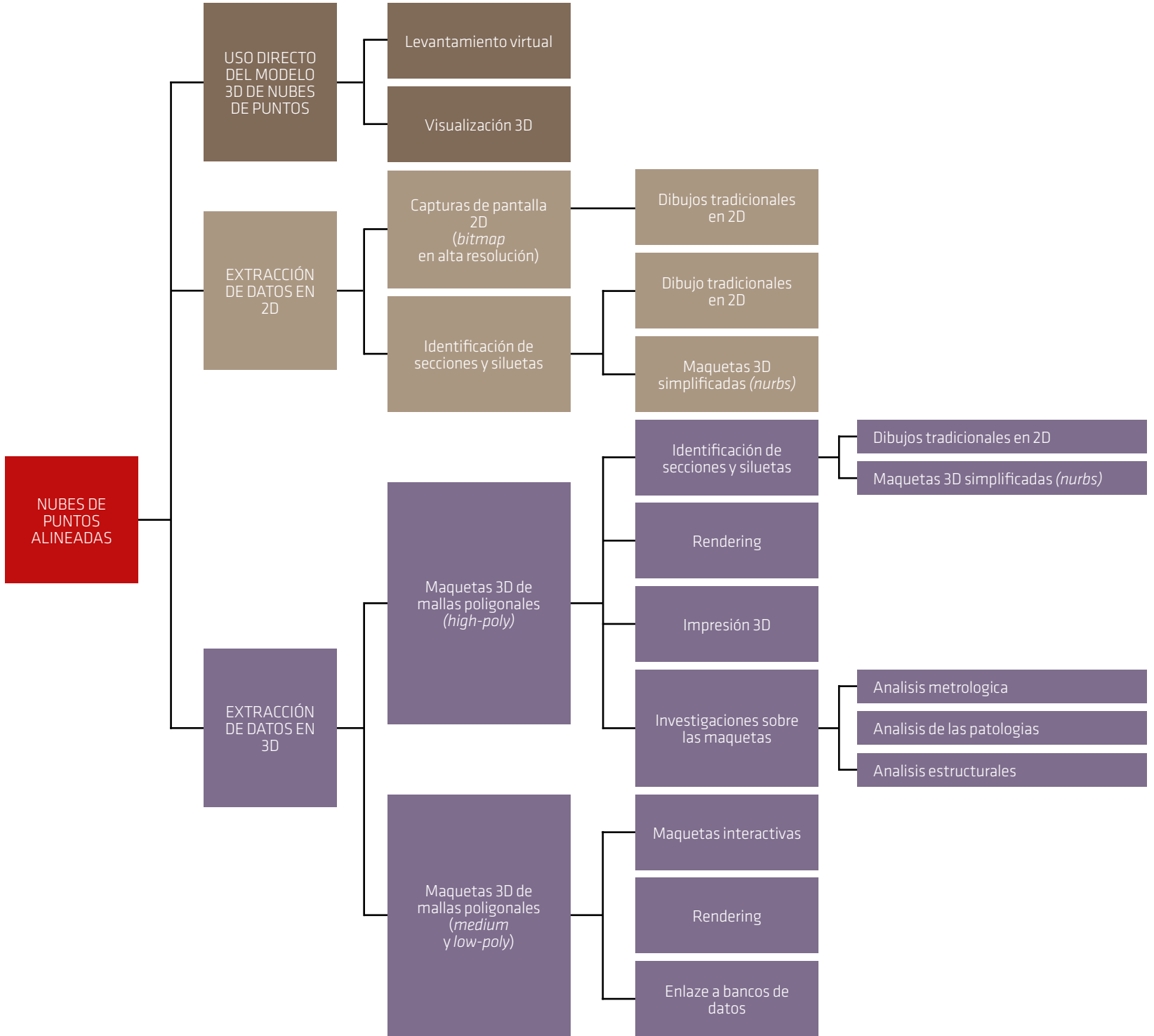
El tipo de sensores que trataremos en este curso son los que utilizan la radiación de luz (range-based), dentro de los cuales se puede hacer una distinción adicional según la naturaleza de la luz que se utiliza para realizar la medición:

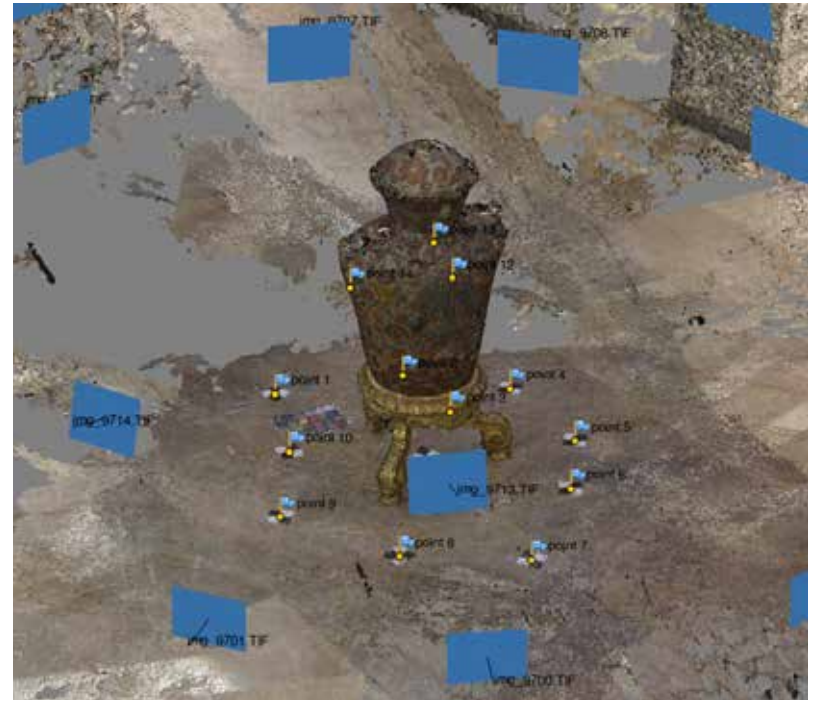
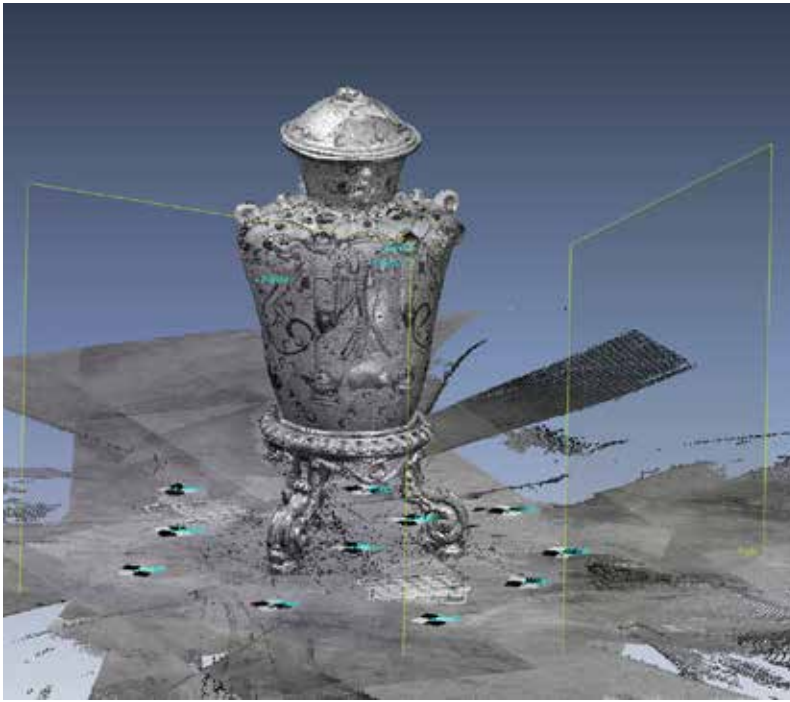
- sensores activos si la luz se codifica de manera que desempeñe un papel en el proceso de medición (escáner láser, herramientas para la proyección de luz estructurada, radar, estaciones totales, etc.);
- métodos de medición pasiva si se trata de luz natural (técnica fotogramétrica, etc.).

La creación de modelos tridimensionales de objetos reality-based se puede lograr a través de la utilización de los datos 3D generados por ambas tecnologías descritas.

Los sensores ópticos activos permiten obtener directamente la posición espacial de la superficie o del punto detectado, a veces con la información del color que puede registrarse con el propio sensor o con una cámara digital externa. Este tipo de instrumentos activos range-based tiene la principal ventaja de adquirir directamente y en poco tiempo una gran cantidad de datos en relación a una geometría muy compleja y con una elevada precisión.

Un instrumento activo que utiliza un láser se llama generalmente range camera o escáner láser 3D. El principio de funcionamiento de una range camera puede variar dependiendo del tamaño del objeto a levanta-





tar y, en consecuencia, según la distancia entre el sensor y el mismo objeto. Para volúmenes de tamaño pequeño-mediano, aproximadamente de menos de 1 metro cúbico, los escáneres se basan en el principio de medición por triangulación; para volúmenes superiores se utilizan sensores de medición del tiempo de vuelo (TOF, Time of Flight).

Entre los sensores activos también se debe recordar el radar (instrumentos montados en plataformas aéreas o terrestres, que obtienen imágenes y toman la información 3D a través de procesos de interferometría), GPS y estaciones totales (instrumentos capaces de proporcionar las coordenadas espaciales de puntos individuales).

En resumen, los sistemas de medición por triangulación permiten una medición muy precisa, con resoluciones de hasta una décima de milímetro y una imprecisión en la medida de unas pocas decenas de micra. Por el contrario, son sistemas que funcionan dentro de distancias limitadas (a menos de 2 metros) y con campos de encuadre también reducidos.

Por esta razón, para el levantamiento de objetos más grandes, tales como edificios, excavaciones arqueológicas y áreas territoriales, se recurre a un equipo óptico capaz de medir con gran precisión la dirección de apuntamien-

to (ángulos), al que se añade un distanciómetro que proporciona un pulso de láser y la correspondiente medida del tiempo empleado por la luz en ir a la superficie y volver hasta el instrumento de medición (TOF). Este intervalo de tiempo permite deducir la distancia entre el instrumento y la superficie, que junto al conocimiento de los ángulos proporciona las coordenadas 3D de la zona apuntada por láser.

Un escáner de tiempo de vuelo automatiza la operación de apuntamiento por medio de un motor que cambia esa dirección según un paso programado. La enorme velocidad de la luz provoca un error en la estimación del tiempo de vuelo, que se traduce en una imprecisión en la medición: sistemas de este tipo, de hecho, poseen una imprecisión en la medida que es difícilmente inferior a 1 mm, es decir aproximadamente 10 veces más que la imprecisión de 0,1 mm de los sensores activos por triangulación.

El proceso que define el paso de la obtención de datos hasta la generación del modelo digital poligonal lo llamamos Modelación Inversa (Reverse Modeling), subrayando el proceso “inverso” en comparación con lo que normalmente se realiza en ámbito proyectual: desde el modelo (digital y no) a la realización del objeto.





Los métodos basados en el procesamiento métrico de las imágenes (image-based), requieren una formulación matemática precisa para transformar los datos extraídos de las imágenes en coordenadas métricas 3D. Las imágenes contienen toda la información necesaria para reproducir tanto la geometría como la textura del objeto fotografiado, haciendo posible la generación de modelos tridimensionales.

La fotogrametría es la ciencia que permite obtener mediciones precisas a partir de fotografías (imágenes) tomadas con sensores terrestres, aviones o satélites. A partir de diferentes puntos homólogos identificados en las imágenes, la técnica fotogramétrica proporciona informaciones métricas sobre tamaño, forma y posición de un objeto y de su entorno (escena).

En comparación con los sensores activos, los levantamientos fotogramétricos utilizan imágenes que contienen toda la información (geometría y textura) útil para la realización de modelos 3D. Además, a través de la fotogrametría es posible restituir, usando imágenes almacenadas, objetos o escenas que ya no están disponibles o se han dañado.

La mejor forma de orientar un levantamiento digital consiste en una combinación de distintas herramientas y técnicas de modelado 3D. De hecho, los datos tridimensionales obtenidos a partir de los sistemas range-based y image-based pueden unirse e integrarse fácilmente.



El levantamiento digital: herramientas y metodologías de adquisición

“Según las interpretaciones más avanzadas se debe entender por levantamiento la forma primigenia de conocimiento y por lo tanto el conjunto de operaciones de medidas y de análisis necesarios para comprender y documentar el bien cultural en su configuración completa, referida a sus características dimensionales y métricas, a su complejidad histórica, a sus características materiales, así como formales y funcionales”

	INSTRUMENTO	METODOLOGÍA	RESTITUCIÓN	RESULTADO	UTILIZO
LEVANTAMIENTO “A VISTA” (CROQUIS)	Herramientas de dibujo a mano alzada	Dibujo a mano alzada	Geometrías de elementos Proporciones entre elementos	Representación de plantas, secciones y alzados	Edidotipos (dibujos para poner medidas y acotaciones)
LEVANTAMIENTO DIRECTO	Distanciómetro Láser Nivel láser	Trilateración Abscisas y ordenadas (medidas de longitud)	Dibujos de arcos de circunferencias y líneas	Puntos destacados que pertenecen a un mismo plano	Elementos 2D + maquetas 3D simplificadas
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	Estación total	Medidas de distancias y de ángulos	Por medio de un <i>software</i> (trigonometría)	Puntos destacados que pertenecen a un mismo ámbito 3D (nube de puntos ligera)	Elementos 2D + maquetas 3D simplificadas
LEVANTAMIENTO LASER SCANNER	Escáner láser 3D	Medidas de distancias y de ángulos	Por medio de un <i>software</i> (trigonometría)	Puntos indefinidos que pertenecen a un mismo ámbito 3D (nube de puntos densa)	Maquetas 3D <i>high-poly</i> + elementos 2D
LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO	Cámara fotográfica digital	Toma de imágenes	Por medio de un <i>software</i> (ecuaciones de colinealidad)	Puntos indefinidos que pertenecen a un mismo ámbito 3D (nube de puntos densa) + textura	Maquetas 3D <i>high-poly</i> mapeadas + elementos 2D

INTRODUCCIÓN AL LEVANTAMIENTO DIGITAL, LOS SENSORES ACTIVOS, EL LEVANTAMIENTO CON ESCÁNER LÁSER

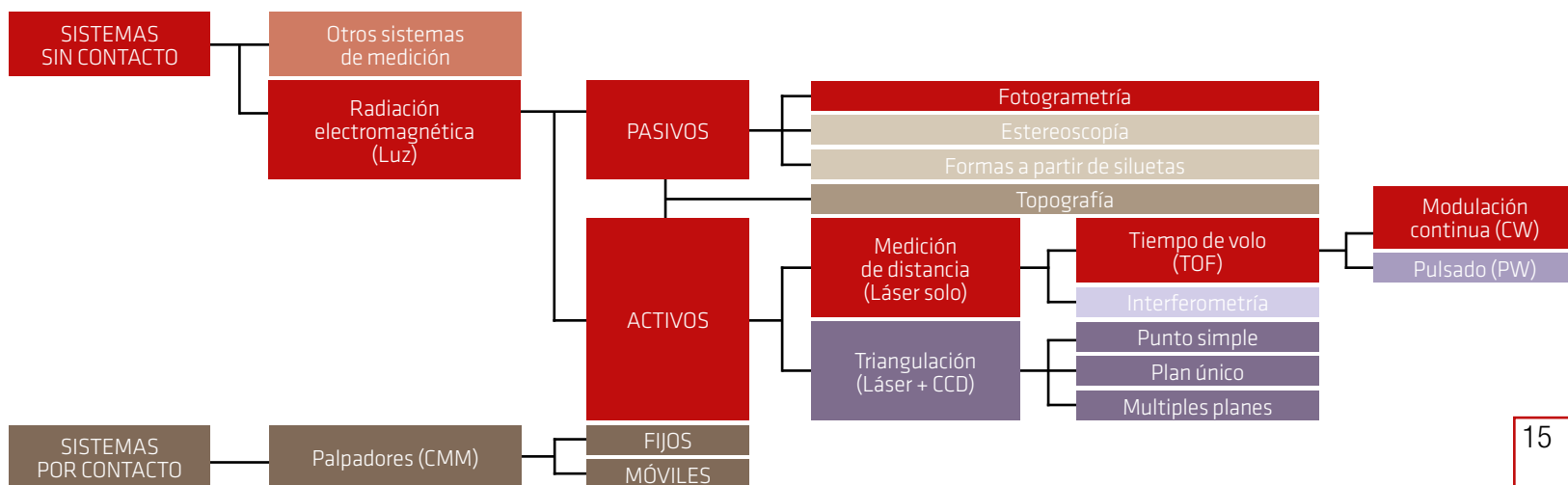
Tipo de sensores

El tipo de sensores que trataremos en este curso son los que utilizan la radiación de luz (range-based – basado en la radiación electromagnética), dentro de los cuales se puede hacer una distinción adicional según la naturaleza de la luz que se utiliza para realizar la medición:

- sensores activos si la luz se codifica de manera que desempeñe un papel en el proceso de medición,
- métodos de medición pasiva si se trata de luz natural.

La creación de modelos reality-based se puede lograr a través de la utilización de los datos 3D generados por ambas tecnologías descritas. “El problema de la integración y de la interrelación de las diferentes técnicas se debe resolver asumiendo como parámetro de referencia, pues no sería legítima una

elección distinta, el problema de la documentación y de la representación del patrimonio [...] Esta elección determina de forma decisiva tanto la definición de criterios para el uso de las distintas técnicas como la determinación de los requisitos cualitativos indispensables. Esto lleva a considerar que la parcela del levantamiento es multidisciplinar y conlleva, en casi todos los casos, el concurso integrado de varias competencias profesionales, aunque con tareas diferenciadas [...] Las peculiaridades de cada metodología se deben conocer y tener en cuenta, en la fase de proyecto, en relación con el objeto que se va a levantar [...] Se debe precisar, por otro lado, que en muchas operaciones de levantamiento, resulta indispensable la utilización integrada de distintos métodos, para documentar de un modo adecuado las cualidades del objeto”.

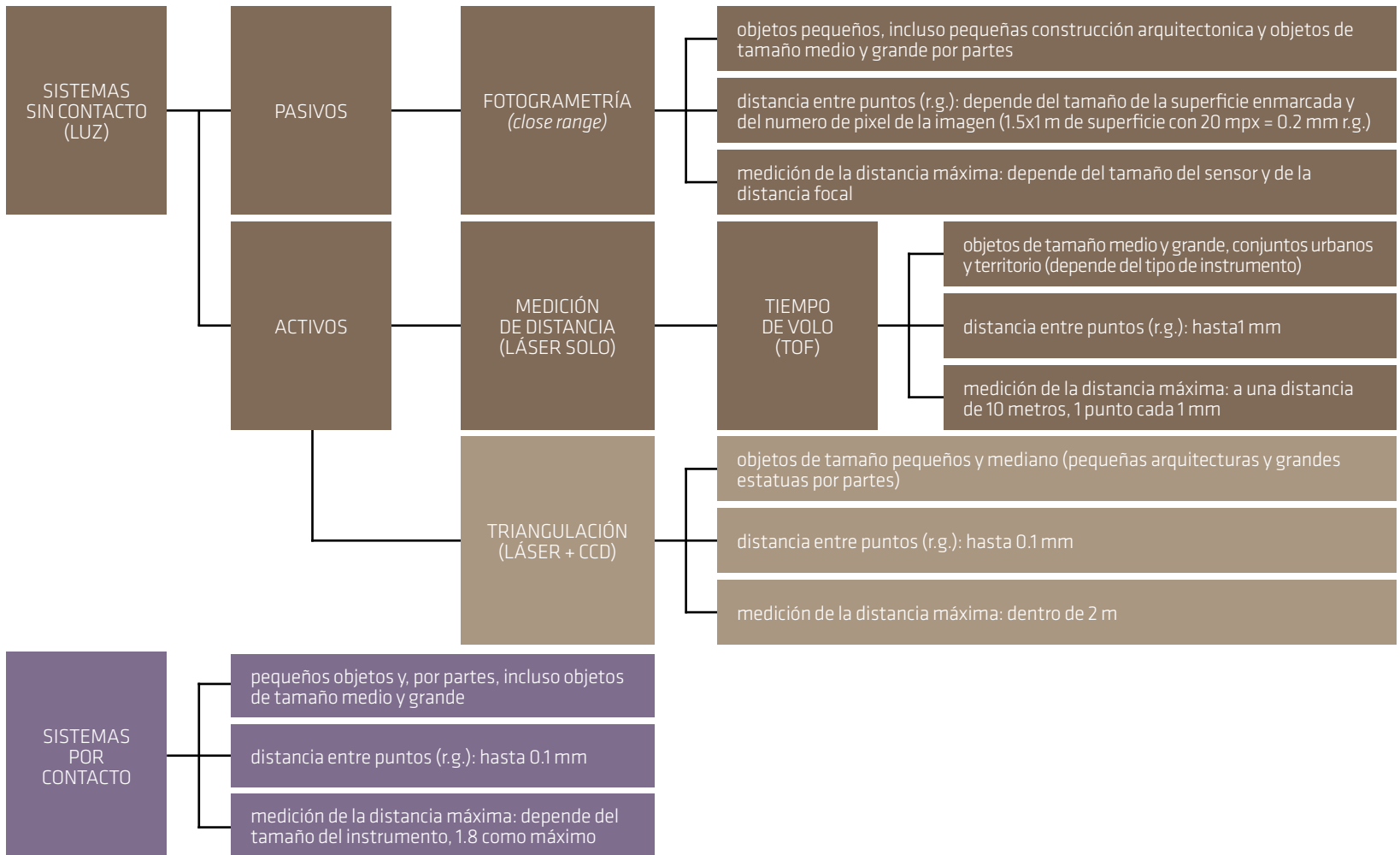


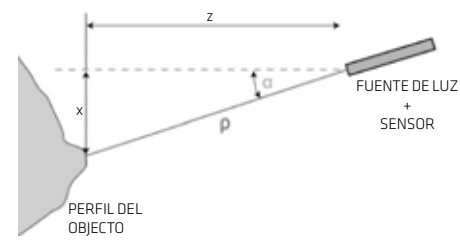
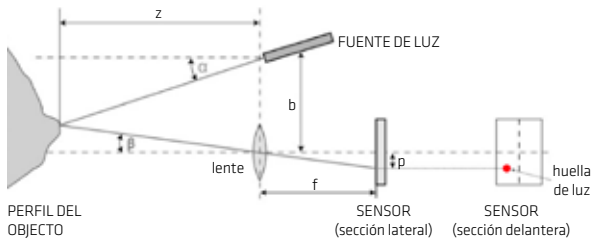
Sensores activos

Un instrumento activo que utiliza un láser se llama generalmente range camera o escáner láser 3D. El principio de funcionamiento de una range camera puede variar dependiendo del tamaño del objeto a levantar y, en consecuencia, según la distancia entre el sensor y el mismo objeto.

Para volúmenes de tamaño pequeño-mediano, aproximadamente de menos de 1 metro cúbico, los escáneres se basan en el principio de medición por triangulación.

Para volúmenes superiores se utilizan sensores de medición del tiempo de vuelo (TOF, Time of Flight).







Sistemas de medición por triangulación: el punto de láser, la cámara y el emisor del láser forman un triángulo. El haz de luz incide en el objeto y una cámara graba la ubicación de ese punto. Dependiendo de la distancia a la que el láser golpee una superficie, el punto del láser aparece en lugares diferentes en el sensor.

Sensores de medición del tiempo de vuelo: equipos ópticos capaces de medir la dirección de apuntamiento (ángulos), al que se añade un distanciómetro que proporciona un pulso de láser; la medida del intervalo de tiempo empleado por la luz en ir a la superficie y volver hasta el instrumento permite deducir la distancia entre el instrumento y la superficie apuntada por el láser.





 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

 LEVANTAMIENTO LASER SCANNER

Levantamiento con escáner láser

1. Visita

La visita a los lugares/objetos a levantar es un paso preliminar que tiene el objetivo de: averiguar las condiciones en que se encuentran los objetos y examinar las condiciones del entorno para detectar dificultades en el proceso de levantamiento.

2. Proyecto de levantamiento

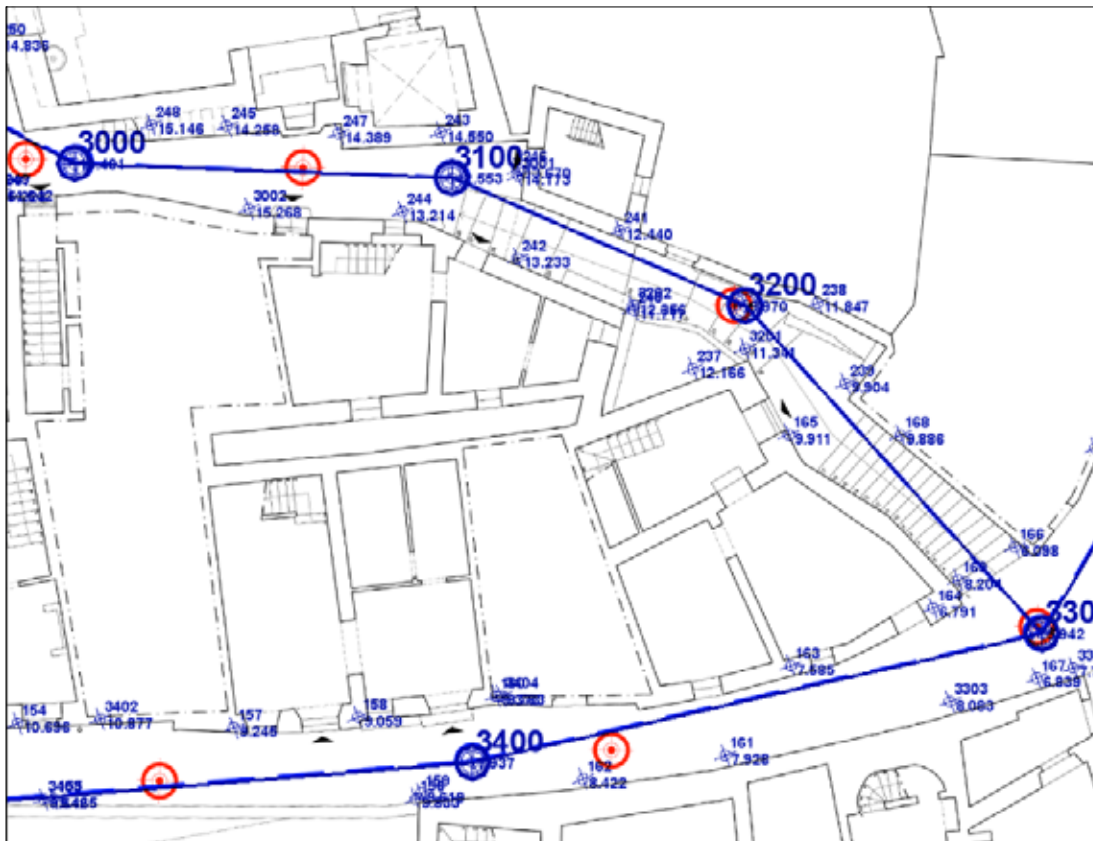
Una vez efectuada la visita se puede desarrollar en gabinete un proyecto de levantamiento que involucre tanto la estación topográfica, como el escáner láser.

PIETRABUONA	
Scan data	
Tool	Scanner laser Faro Photon 120
Resolution	1/8
Quality	4x
Distance tool-object	10 m
Number of scans	117
Time	14 h

Points cloud model	
Number of scan points	1054x10 ⁶ pt
Accuracy of the model	5 mm
Dimension of the .imp file	20384 Mbyte

El proyecto tiene como objetivo determinar la posición y el número de estaciones necesarias para una toma completa de los datos (dianas y objetos), teniendo en cuenta:

- la visibilidad de las dianas (toma topografía y escáner láser),
- la presencia de elementos que puedan interferir con la adquisición completa del objeto (franjas de sombras).





3. Colocación de las dianas (targets)

Las dianas son elementos bidimensionales “de alto contraste” que se colocan en la escena para ser colimados por la estación total y adquiridos por el escáner láser. Su colocación se evalúa teniendo en cuenta que en cada nube deben encontrarse por lo menos 3 dianas, que al mismo tiempo serán tomadas por la estación total (una operación de roto-traslación se lleva a cabo con tres puntos). La alineación de dos nubes contiguas mejorará a medida que aumente el número de dianas en común.

4. Toma de datos

La toma de datos se realiza en campo de acuerdo con el plan de levantamiento elaborado previamente. El levantamiento topográfico capturará la posición de las dianas en el espacio (y también de varios puntos “de control” sobre la arquitectura).

Con el escáner láser se adquieren, en cambio, todos los puntos visibles (coordenadas X,Y,Z y, si el instrumento lleva una cámara fotográfica integrada, también los valores R,G,B) desde la posición de toma preestablecida, sin ninguna discretización (posibilidad de elegir puntos concretos), basándose en los parámetros de precisión y exactitud previamente fijados en el dispositivo.

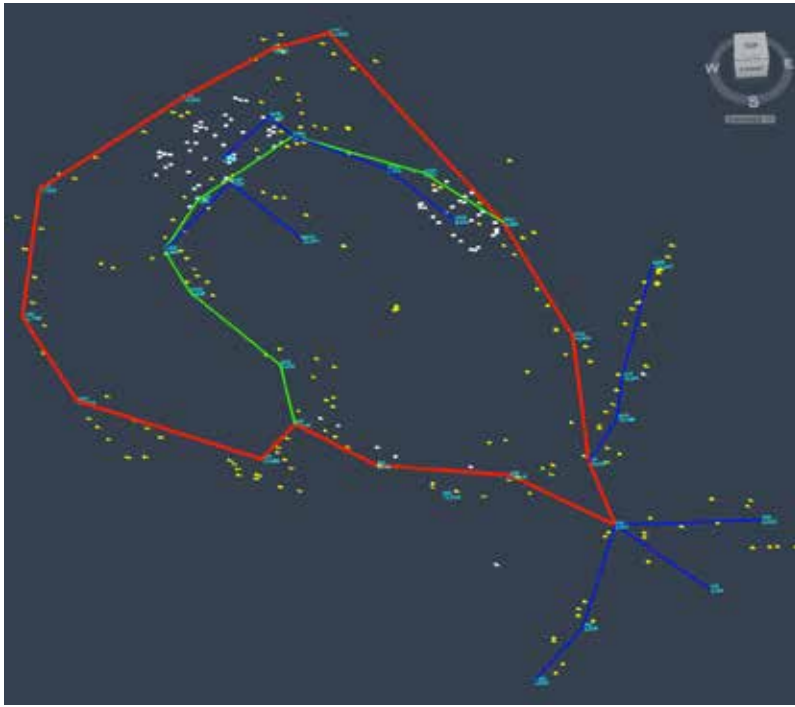
Precisión (p.ej. 1x) se refiere a la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud. Cuanto menor es la dispersión, mayor es la precisión.

Exactitud (propia del instrumento) se refiere a cuán cerca del valor real se encuentra el valor medido. Cuando se expresa la exactitud de un resultado, se expresa mediante el error absoluto, que es la diferencia entre el valor experimental y el valor verdadero.

Resolución (p.ej. 1/2) se refiere a la distancia que hay entre puntos tomados, una vez establecida la distancia que hay entre el escáner y el objeto.

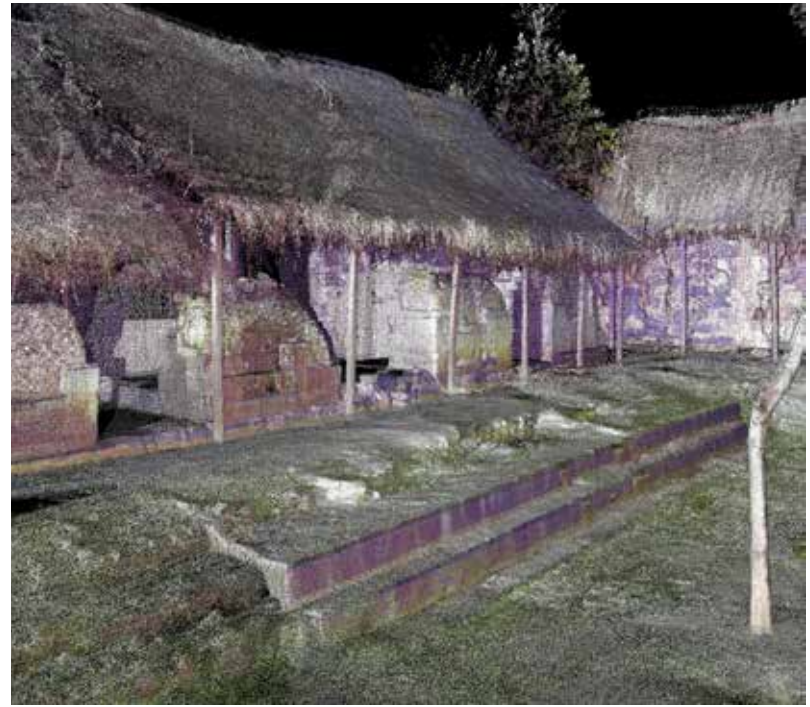
La resolución puede ser de menor valor que la precisión. Por ejemplo, si al medir una distancia la resolución es de 0,01 mm, pero la precisión es de 1 mm, entonces pueden apreciarse variaciones en la distancia medida de 0,01 mm, pero no puede asegurarse que haya un error de medición menor a 1 mm.





5. Descarga y conversión de datos

Una vez terminada la fase de adquisición, los datos digitales deben ser descargados en una computadora para, luego, ser procesados. En el momento de la toma, los datos se almacenan en el instrumento utilizando una extensión de fichero que pertenece, usualmente, al mismo fabricante del aparato con el objetivo de optimizar los recursos de memoria (para los escáner láser, por ejemplo, .fls es el fichero de Faro, .zfs el fichero de Zoller+Fröhlich, .imp el fichero de Leica). Una vez descargados, es aconsejable convertir esos datos en formatos de intercambio, que permiten importar las nubes en los programas más comunes (por ejemplo los formados .ptx y .pts) y garantizan una mayor longevidad de los datos.

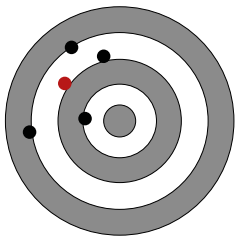


6. Procesamiento de datos

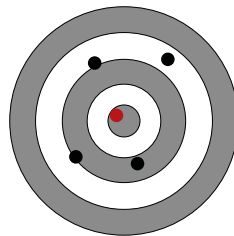
Los datos descargados, filtrados y convertidos deben ser procesados para obtener la alineación correcta de las nubes.

Gracias a las coordenadas de los puntos (dianas) tomados por medio de la estación topográfica, los programas permiten alinear las nubes densas (sacadas del escáner) entre ellas con respecto a las nubes ligeras (de la estación topográfica).

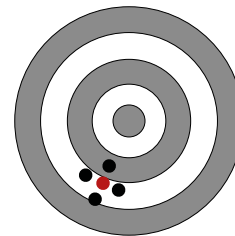
Una vez hecho esto se tendrá un modelo 3D discontinuo del objeto tomado y, a partir de eso, se podrán extraer datos en 2D y 3D según las finalidades que se quieren lograr.



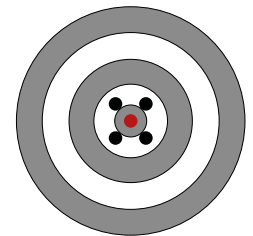
Ni preciso Ni exacto



Inpreciso pero exacto



preciso pero no exacto



preciso y exacto

LECCIÓN 2

LOS SENSORES PASIVOS, INFORME BÁSICO SOBRE LA FOTOGRAFÍA DIGITAL, EL LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO

La fotogrametría es la ciencia que permite determinar las propiedades métricas y geométricas de los objetos y sus situaciones espaciales a partir de imágenes fotográficas (mínimo dos fotogramas) tomadas por medio de sensores terrestres, aéreos o satelitales.

Estas propiedades se obtienen una vez que se ha establecido, mediante el uso de un modelo matemático, una relación geométrica entre las imágenes y la escena real en el momento de la toma.

El principal uso de esta tecnología se refiere al ámbito cartográfico; hay además otras esferas en las cuales se aprovecha, hoy en día, de las ventajas que la fotogrametría terrestre (fotogrametría de rango próximo) o bien aérea ofrecen:

- Bienes Culturales (documentación, catalogación y monitorización).
- Gobierno de un territorio o de una ciudad (actualización de las cartografías, construcciones ilegales, dimensiones de cuadras y edificios, etc.).
- Monitoreo del ambiente (cambios que surgen en el territorio por causa del hombre o de eventos naturales como los deslizamientos de tierra y avalanchas).
- Ámbitos médicos, etc.

La fotogrametría remonta a la mitad del siglo XIX, pero solo a finales de los años 90 hubo un cambio importante debido a la introducción de sensores digitales y a la posibilidad de utilizar la informática para procesar las imágenes. Al principio del siglo XXI las dificultades en el procesamiento de datos mediante las anticuadas técnicas del Manual Data Processing causaron una disminución de interés en las técnicas fotogramétricas y favorecieron el de-

sarrollo de los escáneres láser. En 2005 y 2006 la fotogrametría se pone de nuevo en boga gracias a la formulación y a la utilización de algoritmos de automatización que permiten, empleando softwares especiales, derivar nubes densas de puntos con la misma exactitud que los sensores activos.

Fundamentos científicos de la fotogrametría

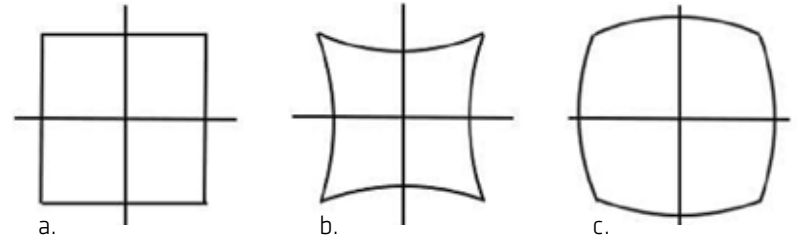
La fotogrametría se basa en el principio de la triangulación y utiliza la intersección directa simple basada en el principio de colinealidad, que establece que el centro de proyección de la cámara, el punto imagen p' y su correspondiente punto p en el espacio se encuentran en la misma línea recta.

Para la creación de un modelo fotogramétrico es necesario conocer:

- *Parámetros de orientación interna* que permiten conocer la geometría interna de una cámara; los parámetros se obtienen a lo largo de un proceso de calibración de la cámara, empleando por lo menos dos fotos (preferiblemente más de dos) y un algoritmo para el cálculo.

Los parámetros son:

- $K1, K2, K3$ (parámetros de distorsión radial de la lente) que influyen en la “distorsión de barril”, en la “distorsión de cojín” y en la “distorsión de bigote” (la desviación debida a la distorsión radial).
- $P1, P2$ (Parámetros de distorsión tangencial): distorsión causada por el mal montaje de la lente y de los diferentes componentes que forman la óptica.
- $X'a, Y'a$ (coordenadas del punto principal).
- f (distancia focal del objetivo).



- *Parámetros de orientación externa* (posición y orientación angular asociadas a una imagen):
 - Coordenadas en el espacio del centro de la perspectiva: X, Y, Z.
 - Tres ángulos de rotación: omega, phi, kappa.

La calibración de la cámara digital es un requisito previo para el levantamiento métrico a partir de imágenes. Una restitución 3D con una cámara calibrada es capaz de lograr resultados con una precisión de hasta 10 veces más alta que la misma restitución pero sin calibración. El procedimiento de calibración

se realiza generalmente mediante la adquisición de imágenes de un objeto tridimensional, que consiste en puntos (targets) fácilmente reconocibles y medibles de forma automática y con alta exactitud (menos de 1/10 de píxel) en las imágenes. Para realizar una calibración adecuada es preferible fotografiar un objeto tridimensional con una docena de imágenes convergentes, tomadas a diferentes distancias desde el objeto, incluso rodando la cámara de ± 90 grados (para reducir las correlaciones entre los parámetros) y una distribución uniforme y no coplanaria de puntos en las diferentes imágenes.

VENTAJAS, DESVENTAJAS, INTEGRACIÓN

Datos proporcionados por escáner laser

Ventajas: proporciona un modelo 3D en el momento mismo de la adquisición mediante un instrumento fácil de utilizar; el proceso de adquisición es muy rápido; las condiciones de iluminación no afectan los resultados de la toma de datos.

Desventajas: produce millones de puntos que no pueden ser controlados por el operador; la información del color está ausente o es de baja calidad y, todavía, la asociación entre valores RGB y coordenadas de los puntos no es inmediata; proporciona un error medio estimado por toda la nube, generalmente establecido por la casa; el coste del instrumento no es ni siquiera económico.

Datos proporcionados por imágenes

Ventajas: se puede obtener un modelo 3D de puntos densos o bien ligeros (Dense Cloud o Sparse Cloud); elevada exactitud; la resolución depende de la distancia entre cámara y objeto; trabaja directamente con imágenes (buena información sobre el color); el coste de los aparados es módico.

Desventajas: inicialmente el modelo 3D no está en escala (no tiene en cuenta de los valores métricos del objeto); no proporciona directamente un modelo 3D en el momento de la adquisición; donde no hay texturas tampoco hay datos; los procedimientos de captura requieren experiencia del operador que realiza la campaña fotográfica; la luz en la escena puede perjudicar la toma de las imágenes.

Existen varios programas que proporcionan modelos 3D a partir de fotografías, utilizando los principios de la fotogrametría. Estos softwares se pueden subdividir en:

- Programas gratuitos como, p.ej. “Photosynt” y “Bundler”.
- Programas comerciales como p.ej. “Photoscan”.
- Programas open source con códigos de programación abiertos, como p.ej. “Mic Mac”, en los cuales se pueden aportar variaciones y averiguar todos los procedimientos empleados.
- Programas online black box como “123 D Catch” en los cuales las imágenes deben ser cargadas en un servidor en la web y la empresa que gestiona el servicio proporciona una maqueta 3D sin que se pueda intervenir en el proceso de desarrollo del modelo.

La fotografía digital

Componentes de la cámara réflex digital

Objetivo: Sistema óptico compuesto por varias lentes, que canaliza la luz que reflejan los objetos situados ante él.

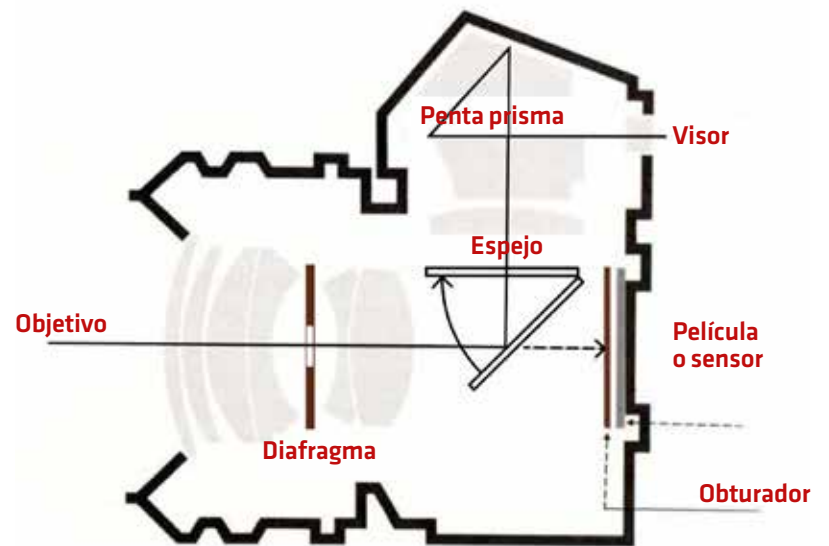
Diafragma: Sistema mecánico o electrónico, compuesto por laminillas, que gradúa la mayor o menor intensidad de luz que debe pasar durante el tiempo que el obturador permanece abierto.

Espejo: Cuando se dispara la máquina para sacar una foto, el espejo se levanta y deja que la luz pase para la película, permitiendo que se conforme la imagen en ella.

Pentaprisma: El pentaprisma es un bloque de vidrio con una forma especial. Actúa como un conjunto de espejos que reflejan la luz desde la pantalla de enfoque hasta el ocular.

Visor: Es por donde se ve la imagen. Dependiendo de la cámara, en el visor pueden verse: el fotómetro, el diafragma, la velocidad, etc.

Obturador: El obturador está ubicado en el cuerpo de la cámara. Está com-



puesto de dos cortinas, una que tapa la abertura e impide el paso de la luz y la otra que está enrollada. Cuando se dispara, una cortina se enrolla y permite que pase la luz a la película. Cuando termina el tiempo de exposición se cierra la segunda cortina y da por concluido el proceso.

Sensor: Está ubicado en la parte final de la montura de la lente y viene a reemplazar lo que años atrás era la película. Funciona reaccionando eléctricamente a la luz que ingresa. Cuanto mayor es la cantidad de luz que ingresa, mayor es la reacción eléctrica producida, incrementando la señal.

Parámetros que definen la imagen

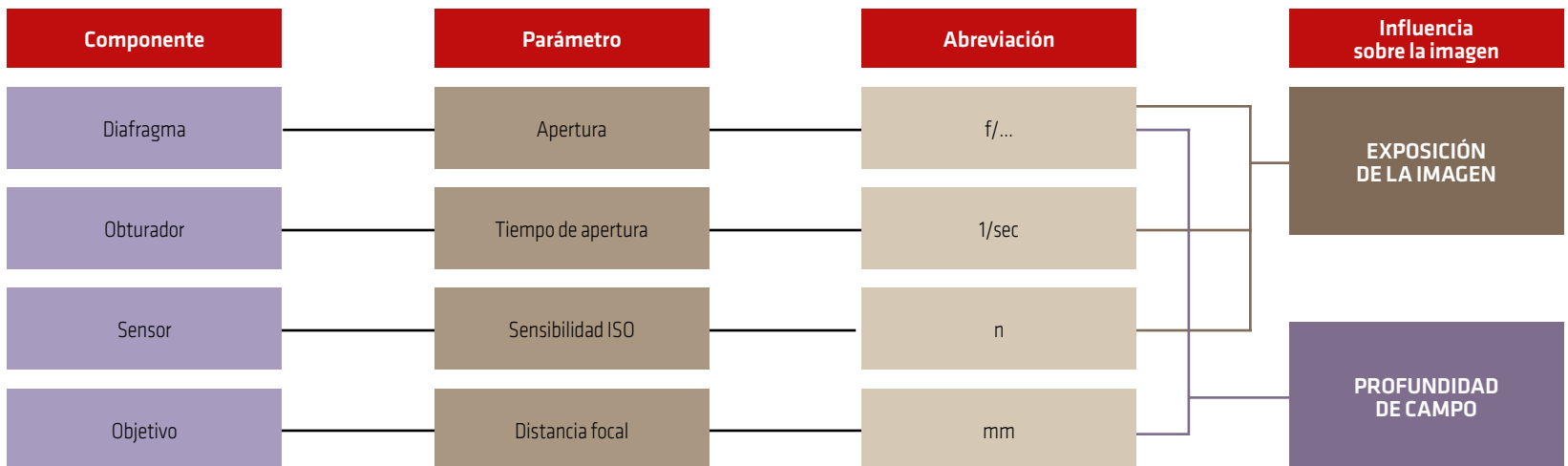
Sensibilidad ISO: En estrecha relación con las características técnicas del sensor es la sensibilidad ISO; este parámetro se expresa por un valor numérico que indica la capacidad del sensor de incrementar la luz capturada: entre más pequeño sea número (por ejemplo ISO 100) menor será la capacidad de amplificar la señal de luz que entra en el objetivo y, por lo tanto, se requerirá más

luz – aumentando la velocidad de obturación o abriendo el diafragma – para sacar una imagen correcta.

Exposición: Cada uno de los componentes mecánicos (diafragma, obturador, sensor) afecta de manera diferente en la cantidad de luz que entra en la cámara. Variando los parámetros f , t y la sensibilidad ISO se originan imágenes más o menos brillantes, lo que resulta en la exposición (EV, valor de exposición) de la imagen obtenida. En la fotografía digital la exposición se define por el producto: intensidad de la luz X tiempo.

Para la misma sensibilidad ISO, el cambio en los valores tiempo y diafragma genera un gran número de combinaciones para las cuales la exposición se mantiene invariable y la imagen conserva exactamente la misma luminosidad. La exposición correcta, sin embargo, es la que permite tener una buena legibilidad tanto de las áreas sombreadas como de aquéllas a la luz, que pertenecen a un mismo fotograma. Una errada elección de los valores tiem-

LOS PARAMETROS QUE DEFINEN LA IMAGEN





f/6.7 - 1/60 - ISO 100



Imagen sobreexpuesta



+ 1 EV



+ 2 EV

Imagen subexpuesta



- 1 EV



- 2 EV



ISO 100



ISO 3200



A - f/4,5



A - f/13

po-diafragma puede producir imágenes sobreexpuestas, en las que las áreas a la luz no son claramente legibles y las zonas a la sombra aparecen más claras de lo que son en realidad, o bien subexpuestas, en cuyo caso las zonas a la sombra serán ilegibles y las que están a la luz tendrán una luminosidad inferior a la real.

Profundidad de campo: Se define profundidad de campo (DOF) el área de la imagen donde los objetos representados aparecen bien enfocados y, por lo tanto, nítidos. Este espacio de la imagen puede ser más o menos amplio en función de tres factores principales: la abertura del diafragma, la distancia de la cámara del objeto encuadrado y la longitud focal (zoom) utilizada para la adquisición de la fotografía. La relación entre cada uno de estos tres parámetros y la profundidad de campo es inversamente proporcional: a una abertura mayor del diafragma, a una mayor proximidad de los objetos enmarcados y a una mayor distancia focal (nivel superior de zoom), corresponde a una menor profundidad de campo.



Antes de equilibrar el blanco

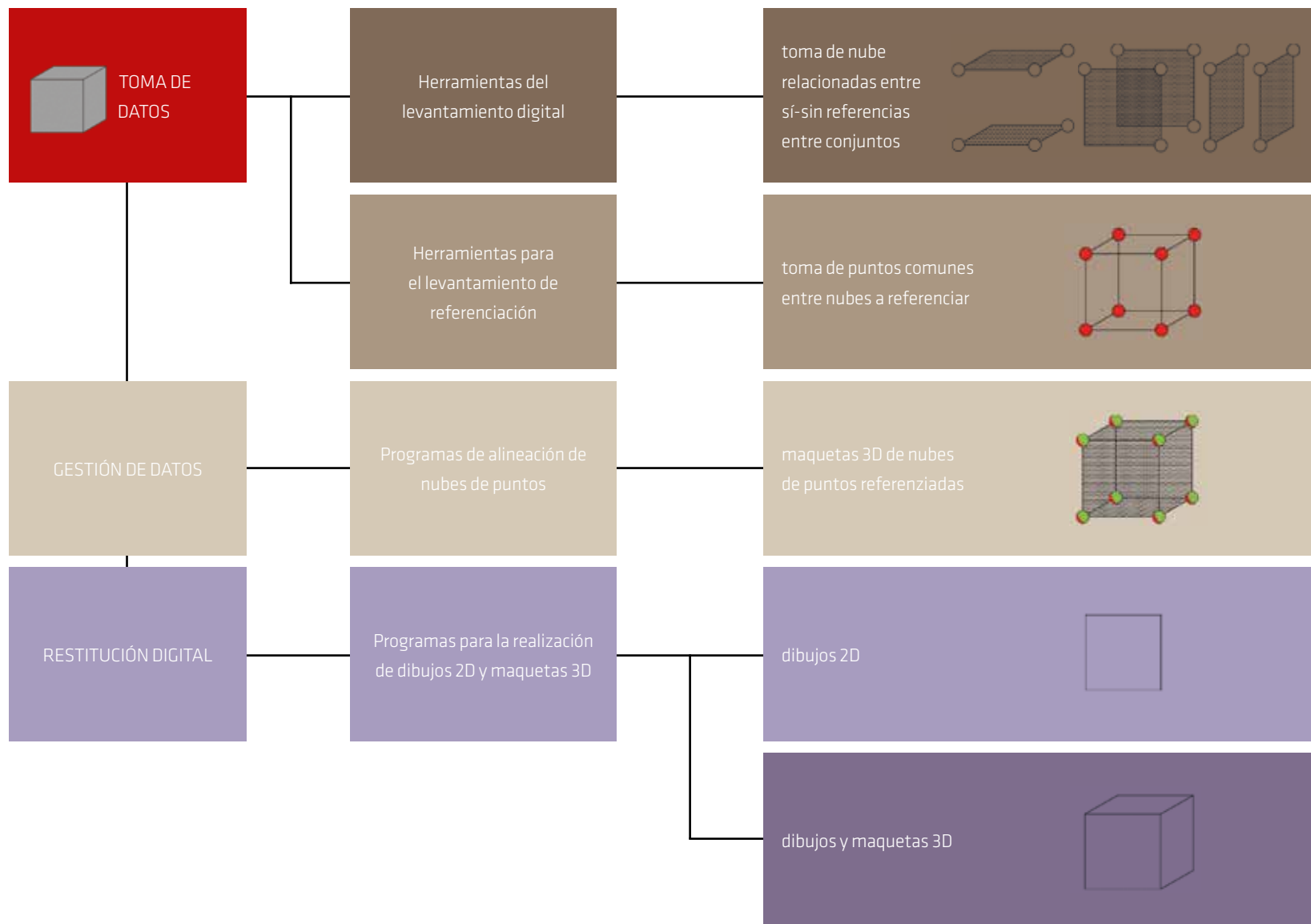


Después de equilibrar el blanco

Color checker: El control del color en la fotografía digital se maneja a través del uso de una tabla de colores llamada Color Checker. Este panel consta de 24 cuadrados coloreados con pigmentos muy estables, con el fin de evitar el fenómeno de la reflexión especular y garantizar una duración de las características colorimétricas prolongada en el tiempo.

Una vez incluido en una fotografía tomada en formato .RAW, el Color Checker puede ser utilizado a posteriori para equilibrar el punto de blanco de las imágenes, o incluso crear un perfil de color que se aplicará de forma automática, por medio de un software especial, a todos los fotogramas que tienen las mismas condiciones de iluminación. De este modo las imágenes no se verán afectadas por las condiciones de iluminación específicas del momento de la toma y tendrán las mismas características cromáticas.

Programas de gestión de los datos y restitución 2D



3D POINT CLOUD PROCESSING SOFTWARE.

ELABORACIÓN DE LOS DATOS Y ALINEACIÓN DE LAS NUBES DE PUNTOS

Cada escaneo entrega una nube de puntos (point cloud) que tiene su propio sistema de referencia en la cabeza misma del escáner.

En general, para adquirir los puntos de un objeto en tres dimensiones se necesitan más escaneos tomados desde estaciones diferentes, los cuales deben ser alineados (registro de nubes) para retomar la posición correcta en el espacio y formar una maqueta 3D.

Por lo tanto, el levantamiento se puede llevar a cabo:

sin apoyo topográfico: el procedimiento de alineación se hace roto-traslando cada nube con respecto a los targets que hay en las escenas o bien a unos puntos reconocibles sobre el mismo objeto;

bajo apoyo topográfico: el procedimiento de alineación se hace roto-traslando cada nube con respecto a los targets tomados por la estación total.

Elaboración de datos

Los escaneos deben ser bajados de la memoria del escáner hacia un ordenador, donde se procede con la alineación de las nubes.

En esta fase los programas, de manera automática, filtran las nubes para quitar los datos espurios y disminuir el ruido.

Alineación de las nubes (Leica Geosystems HDS Cyclone)

El registro (alineación) es un procedimiento mediante el cual se consigue poner los escaneos en el mismo sistema de referencia, juntándolos entre sí. Eso se puede ejecutar utilizando algoritmos de surface matching o bien mediante el uso de puntos de control (targets) añadidos en las escenas.

OPERACIONES PREVIAS

Crear una carpeta de trabajo

Importar los ficheros .ptx

Crear los *ModelSpace*



ALINEACIÓN

Duplicar las nubes en los *ControlSpace*

Individuación de los *target*

Elegir la nube "*Home*"

Alineación de las nubes con respecto a la "*Home*"

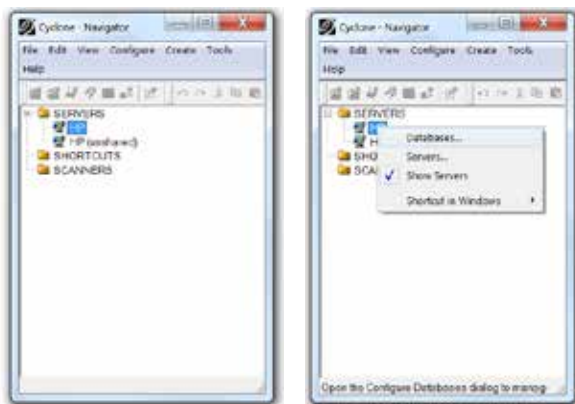
Calibración del error

Congelamiento (*freeze*) de la alineación

Crear un nuevo *ModelSpace*

Operaciones previas

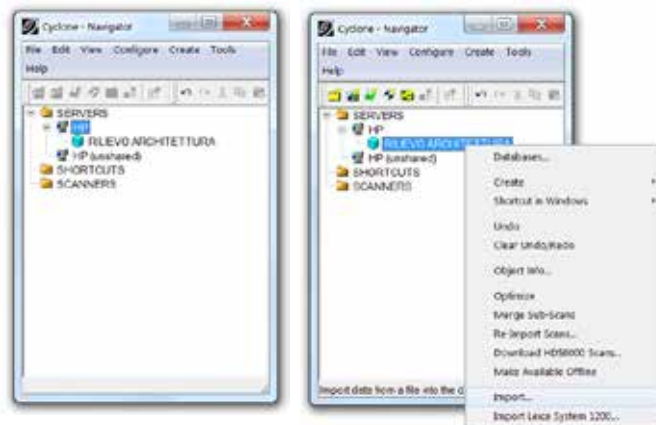
- 1 Crear una carpeta de trabajo. En la ventana Navigator → en Servers, entrar en el directorio con el nombre del equipo (y no el que pone unshared).



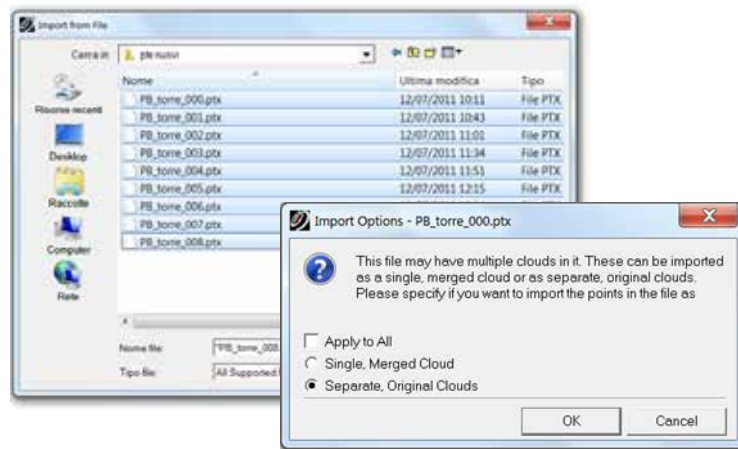
- 2 Clic derecho sobre el nombre del equipo → databases → add → buscamos la carpeta donde se encuentran los archivos .ptx que vayamos a utilizar (en la casilla Database Filename) y le damos un nombre al archivo .imp que estamos creando (en la casilla Database).



- 3 Clicamos sobre el (+) de la carpeta con el nombre de nuestro equipo para abrirla. Aquí encontraremos la base de datos que acabamos de crear.



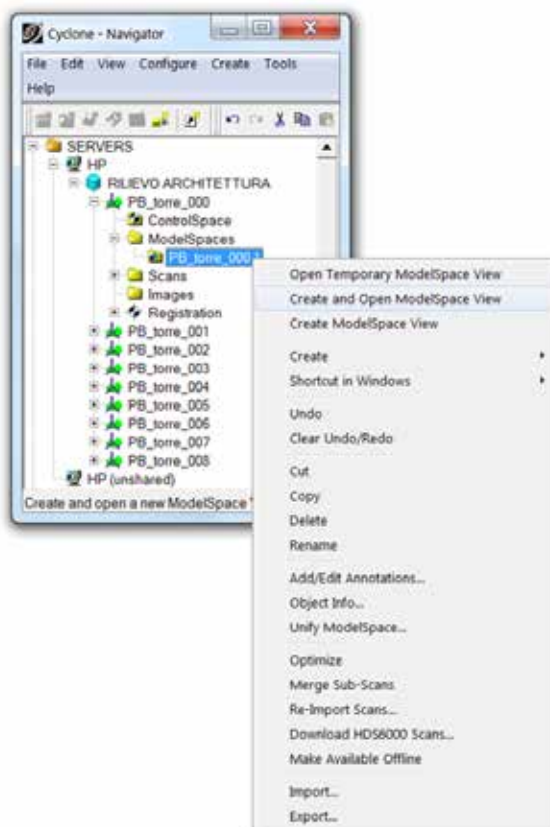
- 4 Clic derecho sobre este database → import... → se abre la carpeta Import from file. Elegimos todos los archivos .ptx que queremos importar. Seleccionar la opción separate, original clouds. El programa importará los archivos (creando una copia de los originales) y para cada uno de ellos creará un scanworld.



- 5 Dentro de la carpeta del primer scanworld, abrimos el menú desplegable de ModelSpace. Clicamos con el botón derecho sobre el archivo que hay → Create and Open ModelSpace View.

Para cambiar el color de la nube: en ModelSpace → Appearance → Global ColorMap → enable.

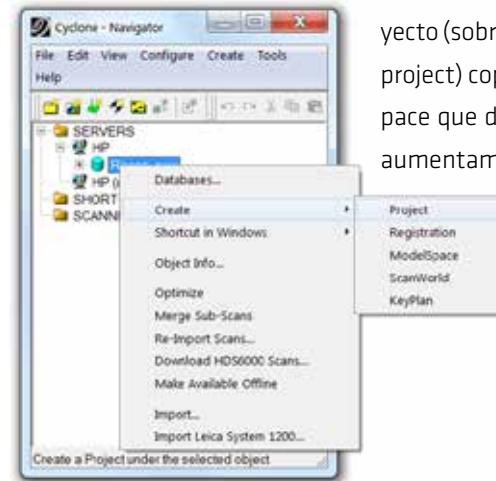
- 6 Para abrir las demás nubes, repetimos la misma operación del punto 5 para el resto de scanworlds.



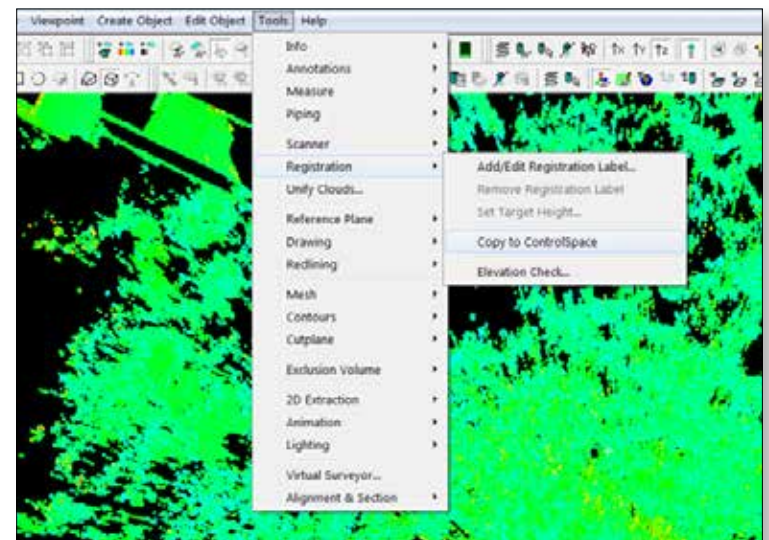
Registro de las nubes de puntos

- 1 El registro de las nubes se compone en el ControlSpace, por tanto, antes de empezar a registrar cada escaneo hay que hacer una copia de cada una de las nubes del ModelSpace al ControlSpace.

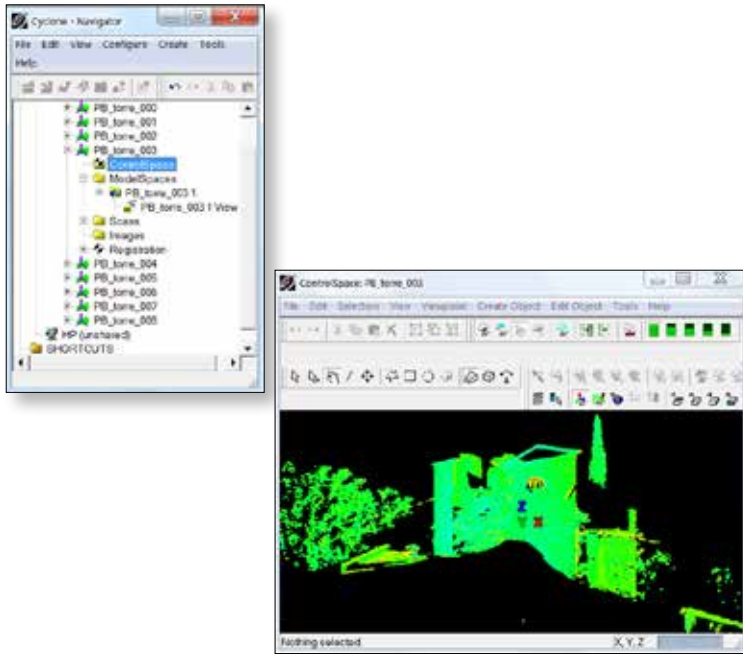
P.S. Si trabajamos dentro de un proyecto (sobre el database → create → project) copiando dentro el ModelSpace que deseamos, en realidad no aumentamos el tamaño del archivo.



- 2 Dentro de la ventana de ModelSpace, en el menú Selection → Select All → vamos ahora al menú Tools → Registration → Copy to ControlSpace.



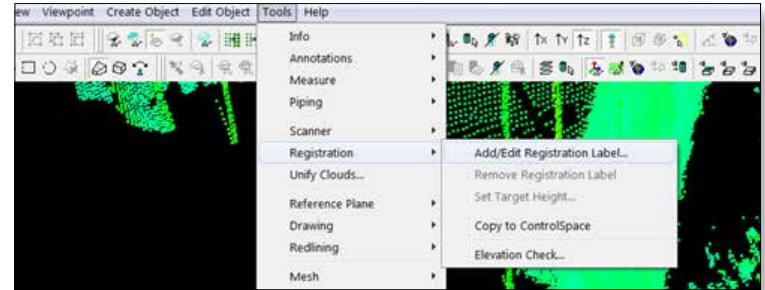
- 3 Volvemos a la ventana Navigator → nos situamos sobre la carpeta ControlSpace y le damos doble clic. Si la nube estuviera seleccionada → Selection → Deselect.



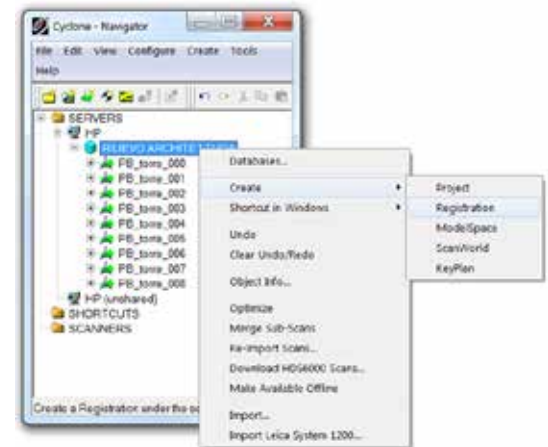
- 4 Hay que darle nombre a cada uno de los puntos comunes entre las nubes (a partir de los targets), lo que llamamos Label, y darles un valor numérico (o una letra).

Para ello: seleccionamos un punto → Tools → Registrations → Add/Edit Registration Label → le asignamos un nombre. El programa reconoce los puntos correspondientes mediante el nombre que les ponemos.

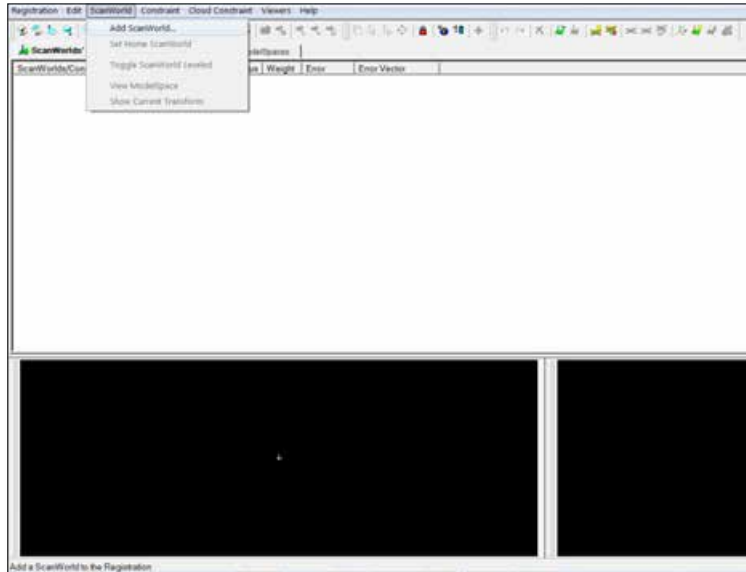
Si trabajamos con un apoyo topográfico es necesario llamar los Labels con el mismo nombre del punto de la red topográfica.



- 5 Repetimos la operación al menos para 4 puntos en común de las diferentes nubes.
- 6 Cerramos el ControlSpace.
- 7 Volvemos a la ventana Navigator → en la carpeta del Database → botón derecho → Create → Registration → dar un nombre al registro (corresponderá a la unión de las nubes, por ejemplo: nombre primera nube+ nombre segunda nube) → doble clic sobre el nuevo icono para abrir el menú del registro.

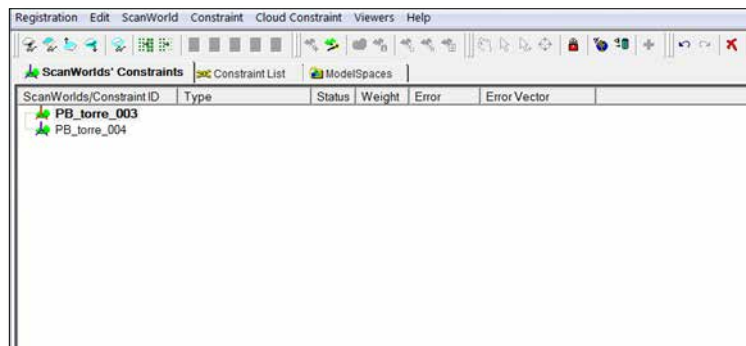


- 8 Del menú desplegable → ScanWorld → Add ScanWorld → cargar las nubes de puntos que se desea alinear.

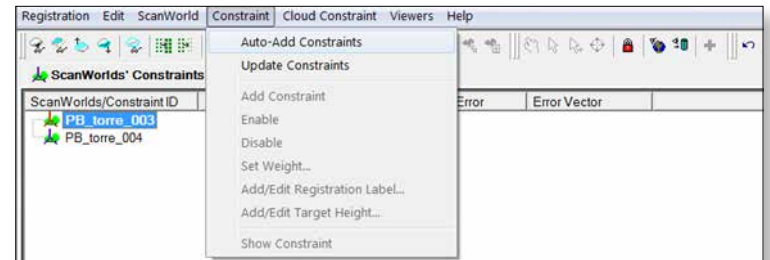


La primera nube que se elige es la home y es puesta en Negrita (si queremos cambiar la home, cuando están cargadas las nubes, clic derecho sobre la nube que se quiere tomar como home → Set Home ScanWorld).

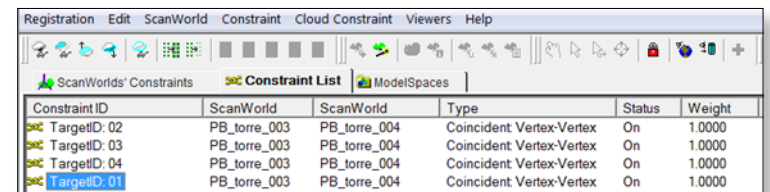
Si hay una red topográfica de apoyo es necesario que la home sea la nube simple.



- 9 Del menú desplegable de esta ventana de registro → Constraint → Auto-Add Constraints.

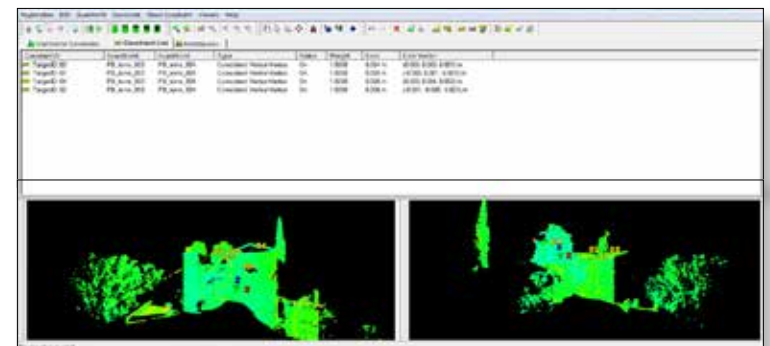


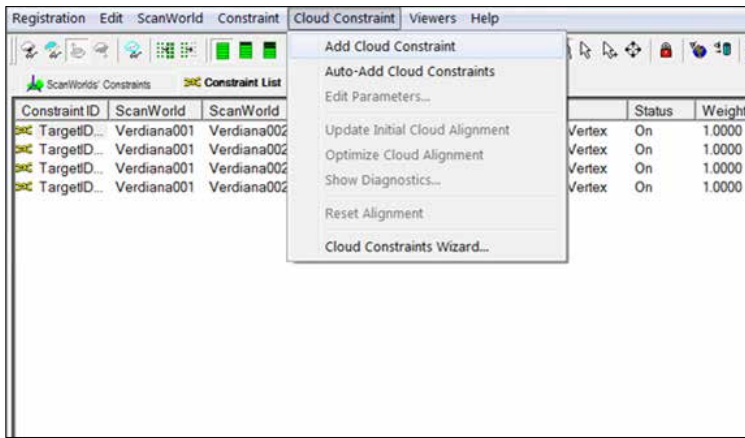
- 10 Entramos en el menú Constraint List (bajo el menú principal) → Registration → Register.



- 11 Ver el error. Clicamos en la pestaña Error para ordenar por errores.

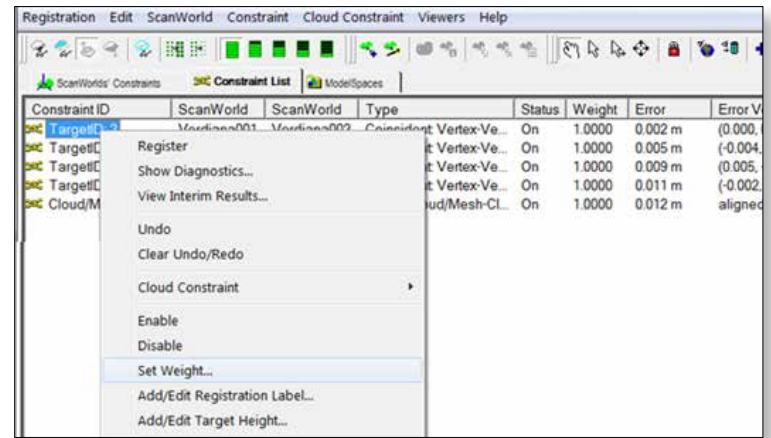
- 12 Doble clic sobre el ID con menor error de todos (tenemos que ver las nubes también).





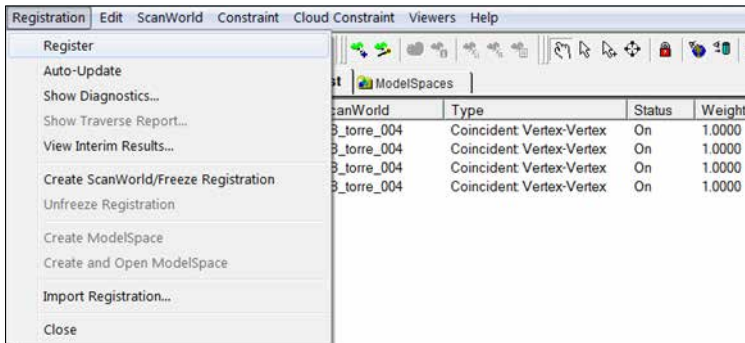
13 Menú desplegable → Cloud Constraint → Add-Cloud Constraint.

14 Menú desplegable → Registration → Register.



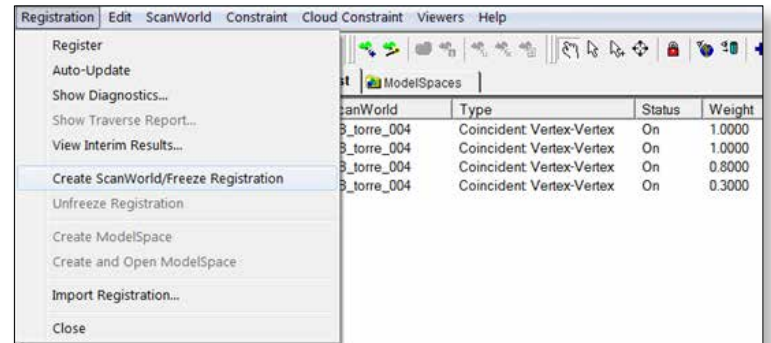
16 Menú desplegable → Registration → Register. Habrá que repetir el proceso hasta que el error total sea inferior a 2 mm.

17 Menú desplegable → Registration → Create ScanWorld/Freeze Registration.

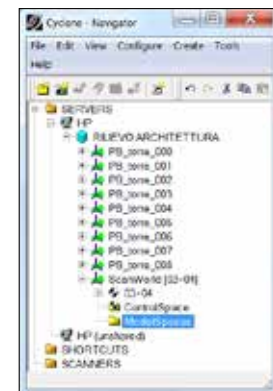


15 Al crear el Cloud/Mesh el programa no compara solo los labels homónimos que pertenecen a las nubes que se quieren alinear, sino que mide la distancia (error de coincidencia) que hay entre todos los puntos correspondiente de las mismas nubes.

Para mejorar (disminuir) el error del Cloud/Mesh, y también entre los labels que están bien puestos, tenemos que soltar, o bien mantener rígidos, los vínculos (distancia) que se han creado entre labels homónimos. Por lo tanto, vamos a calibrar el "peso" de cada label → botón derecho: set weight (0.1 para soltar el vínculo). Hacemos esta operación para todos los labels excepto para el Cloud/Mesh.



18 En la ventana Navigator → ModelSpace → Create ModelSpace → Open and Create ModelSpace View.



LECCIÓN 4

3D POINT CLOUD PROCESSING SOFTWARE.

RESTITUCIÓN 2D (PLANTAS, ALZADOS Y SECCIONES)

Alessandro Merlo

Secciones y alzados

Para secciones horizontales y verticales de una nube, hay que posicionar debidamente un plano de referencia (Reference Plane), al cual asociaremos un plano de corte (Cut Plane).

- ① En un ModelSpace, Cyclone establece un plano de referencia horizontal por defecto. Para visualizarlo → Tools → Reference Plane → Show Active Plane.
- ② Para posicionar un Reference Plane a la cota deseada se puede hacer de dos maneras:
Sistema empírico: con Pick Mode seleccionamos un punto de la nube a la cota deseada. Tools → Set Plane Origin at Pick Point.
El programa coloca un plano horizontal (en coherencia con los ejes de coordenadas) que pasa por el punto elegido.
Sistema analítico: Tools → Reference Plane → Edit Active Plane → Plan Origin. En esta ventana damos las coordenadas deseadas al Reference Plane.
- ③ Una vez posicionado el Reference Plane tenemos que asociarle un plano de corte: Tools → Cut Plane → Set from Active Ref Plane.
- ④ Para posicionar ortogonalmente el punto de vista respecto al Reference Plane: Tools → Reference Plane → Align View to Active Plane.
En la ventana Edit Active Plane es posible gestionar los parámetros del Reference Plane activo, como el Grid Spacing (paso de la malla).

SCREENSHOT

Elegir el **plano de referencia**

Asociar a eso un **plano de corte**

Elegir una vista

Elegir el tipo de sección

Modificar los parámetros

Screenshot

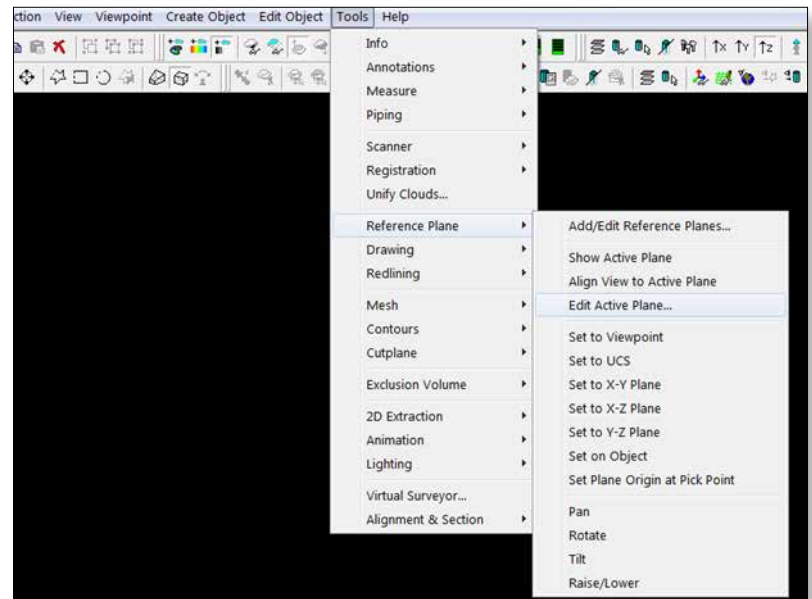
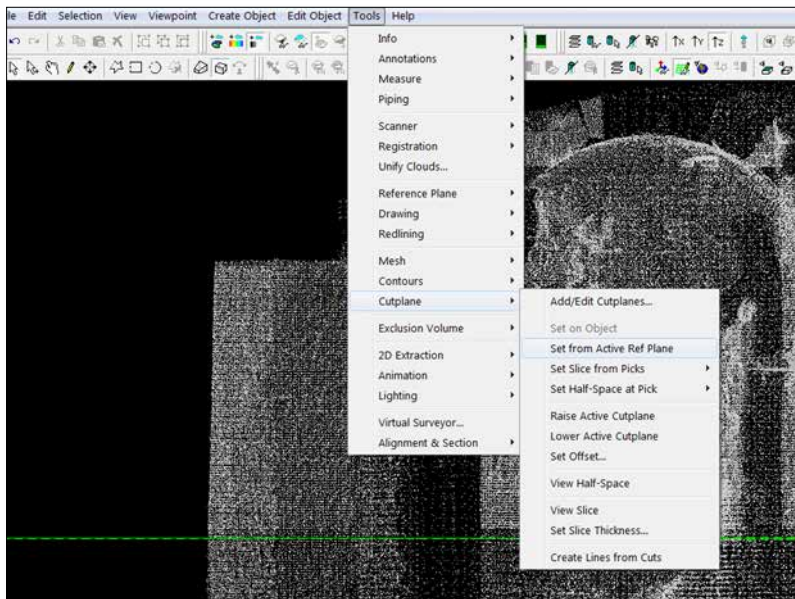
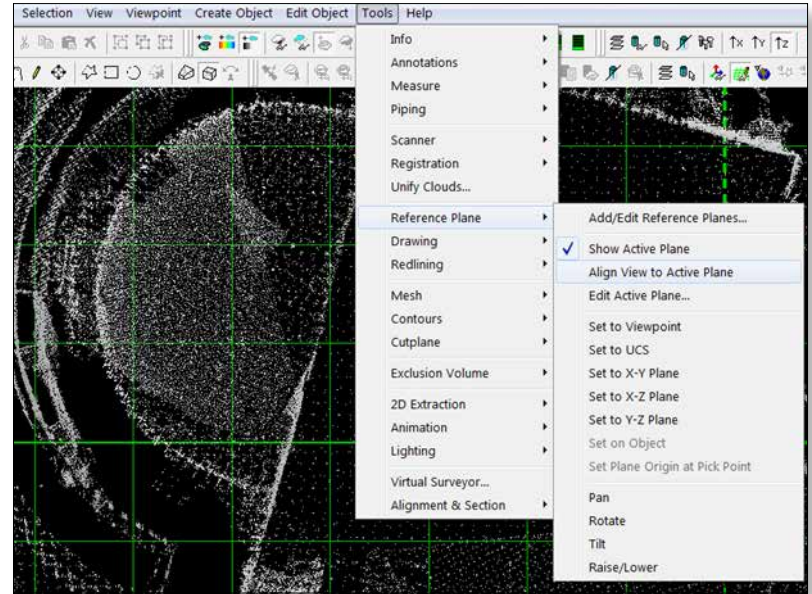
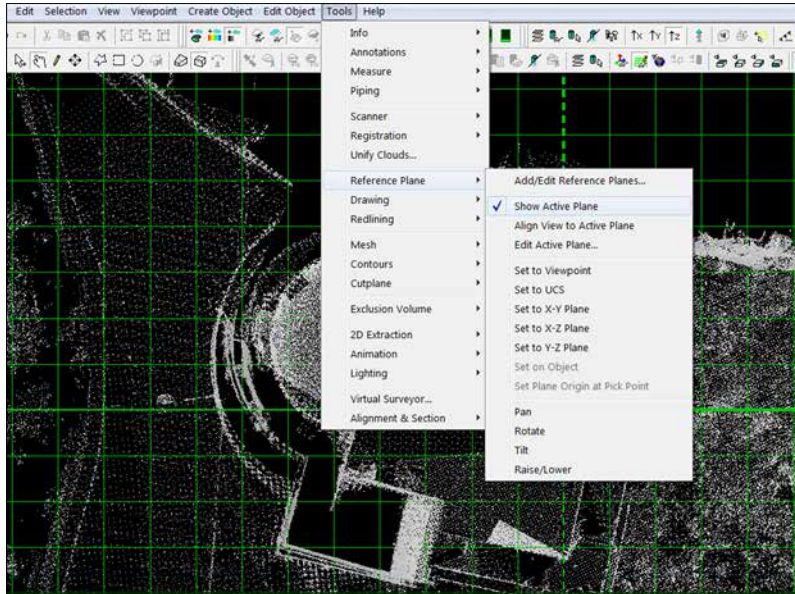


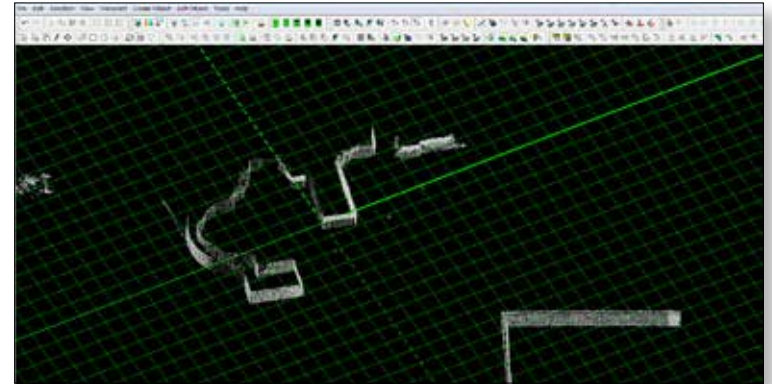
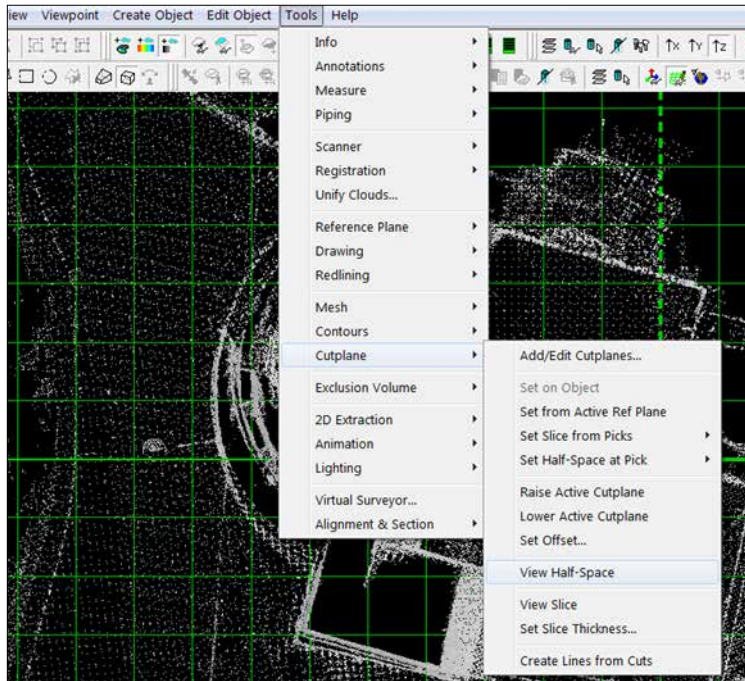
EXPORTACIÓN HACIA OTROS SOFTWARES

Exportar bitmap

Exportar polilíneas

Exportar puntos hacia programas de modelado 3D





Se puede elegir los puntos de esta sección directamente en Cyclone, seleccionándolos en Multi-Pick Mode y en Create Object → From Pick Points → Polyline.

Esta polilínea se puede exportar como un archivo .dxf y procesarla en AutoCad o Rhinoceros, con el único cuidado de “aplstar” la polilínea en un sólo plano.

⑤ Asociado este plano de corte y definida la vista deseada, podemos ver la sección de la nube de dos modos diferentes:

5.a Tools → Cut Plane → View Half-Space. Se ve todo lo que está a un lado o a otro del plano de sección. Si fuera necesario ver la parte opuesta a la que se nos muestra, tendremos que cambiar la normal del plano, invirtiendo los signos en Tools → Reference Plane → Edit Active Plane → Plan Normal.

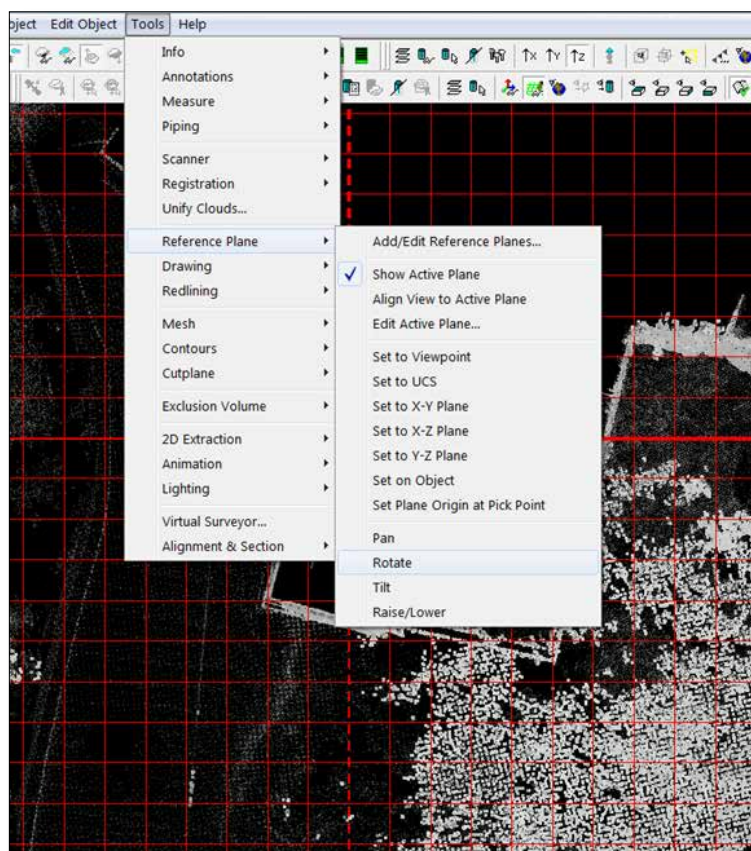
En la ventana del Edit Active Plane se puede fijar todos los parámetros del Plano de Referencia activo, incluyendo la separación de la cuadrícula.

5.b Tools → Cut Plane → View Slice. Así muestra sólo los puntos que pertenecen a una sección estrecha sobre el plano de corte. Este intervalo se puede cambiar desde Tools → Cut Plane → Set Slice Thickness.

⑥ Para obtener vistas ortográficas desde el exterior de un objeto, como por ejemplo los alzados, el método es parecido: elegir la posición en el espacio del Reference Plane (en el caso de un alzado el Reference Plane se pondrá paralelo a una cara) y alinear la vista con ese plano (Align view to Reference Plane).

⑦ Desde Tools → Reference Plane → Add/Edit Reference Planes, se abre una ventana donde podemos copiar un plano de referencia existente (Copy Reference Plane), establecerlo como activo (Set Active Reference Plane), eliminarlo (Delete Reference Plane), gestionar el orden de los planos de referencia, hacerlos visibles o invisibles y cambiar el nombre o el color. Para cada sección se debe establecer un nuevo Reference Plane, para que siempre se puedan ver todos los planos utilizados.

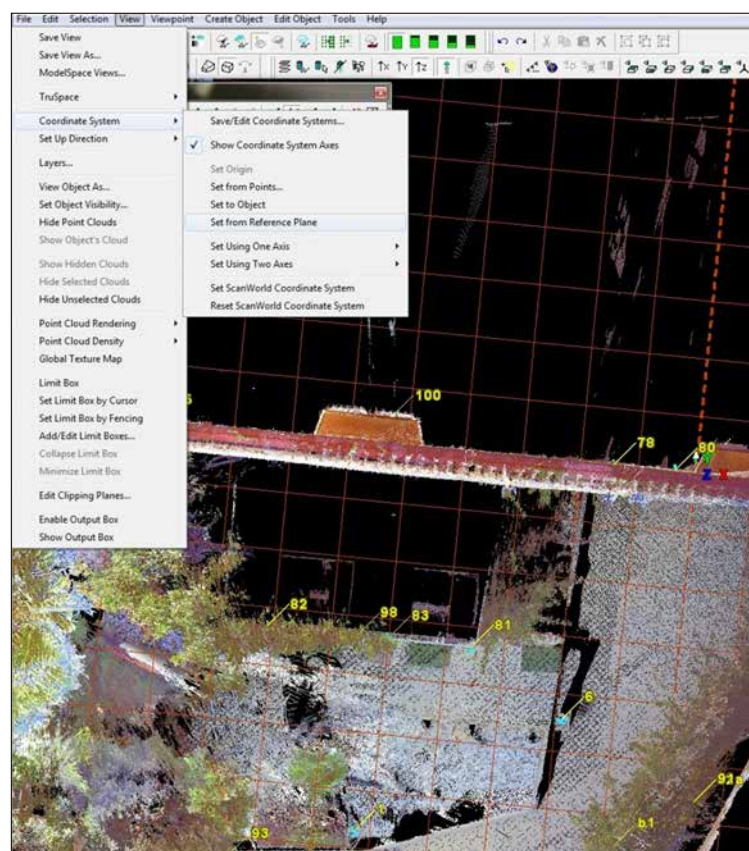
- ⑧ A partir de un plano horizontal en la vista cenital, seleccionaremos un punto de articulación con respecto al que giraremos el sistema de referencia: en Tools → Reference Plane → Set Plane Origin at Pick Point.
- ⑨ Desde Tools → Reference Plane → Rotate giraremos el plano en la posición elegida para la sección.
- ⑩ Para volcar al plano de 90 grados y poder contar con las vistas predefinidas según los ejes x,y,z es oportuno involucrar también el sistema de referencia (Coordinate System) y ponerlo congruente con la posición del Reference Plane.



Desde View → Coordinate System → Set from Reference Plane.

Desde Tools → Reference Plane → Align View to Active Plane.

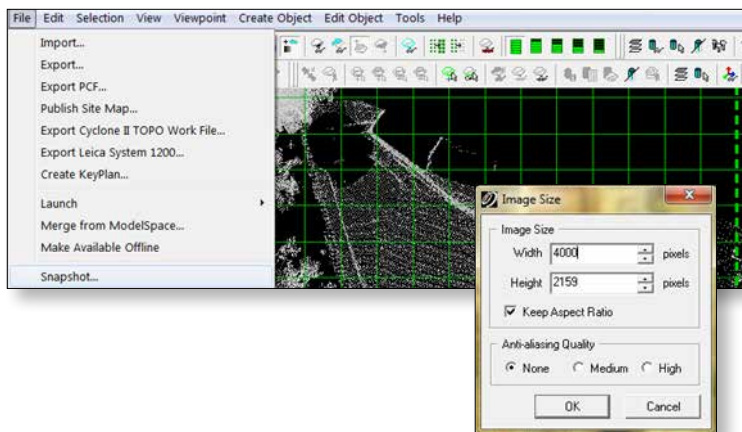
- ⑪ Para obtener una sección vertical hay que rotar el plano: View → Reference Plane → Set to XY y de nuevo la vista: Tools → Reference Plane → Align view to Active Plane.
- ⑫ Ahora se puede asociar un Cut Plane y proceder a la producción de screenshots.





Screenshot

① Para capturas de pantallas (screenshots) vamos a File → Snapshot. Entramos en un cuadro de diálogo donde seleccionamos el nombre del snapshot y el formato del archivo. Al confirmar se abre una segunda ventana donde configuramos el ancho de la imagen de salida. En Anti-aliasing Quality elegiremos None.



② Para guardar una vista y tener la posibilidad de volver a ella todas las veces que queremos vamos a Viewpoint → Save/Edit Viewpoint. Entramos en un cuadro de diálogo donde ponemos un nombre al Viewpoint



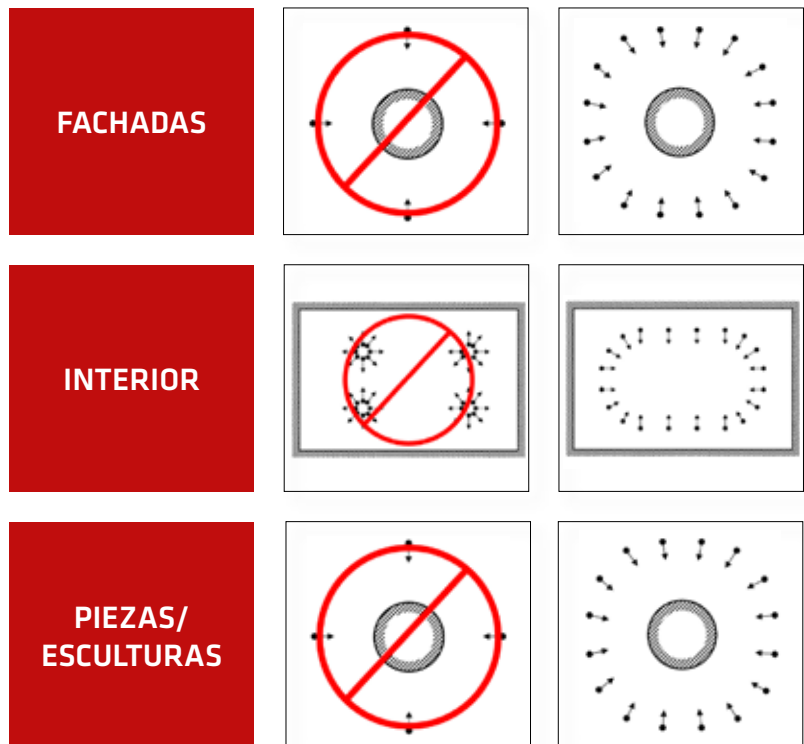


LECCIÓN 5

PROGRAMAS DE FOTOGRAMETRÍA. PROCESAMIENTO DIGITAL, ELABORACIÓN DE LOS FOTOGRAMAS PARA LA CREACIÓN DE NUBES DE PUNTOS 3D Y RESTITUCIÓN 2D

Técnica de toma de las imágenes

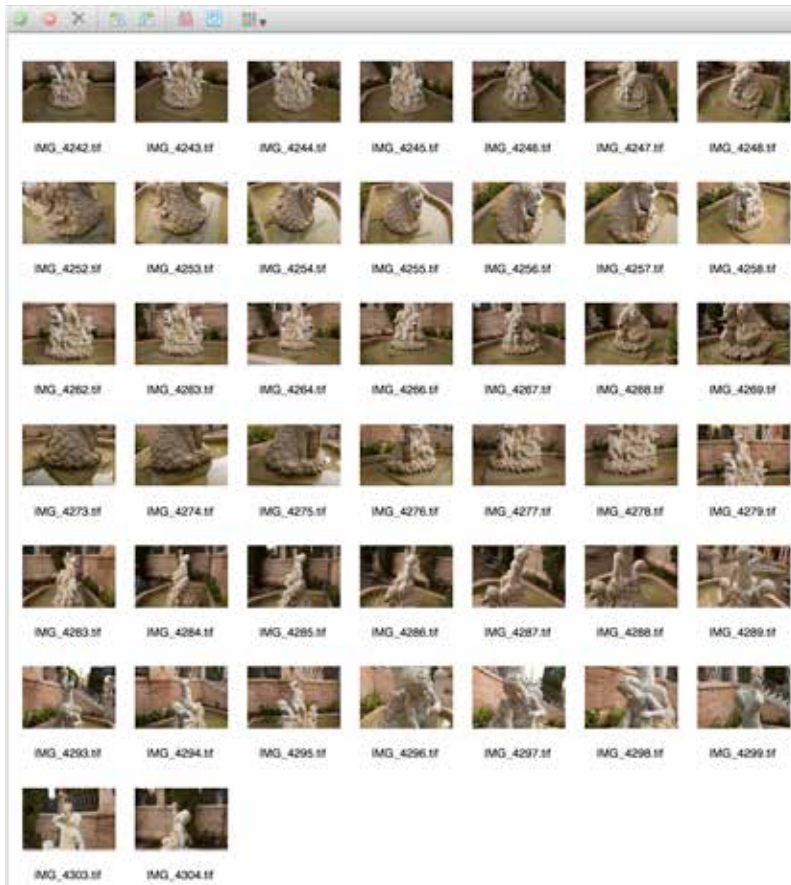
Las imágenes tomadas con el uso de un trípode o bien a mano alzada, se deben hacer respetando ciertas reglas que aseguran la superposición necesaria y la estereoscopia. En este ejemplo, se ha usado una cabeza de mono pié fijada sobre una varilla, con el fin de elevar el punto de vista y disminuir el escorzo de las imágenes.



Agisoft Photoscan

Una vez hecho el equilibrio de blanco se puede importar el “photo-set” en el software. Tal vez puede ser necesario eliminar algunos elementos de la imagen antes de realizar el cálculo de la alineación. Para hacer esto se puede crear máscaras “alpha” o se puede importar directamente en el PhotoScan las previamente creadas con otro programa.

Las imágenes enseñan el uso de la máscara alpha: la de arriba es sin máscara y en la de abajo se ha empleado la máscara.



CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA

ALINEACIÓN DE LAS IMÁGENES

CREACIÓN DE LA NUBE DE PUNTOS DENSA

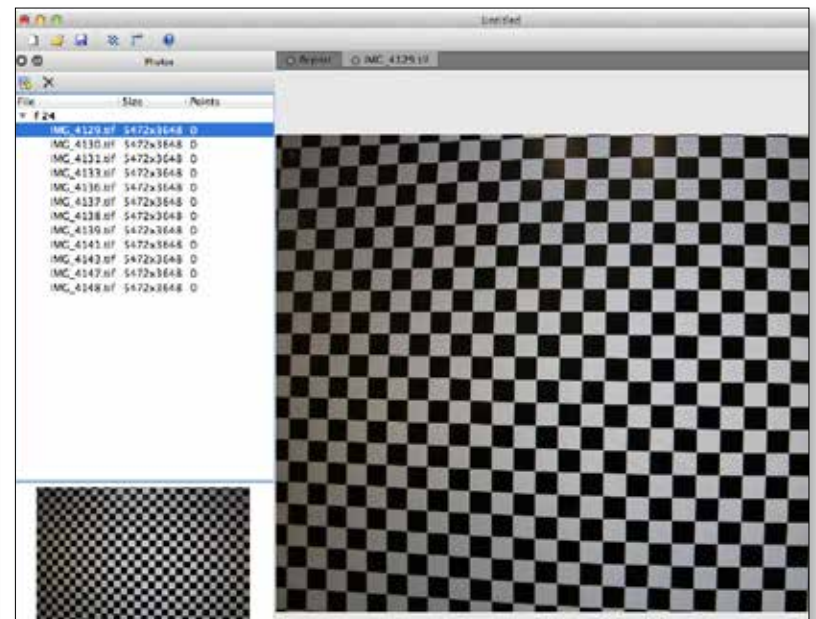
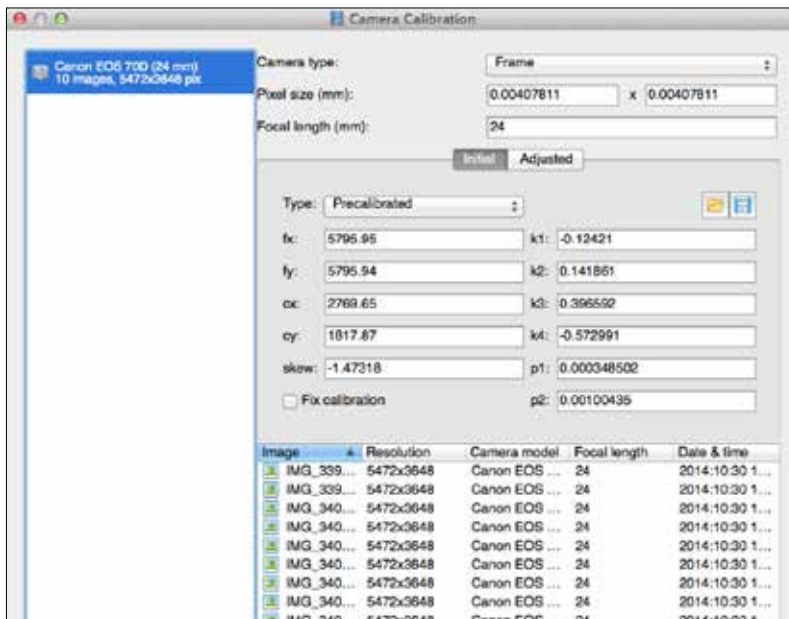
GENERACIÓN DE LA TEXTURA

CONSTRUCCIÓN DE LA MALLA POLIGONAL

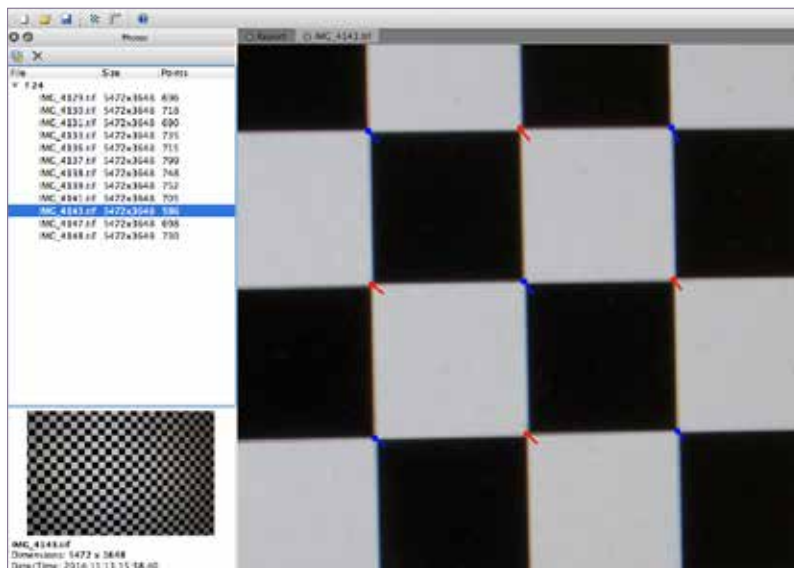
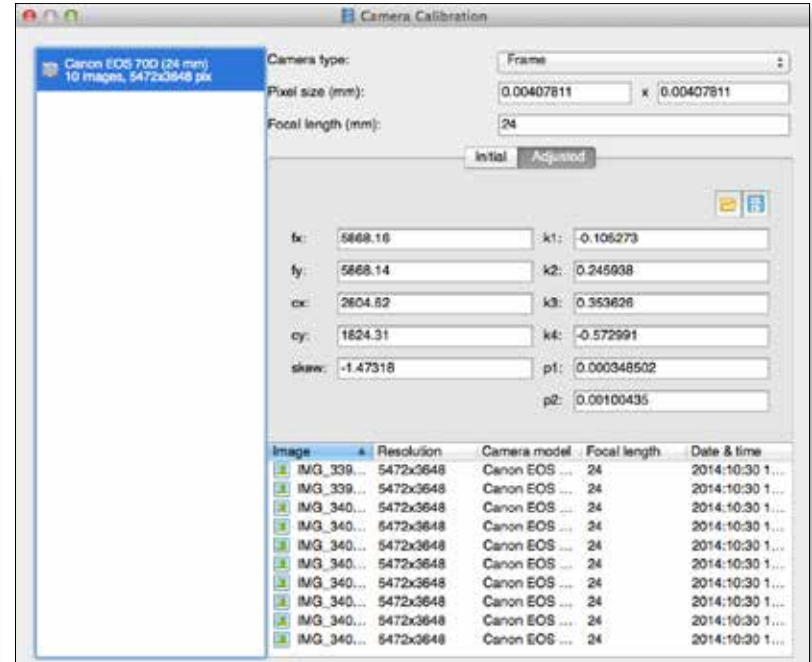
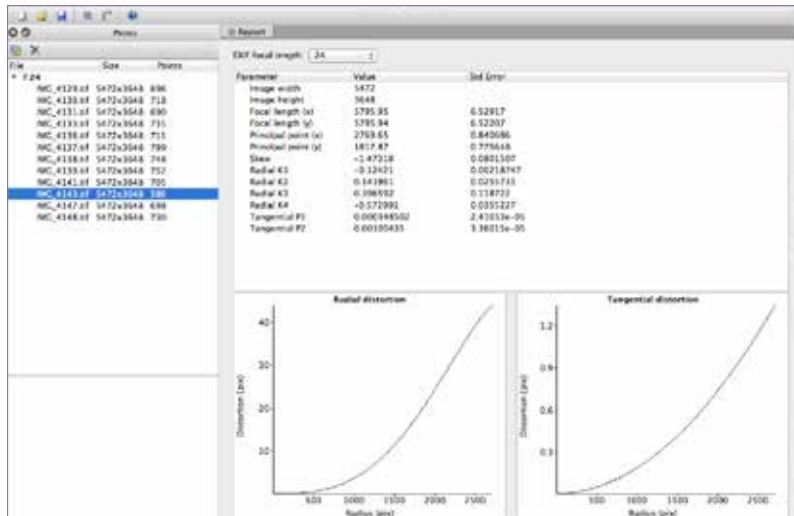
Calibración de la cámara

PhotoScan procede automáticamente a la calibración de la cámara, utilizando el algoritmo de Bundle Adjustment. Sin embargo, se puede importar los parámetros de calibración obtenidos a partir de la utilización de softwares específicos (p.e. Agisoft Lens).

- 1 Abrir la imagen con el tablero.
- 2 Tomar un conjunto de fotos desde diferentes ángulos cuidando el enfoque de las imágenes y sus exposiciones. El tablero debe rellenar todo el tamaño de las imágenes.
- 3 Descargar las fotografías e importarlas dentro del software.

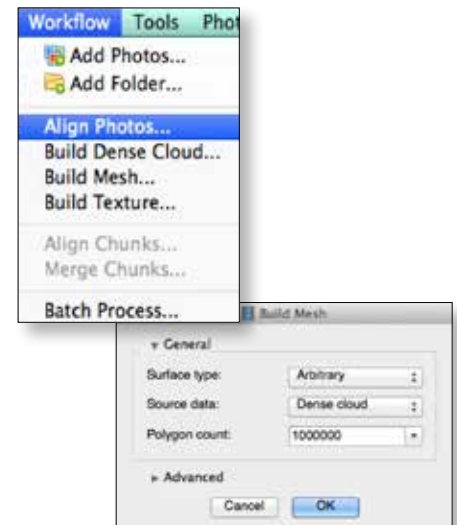


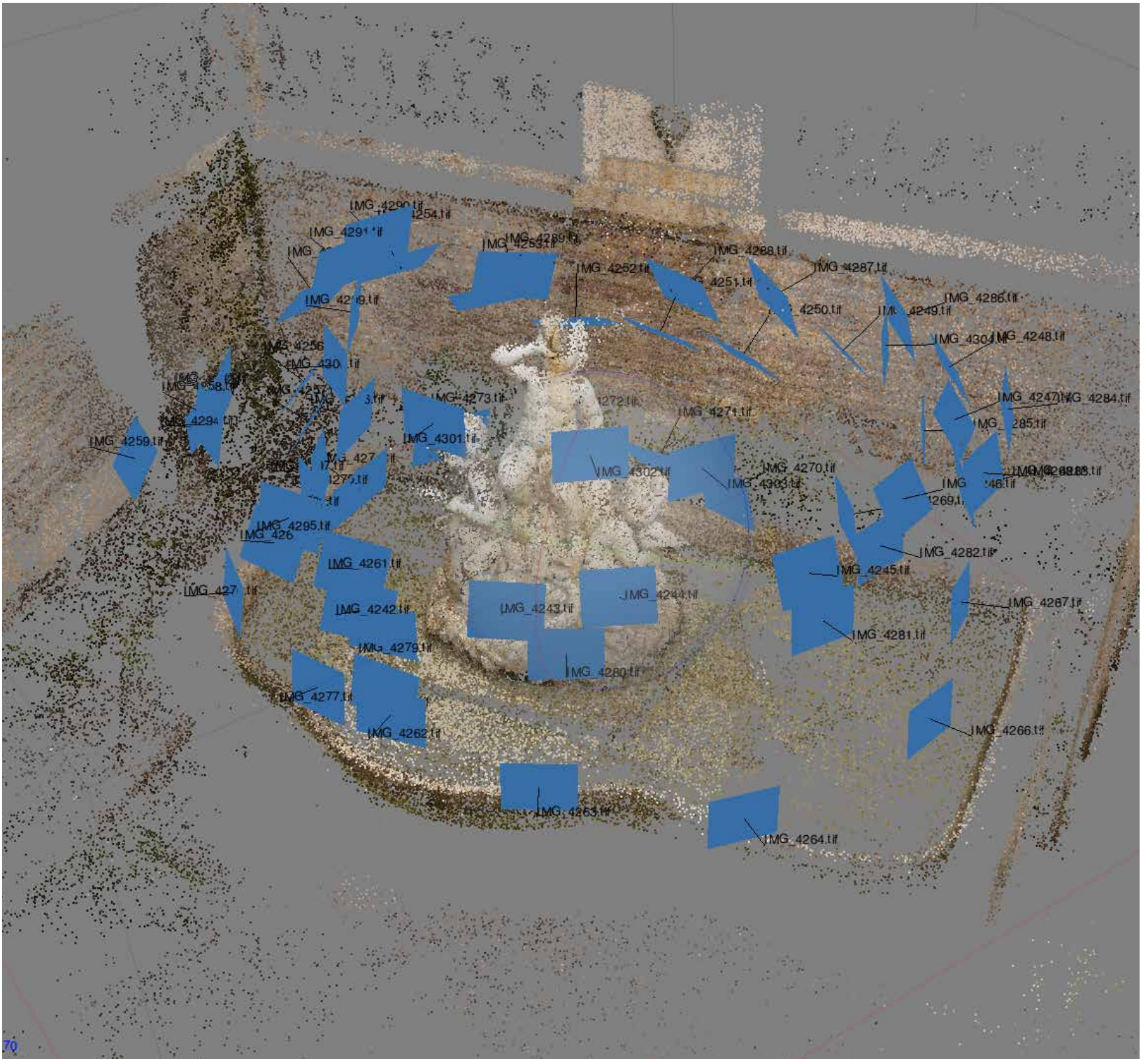
- 4 Emplear el mandodecalibraciónactivandotodoslosparámetrosdeBrown.
- 5 Guardar el fichero en formato .lnz y luego exportar los parámetros en formato .xml, que puede ser importado en PhotoScan.



Alineación de las imágenes

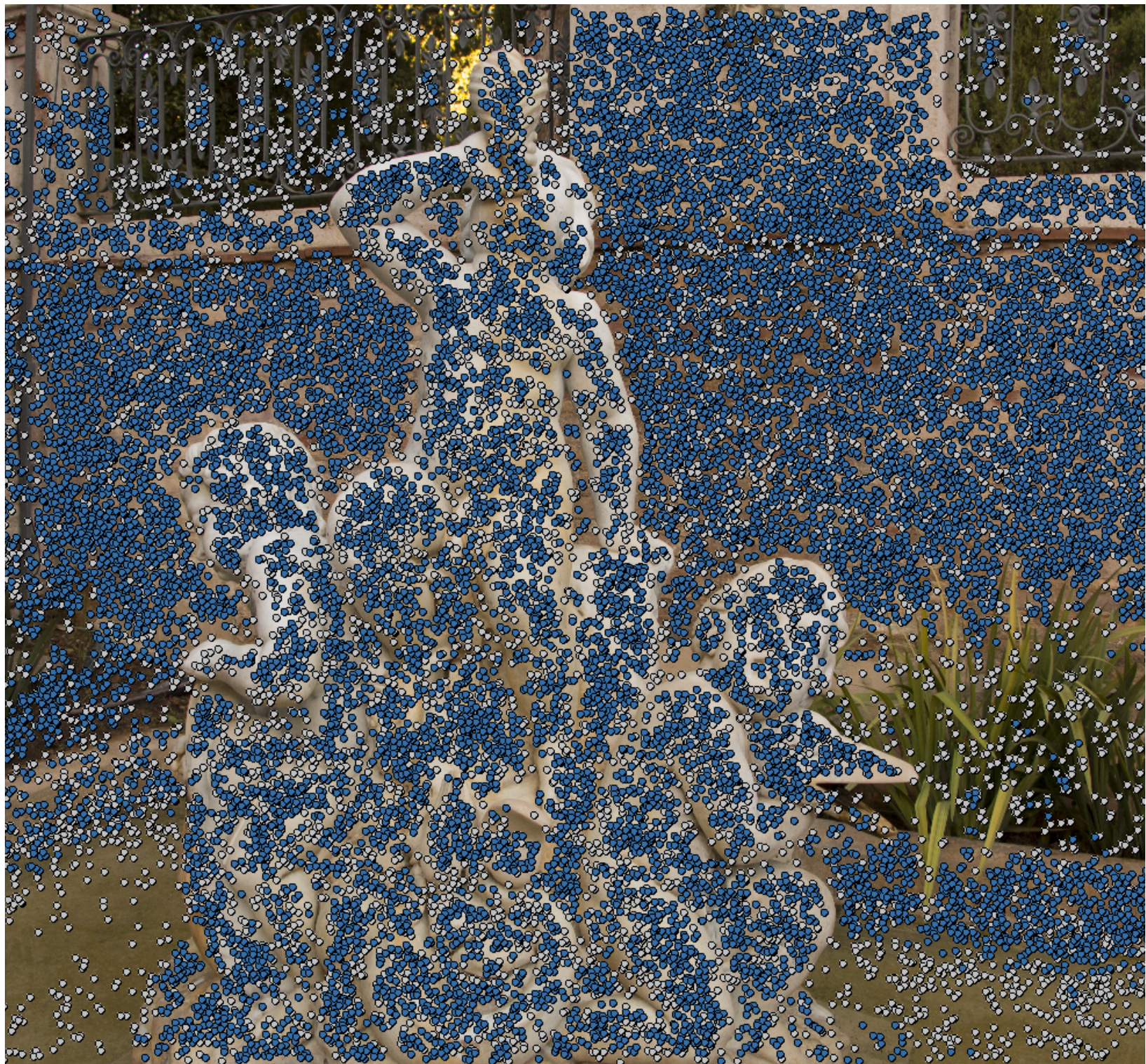
Las imágenes importadas se alinean sobre la base de puntos homólogos, llamados Tie Points identificados automáticamente por el software. A través del comando Align Photos el usuario puede gestionar los parámetros de precisión de alineación. Los puntos utilizados para la alineación constituyen una nube de puntos simple.











Creación de la nube de puntos densa

Una vez alineadas las imágenes se procede a la creación de la nube de puntos densa con el comando *Build Dense Cloud*.

Quality:

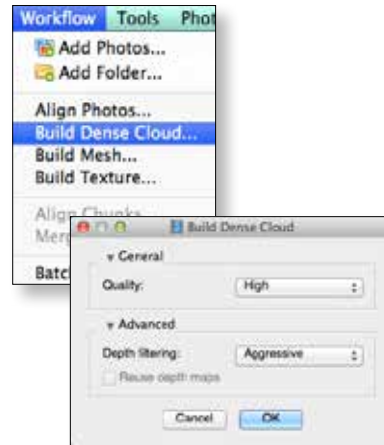
Low: menor densidad de puntos,
mayor velocidad de cálculo.

High: mayor densidad de puntos,
menor velocidad de cálculo.

Depth filtering:

Aggressive: más filtrado

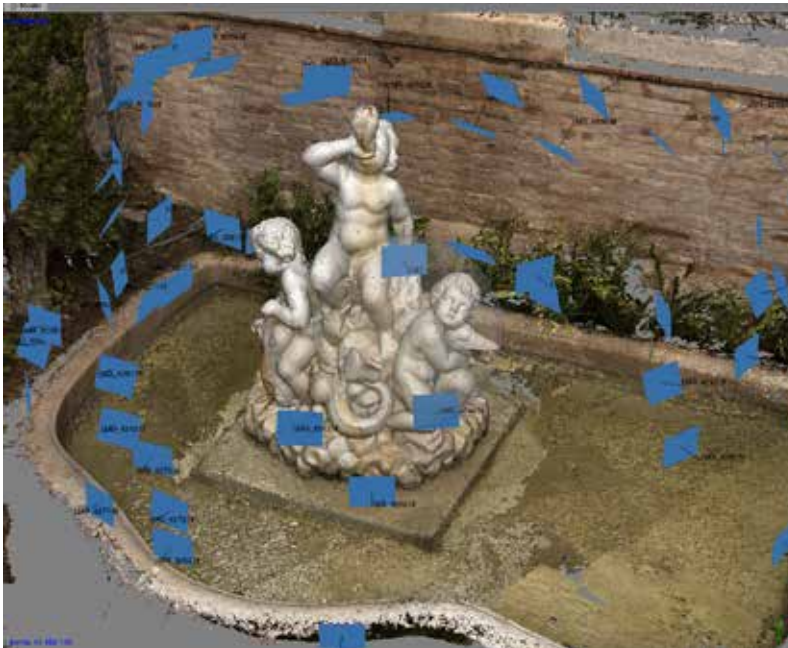
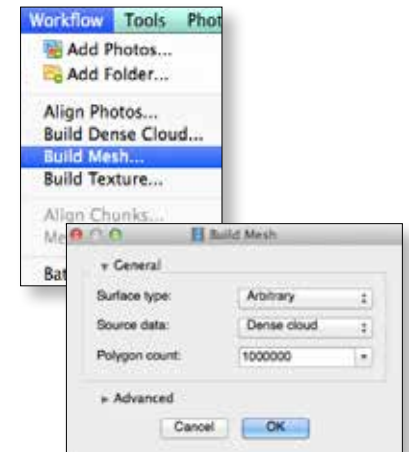
Mild: menos filtrado

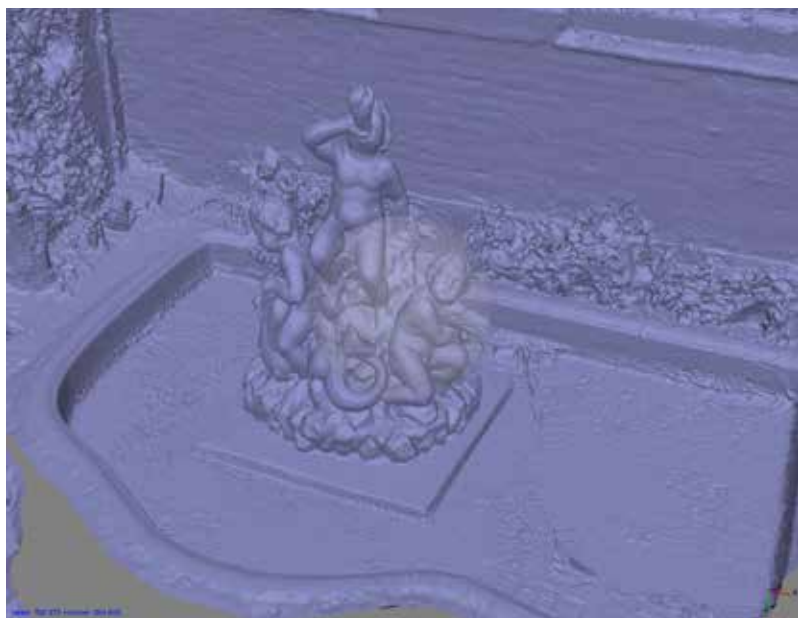


Construcción de la malla poligonal

A través de la opción *Build Mesh* el software va a construir una malla poligonal a partir de la nube de puntos densa mediante un proceso de triangulación.

El usuario se le permite definir el tipo de superficie que el software generará y el número de polígonos que debe tener la malla.

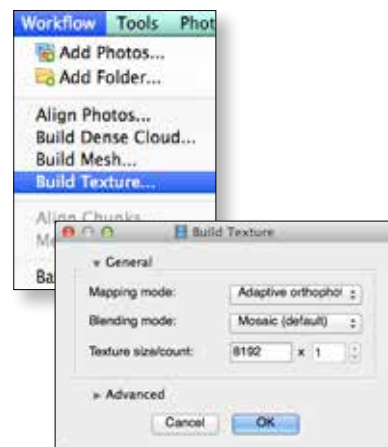




Generación de la textura

La textura se genera mediante la fusión de todas las proyecciones de las imágenes sobre la maqueta.

El usuario puede elegir el tipo de fusión del color y el tipo de parametrización que el software va a desarrollar, pero no puede controlar la distribución de los polígonos en el espacio UV.



Para conectar la textura con la maqueta, el software genera automáticamente una referencia bidimensional asociada con el modelo llamado Mapa UV. Esta operación, conocida como parametrización, consiste en el desarrollo de los polígonos de la malla sobre una porción de la forma cuadrada del plano cartesiano.



Reality based models
para la documentación
de los bienes culturales



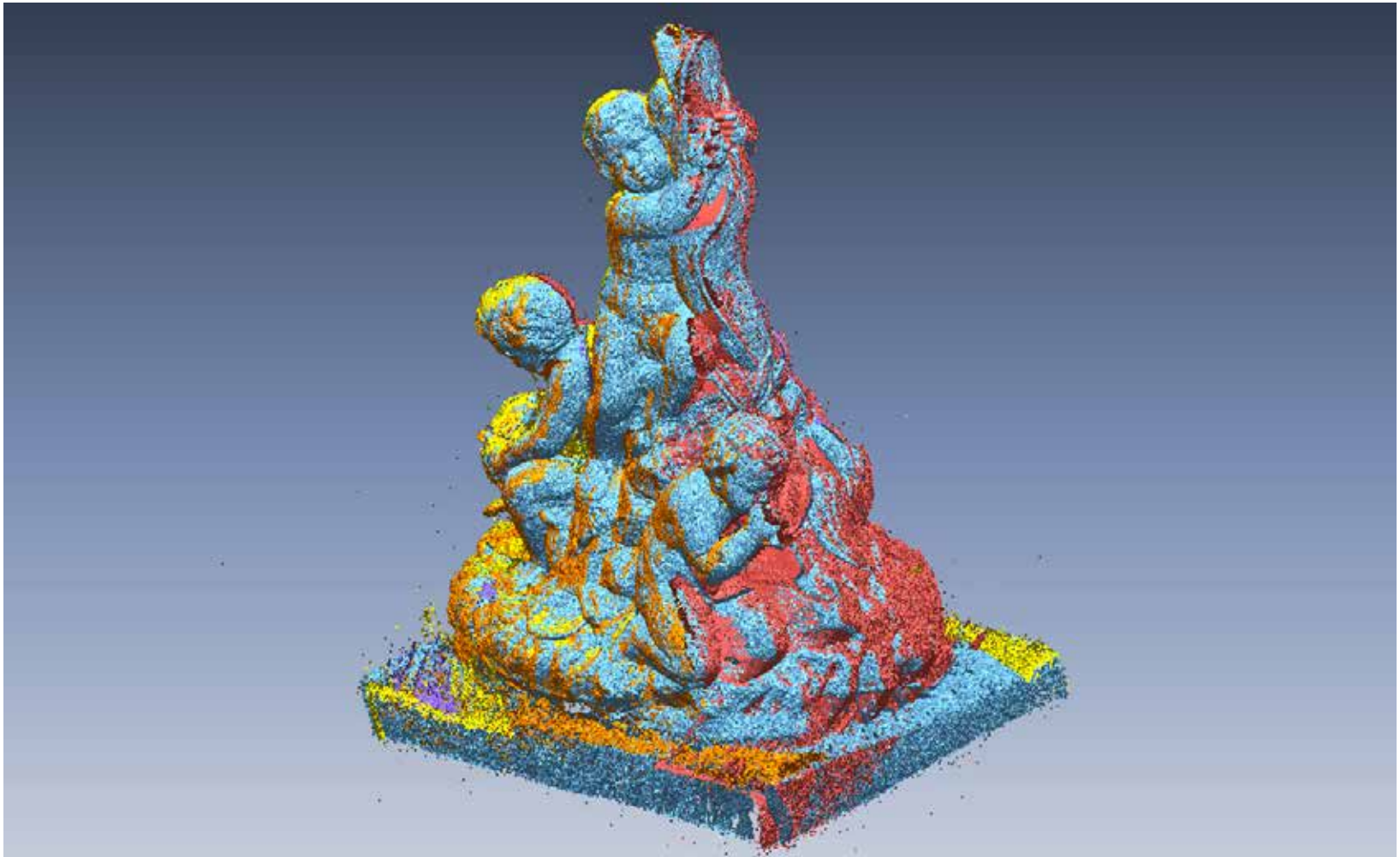
LECCIÓN 6

REVERSE MODELLING PARA LA CREACIÓN DE MAQUETAS RANGE BASED: TEORÍA Y PROGRAMAS. FOTO-MODELACIÓN PARA LA CREACIÓN DE MAQUETAS IMAGE BASED

Una vez que alineadas entre sí las diferentes nubes de puntos, se logra una maqueta 3D discontinua hecha por millones de puntos. Esta maqueta constituye la reproducción virtual más fiel, desde el punto de vista geométrico, del objeto a levantar.

El paso siguientes hacia la malla poligonal se hace empleando programas de modelación inversa (Reverse Modeling) con los cuales se obtienen maquetas continuas (mallas formadas por polígonos triangulares).





Rapiform XOR3

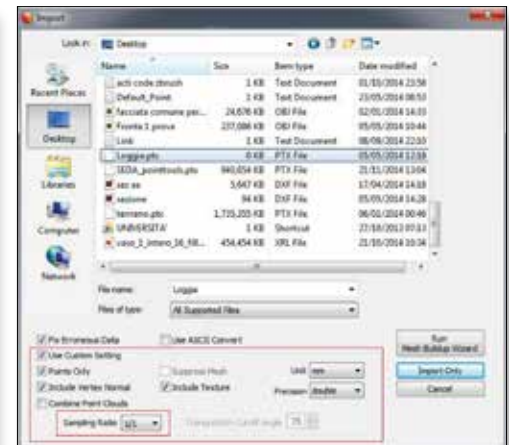
Importación de datos

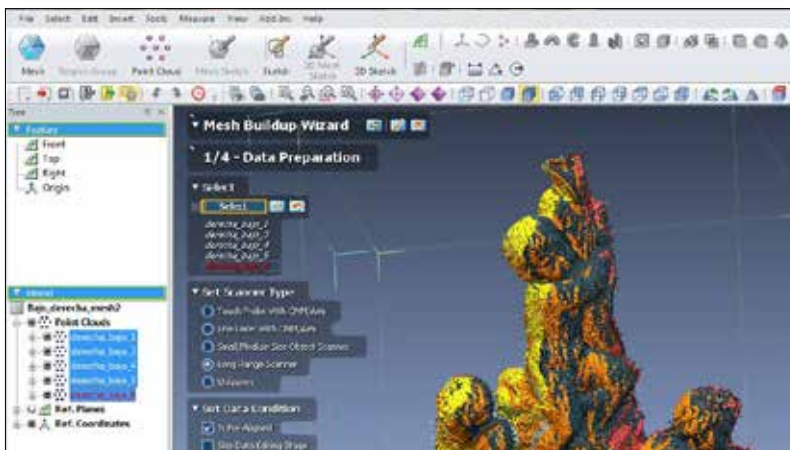
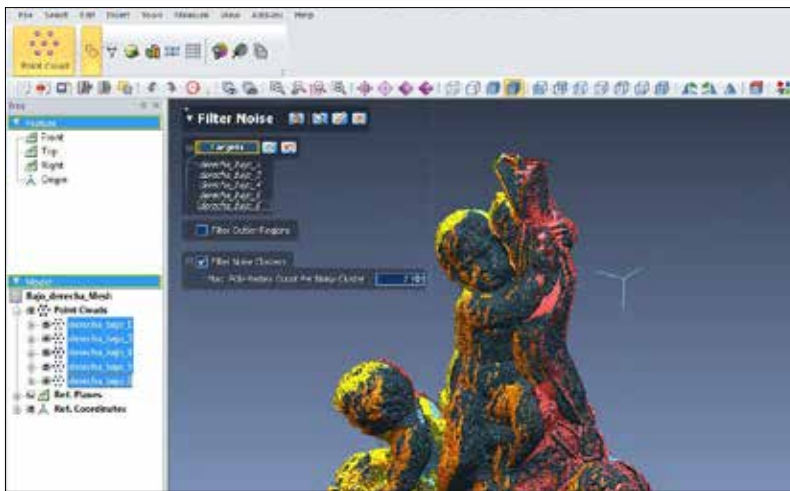
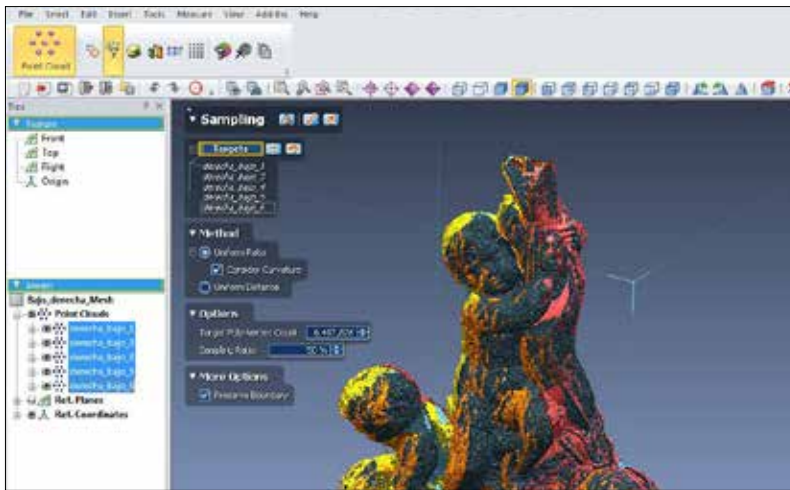
Se importan las nubes de puntos en formato .ptx con el mando Insert → Import.

El usuario puede elegir entre diversas opciones de importación.

Lade SamplingRate permite cortar el número de puntos antes de su importación.

Las nubes de puntos alineadas se importan por separado y mantienen el mismo sistema de referencia.



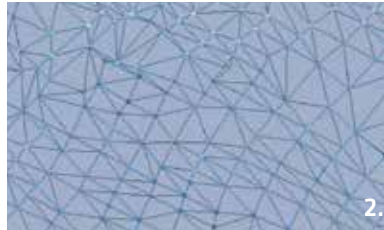


Reducción de ruido

El software proporciona el mando Sampling que reduce el número de puntos y el mando Filter Noise que le permite reducir el ruido de los escaneos.

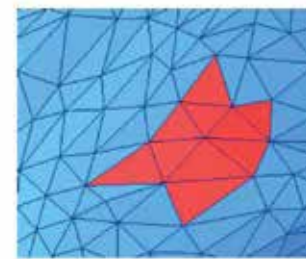
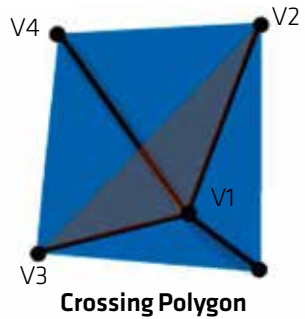
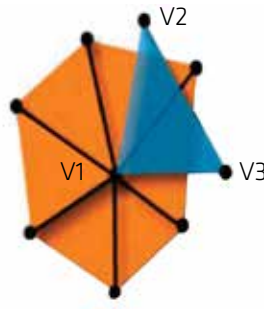
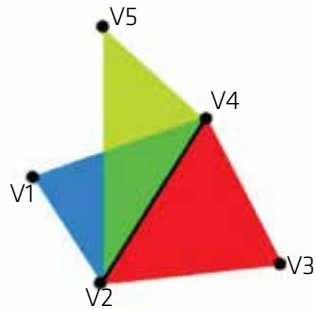
Construcción de la malla

El mando Mesh Buildup Wizard proporciona herramientas para la creación de la malla. Es un proceso semi-automático en el que el operador puede tomar algunas decisiones acerca de la exactitud alcanzada por el algoritmo de triangulación.



En el presente caso se trabaja con una nube de puntos no estructurada (datos tomados por escáner de tiempo de vuelo), esto puede dar lugar a algunas imprecisiones en la malla llamadas Errores Topológicos que pueden ser corregidos mediante una secuencia de mandos que hay en el software.

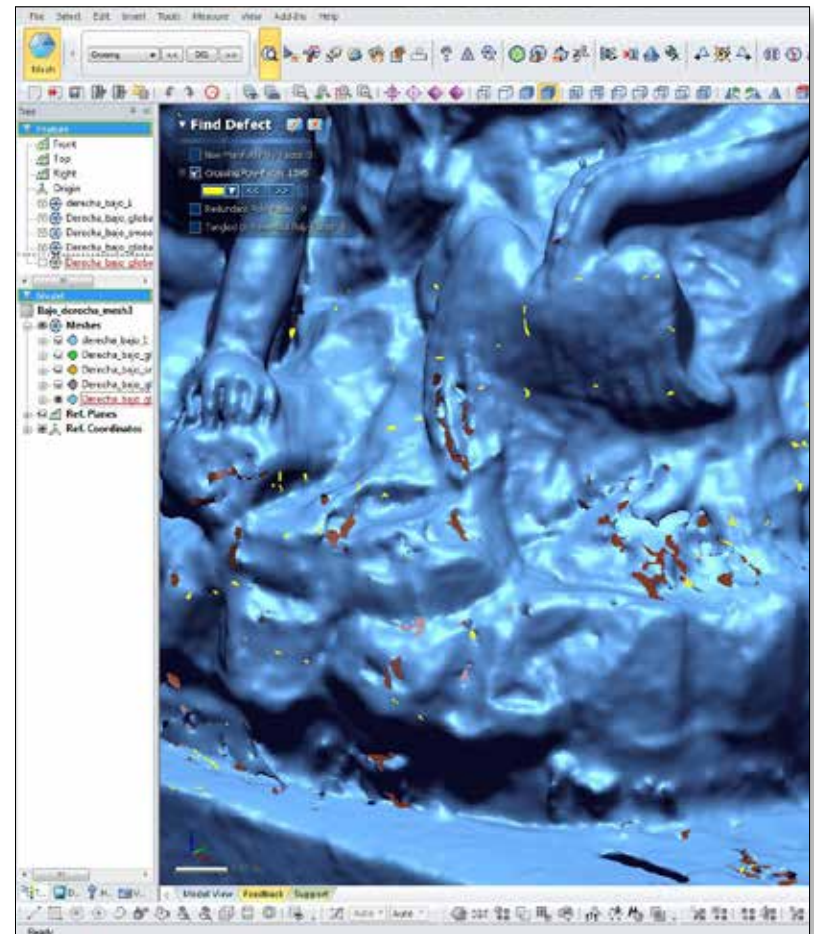
Find Defects: Identifica errores topológicos en la malla y le permite eliminarlos.



Cuidado de la malla

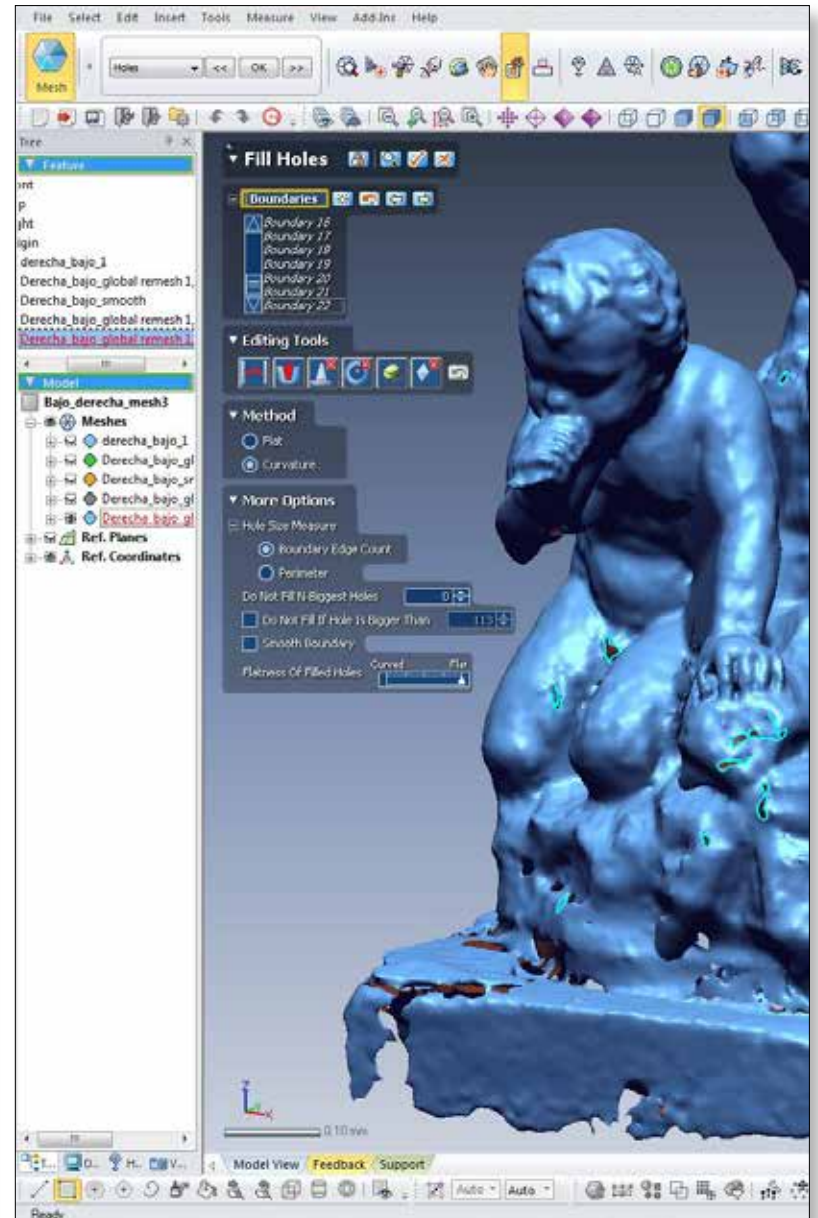
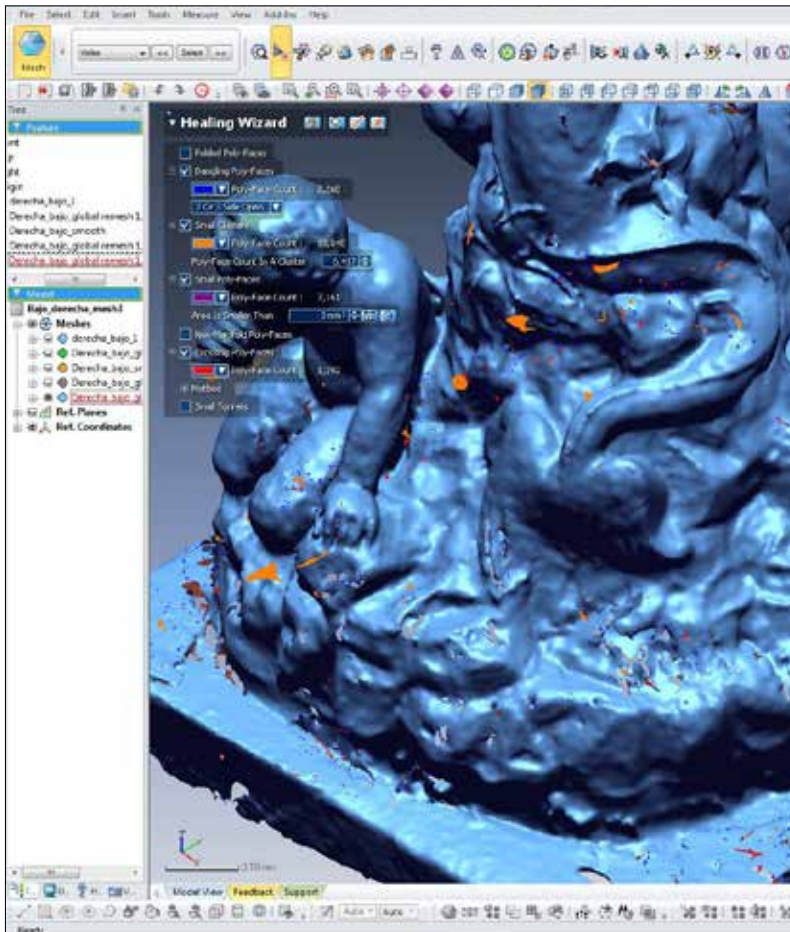
Hay dos tipos de nubes de puntos:

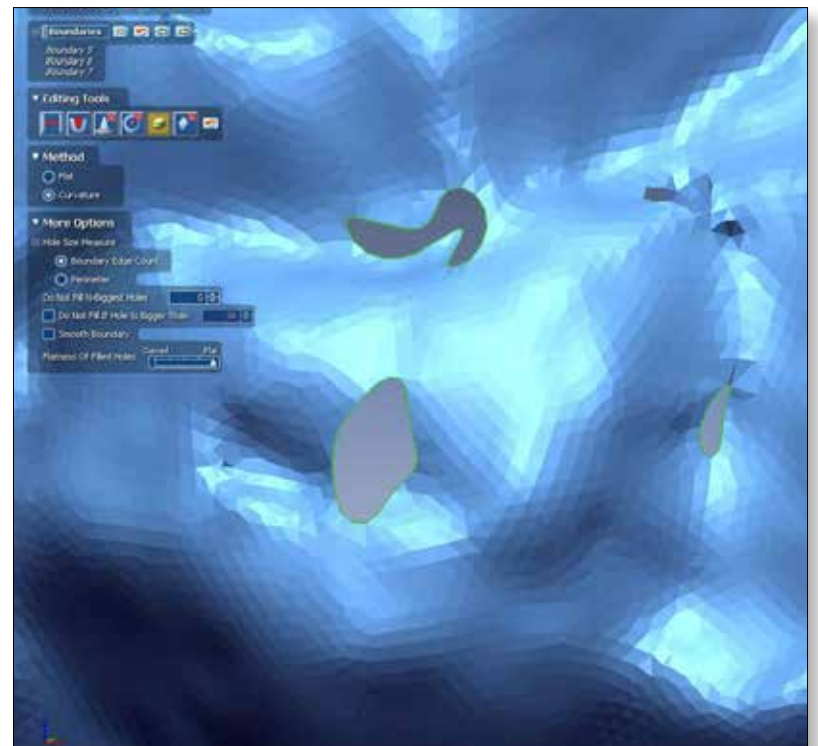
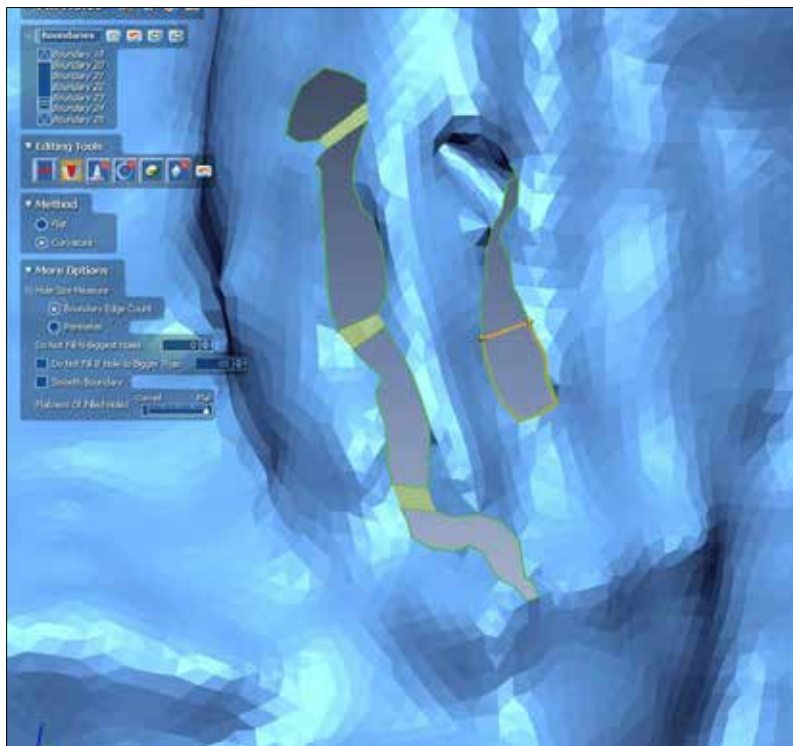
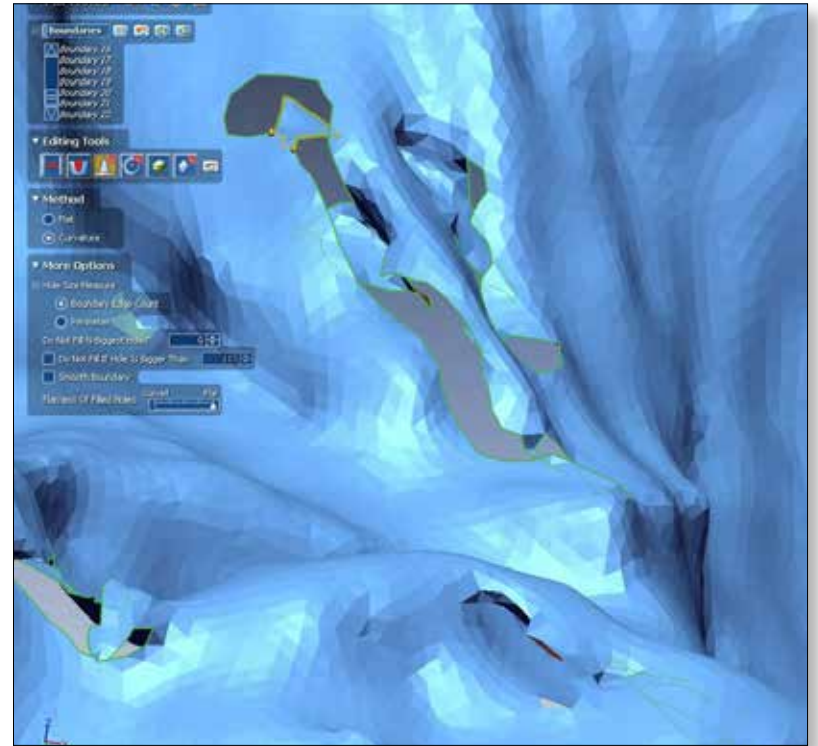
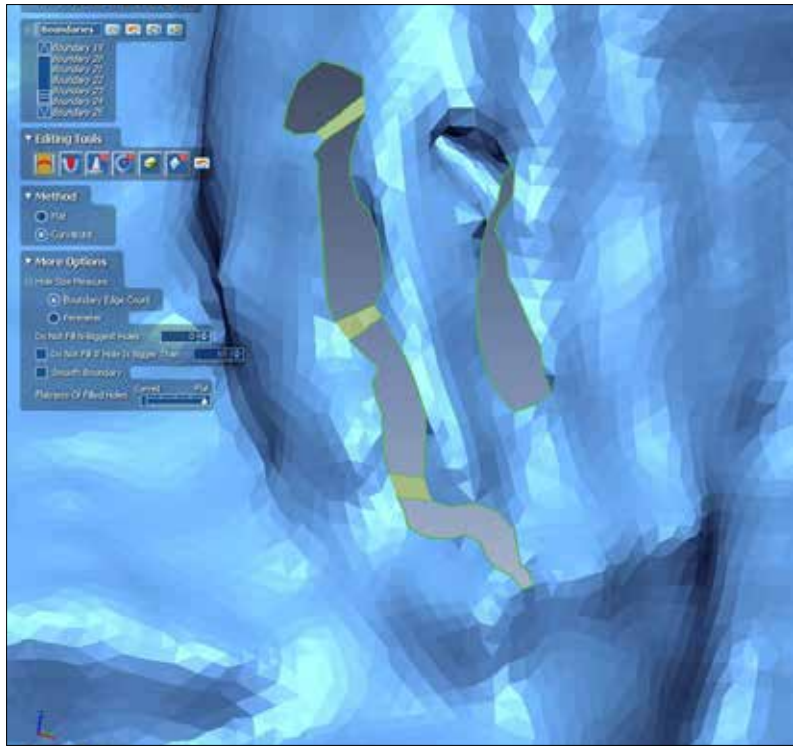
1. las Estructuradas están formadas por puntos cuya disposición en el espacio se organiza matemáticamente,
2. las No Estructuradas se caracterizan por una distribución de puntos que no está organizada.



Healing Wizard: Identifica defectos en los vértices y en los polígonos de la malla y ayuda a eliminarlos mediante el establecimiento de algunos parámetros.

Fill Holes: Conjunto de comandos que permite al operador de llenar ya sea automáticamente, o manualmente, discontinuidad y agujeros en la geometría de la malla que se han generados durante la creación de la misma.



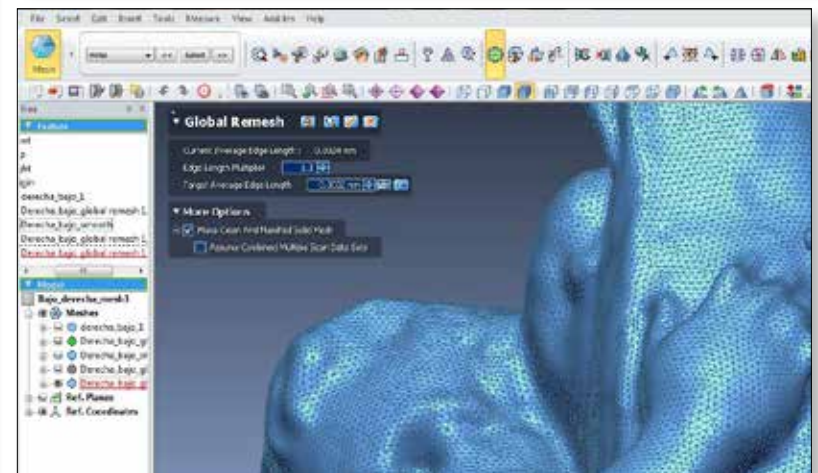
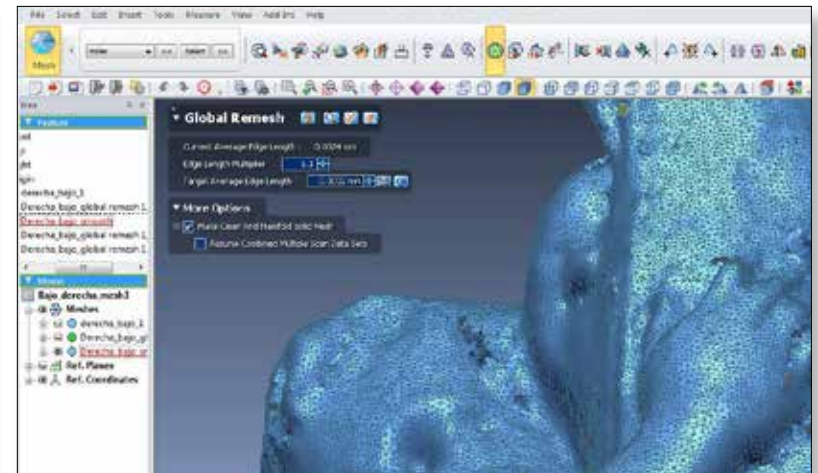
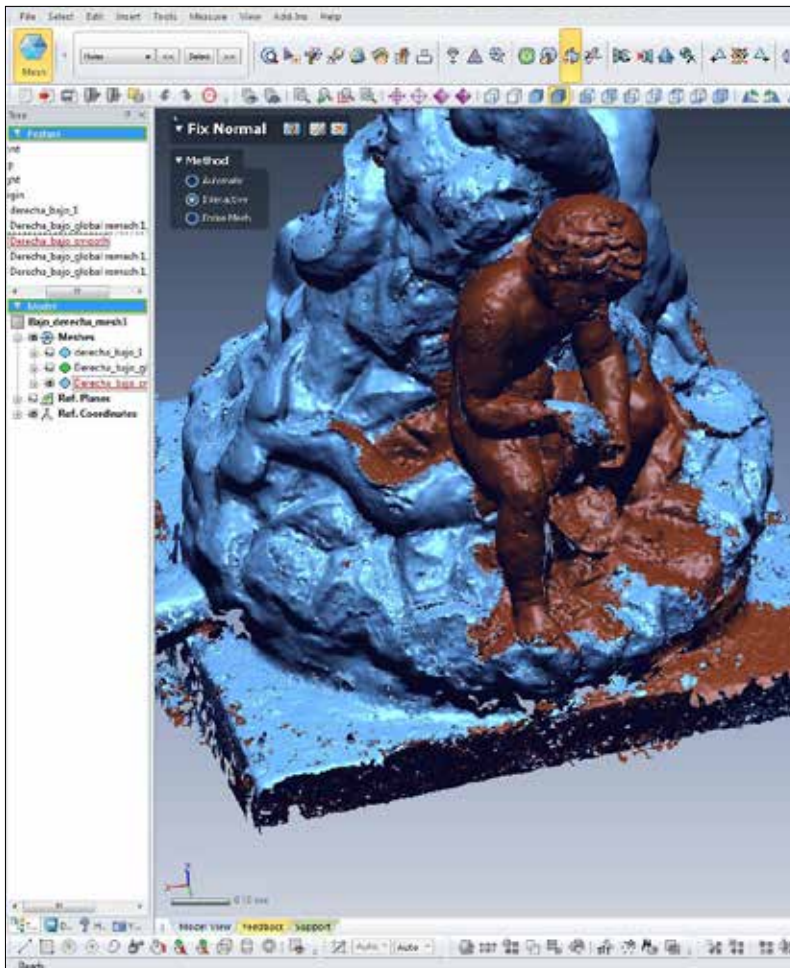


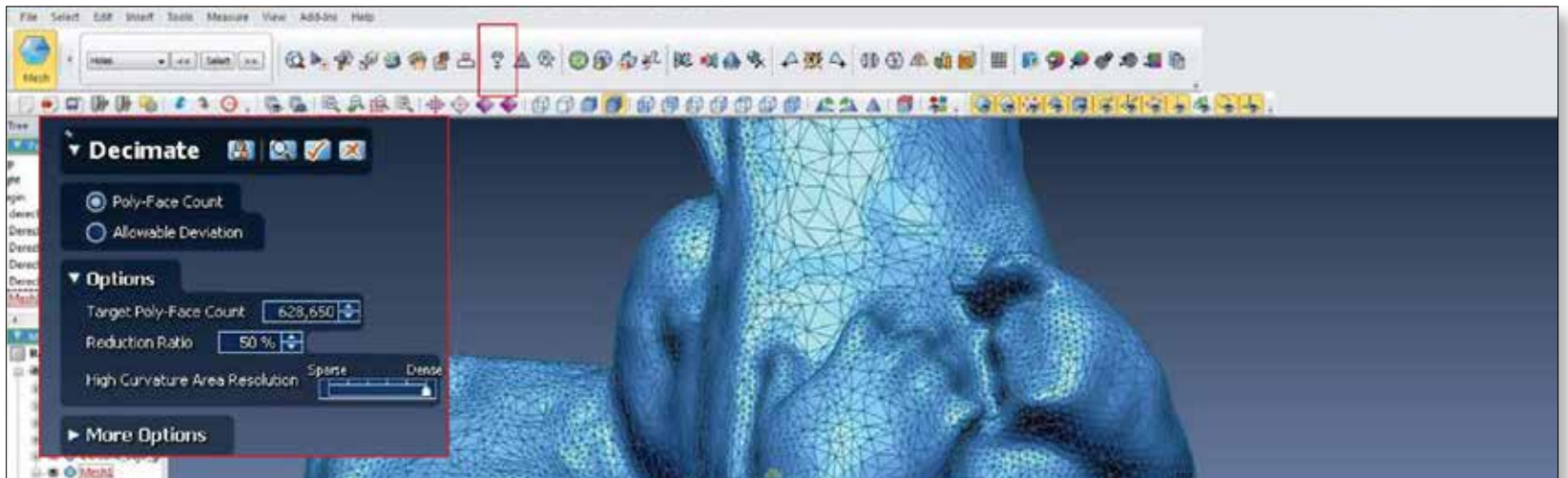
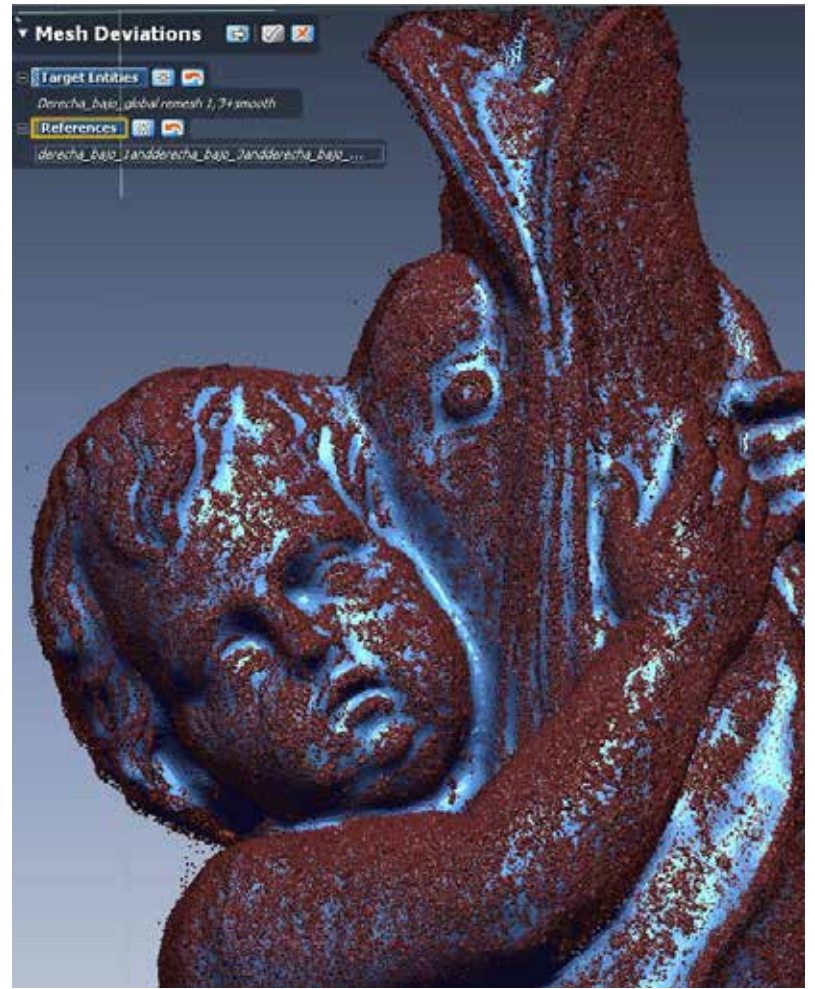
Las principales herramientas para cerrar agujeros son:

- *Bridge* (se parten los agujeros por medio de hilas de polígonos),
- *Gulf* (identifica una porción de agujero que se quiere rellenar),
- *Remove Peninsula* (identifica una porción de mallas que se quiere borrar),
- *Remove Island* (identifica una porción de malla aislada que se quiere borrar),
- *Smooth Boundary* (reduce los polígono que hay alrededor de un agujero).

Fix Normal: Permite corregir la dirección de las normales de los polígonos, haciéndolas uniforme en toda la superficie de la malla.

Global Remesh: Estos mandos permiten mejorar la calidad global de la malla por medio de una re-triangulación de los puntos. Los polígonos tendrán una longitud de los bordes más uniforme y, por lo tanto, una mayor regularidad.





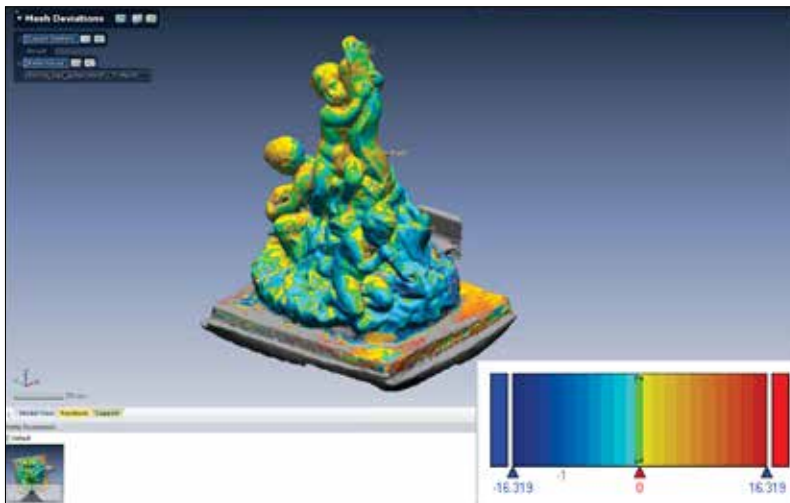
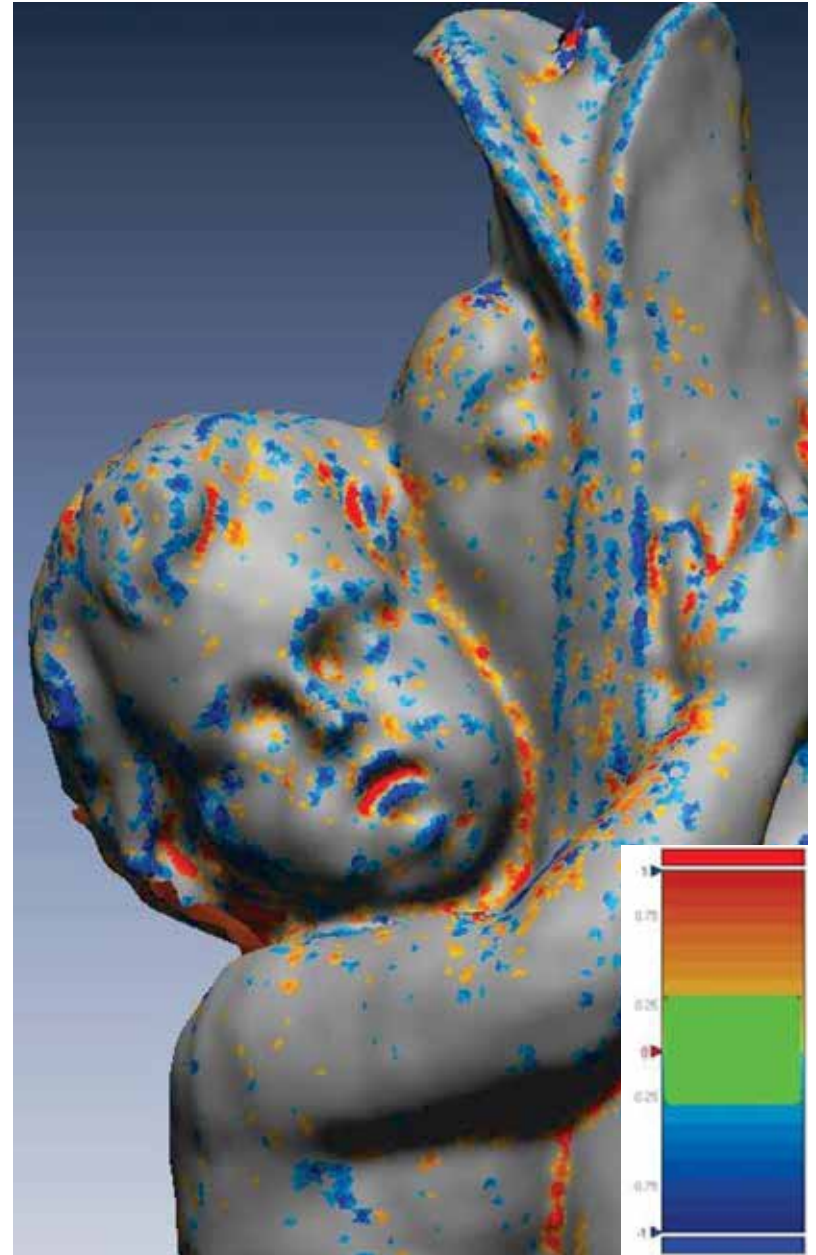
Decimate

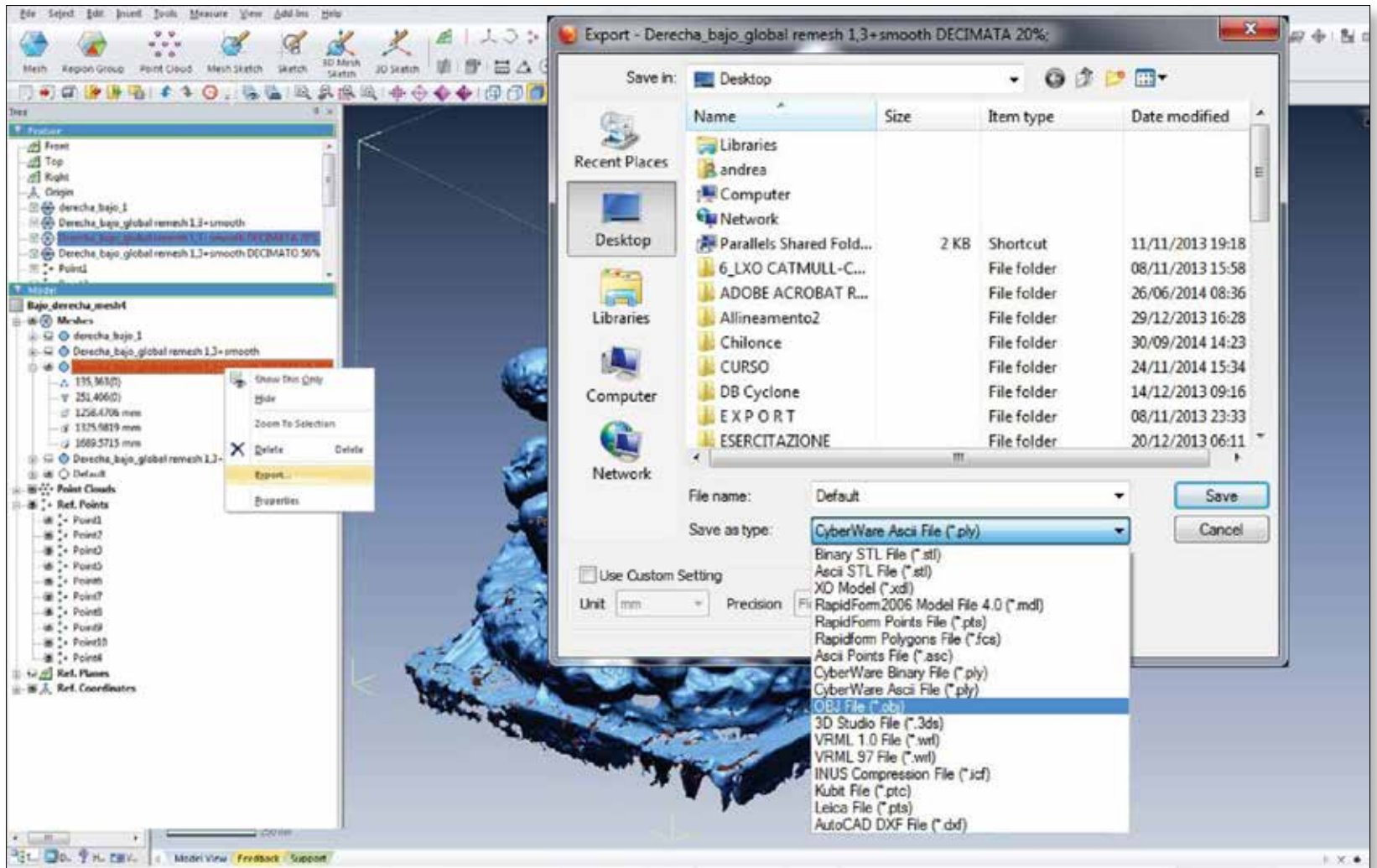
Reduce el número de polígonos que constituyen la malla. El algoritmo permite, dentro de ciertos límites, mantener la curvatura de la superficie.

Fielidad geométrica

Mesh Deviation: Aplicando las herramientas de cuidado de malla es inevitable que al final del proceso se genere un cambio en la geometría de la malla, por lo tanto es necesario controlar la desviación que se produce entre este último y los datos iniciales.

Se puede también comparar las mallas producidas por los dos diferentes sistemas de levantamiento digital: fotogrametría y escáner láser, siempre que la malla generada por el proceso fotogramétrico sea, con un procedimiento específico, puesta en escala y colocada en el mismo sistema de referencia de la que resulta de la adquisición mediante escáner láser.



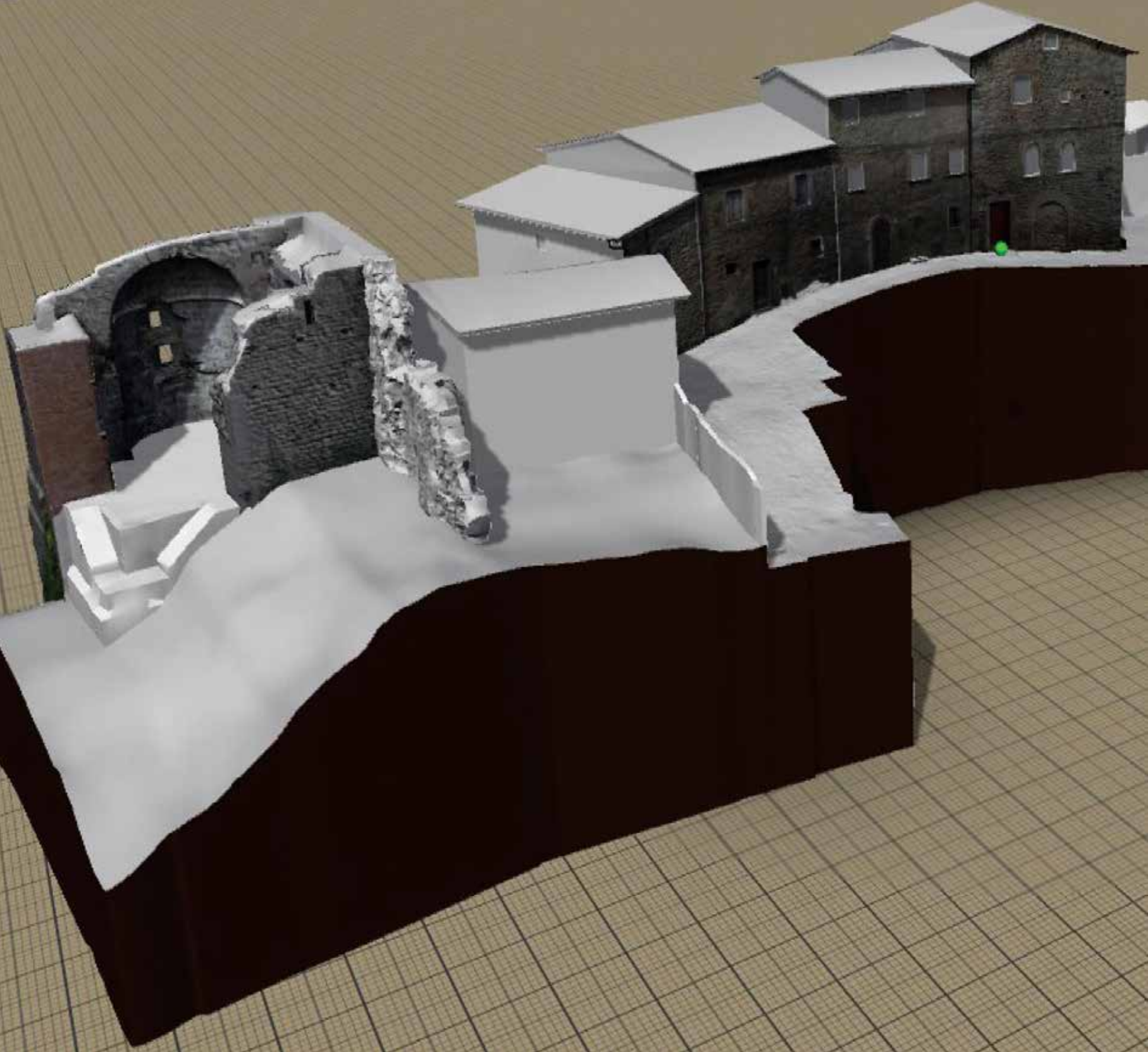


Exportación

Export: El modelo creado en Rapidform se puede guardar en un formato propietario (que proporciona una mayor compresión) o puede ser exportado a través del uso de diferentes formatos de intercambio incluyendo el .obj que

garantiza una mayor compatibilidad con otras aplicaciones. Para exportar una malla se hace clic con el botón derecho sobre el nombre de la malla que se encuentra en el “árbol” de los modelos.

Procesos de optimización de los modelos 3D para las aplicaciones multimedia



LECCIÓN 7

Alessandro Merlo

GESTIÓN DE LA RESOLUCIÓN DE LA MAQUETA: MESH HIGH-POLY Y MESH LOW-POLY. EL PAPEL DE LOS PROGRAMAS PARA EL ENTARTEINMENT EN LA PIPELINE DEL TRABAJO

Una vez acabado el trabajo de modelización tenemos una maqueta de malla poligonal densa (high-poly) del objeto levantado.

Para completar su documentación desde el punto de vista del color se necesita aplicar a esa malla una textura. Nos encontramos con dos casos distintos:

1. Crear imágenes estáticas (renderizados) de alta calidad geométrica y cromática.
2. Utilizar modelo 3D para navegaciones en tiempo-real o divulgarlo a través de la web.

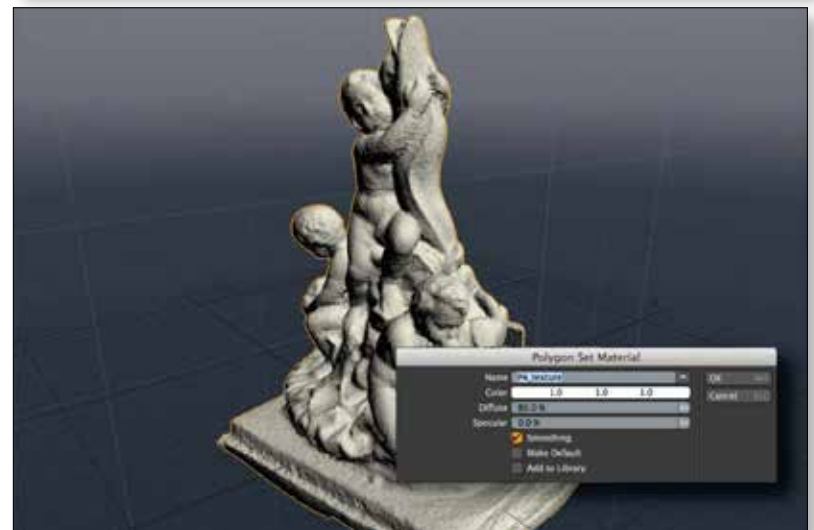
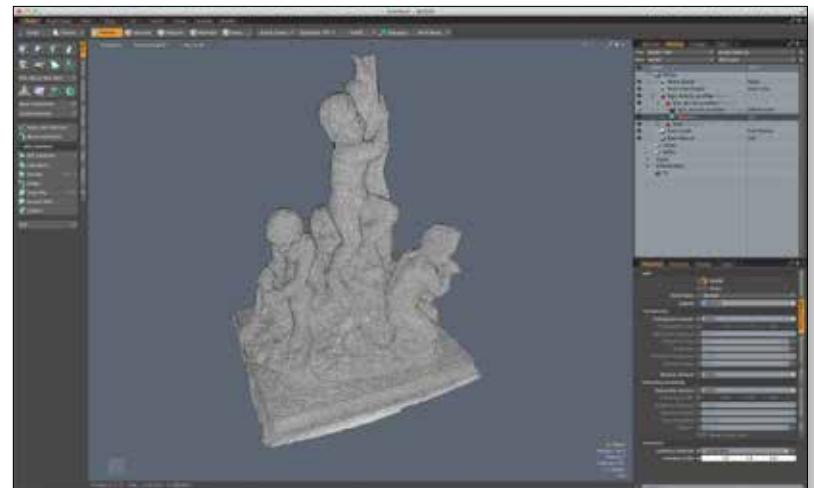
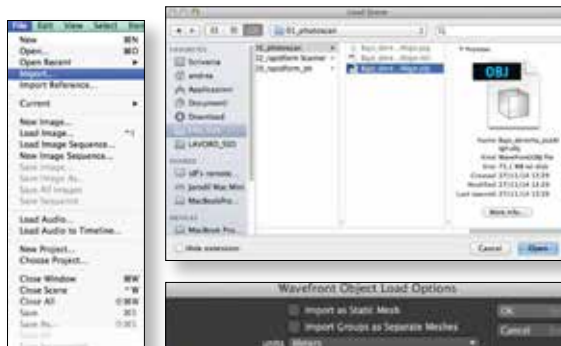
Luxology Modo

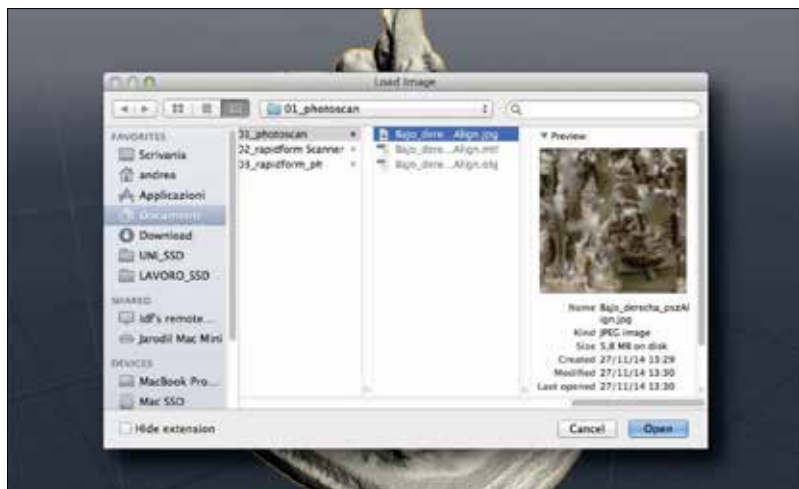
Creación de imágenes estáticas

En el primer caso es posible utilizar directamente el modelo high-poly correctamente texturizado.

Para hacer eso se utilizan los siguientes pasos:

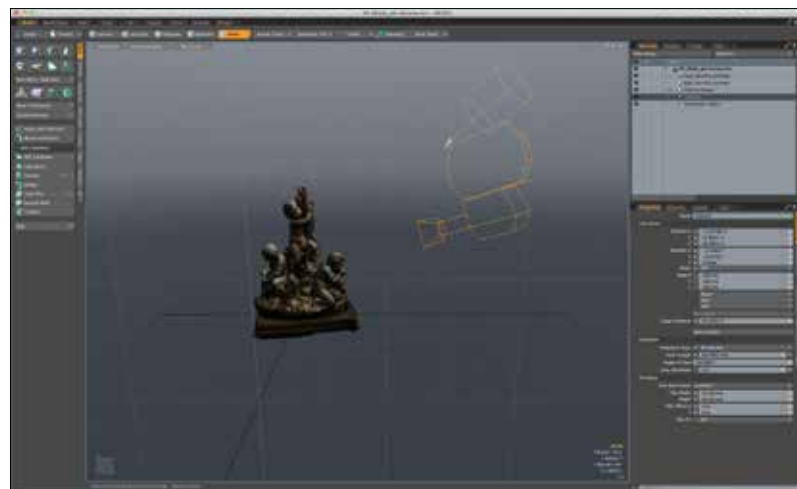
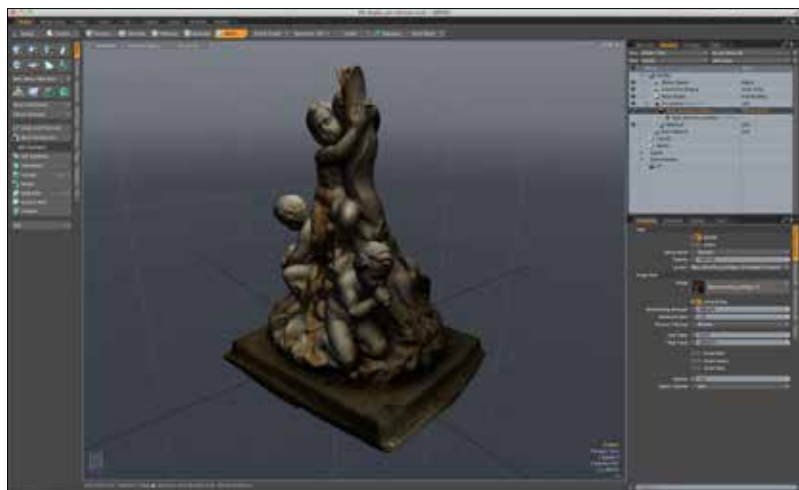
1. Importar el fichero en .obj en el software Modo con el mando: File → Import.
2. Seleccionar la maqueta y crear un nuevo material pulsando el botón “M” del teclado.





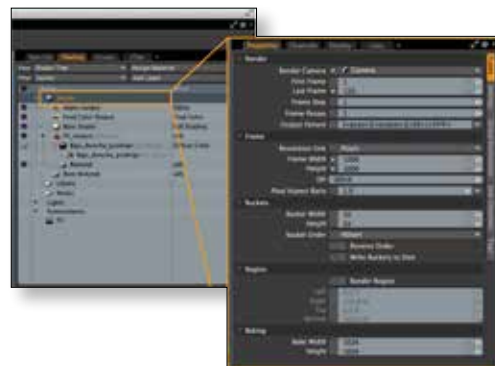
3. Seleccionar el material creado y en el menu Add Layer cargar la imagen (la textura desarrollada en el espacio UV).

La imagen se aplica como Diffuse Color Map sobre el sistema de referencia del mapa UV (en ese caso se ha utilizado el mapa construido automáticamente en Photoscan).



4. Configurar los parámetros de rendering como por ejemplo el punto de vista (cámaras), la iluminación y el tamaño de la imagen final. Las cámaras se añaden en Item → Add Item → Camera, una nueva fuente de iluminación se crea en Item → Add Item → Lights. Las propiedades de estos elementos se pueden modificar en la pestaña Properties.

Para sacar una imagen se utiliza el mando Render; desde aquí se puede elegir entre varias modalidad, como Render Current View, Render, etc. Ese último mando se utiliza para renderizar el objeto con una cámara; en este caso es necesario elegir antes la cámara que se quiere utilizar.







LECCIÓN 8

¿FORMA O APARIENCIA?

UV MAP Y BAKING DE LAS INFORMACIONES GEOMÉTRICAS DE LA MAQUETA

Andrea Aliperta

Optimización de las maquetas 3D

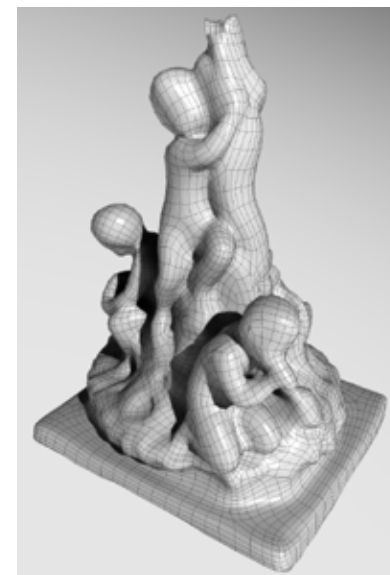
En el segundo caso (utilizar modelo 3D para navegaciones en tiempo-real o divulgarlo a través de la web), nos enfrentamos una vez más a un tema diferente, el de entertainment (videojuegos). Tan sólo para atender las necesidades de este sector, las empresas de software han desarrollado a lo largo de los años algunas aplicaciones que permiten combinar el tema de la fidelidad perceptiva con el de la velocidad de cálculo de los renderizados y, por supuesto, con el de la visualización a través de la web.



En primer lugar, conviene evaluar cuidadosamente el proceso de optimización de la maqueta reality based, dependiendo de la finalidad que queremos alcanzar. Para la creación de vídeos o aplicaciones de navegaciones en tiempo real será necesario, por lo tanto, reducir (a veces mucho) el número de polígonos de la maqueta 3D y de nuevo proceder a la texturización del propio modelo.



En este último caso para recuperar al menos perceptualmente la complejidad geométrica de la maqueta se recurre a la utilización de los Mapas de Normales (Normal Map).



LEVANTAMIENTO DIGITAL: CORRESPONDENCIAS ENTRE REAL Y REPRESENTADO

MEJOR EMPAREJAMIENTO ENTRE
MODELO GEOMÉTRICO Y SU EXPRESIÓN GRÁFICA



MEJOR EMPAREJAMIENTO ENTRE
REAL PERCEBIDO Y SU EXPRESIÓN GRÁFICA

NUBE DE PUNTOS
COMO SE TOMA

MALLA
POLYGONAL
SIN SIMPLIFICAR

MALLA
POLYGONAL
SIMPLIFICADA

MODELO
RETOPOLOGIZADO

MODELO
CREADO A PARTIR
DE ELEMENTOS 2D

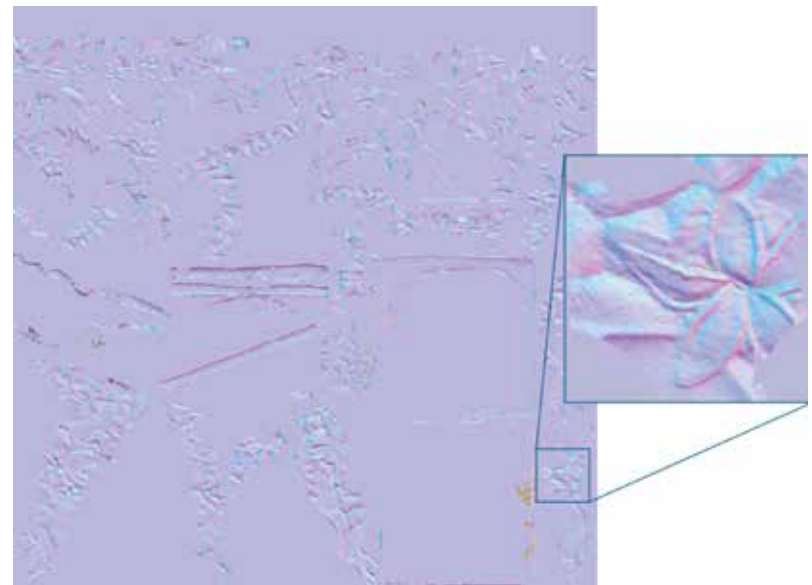
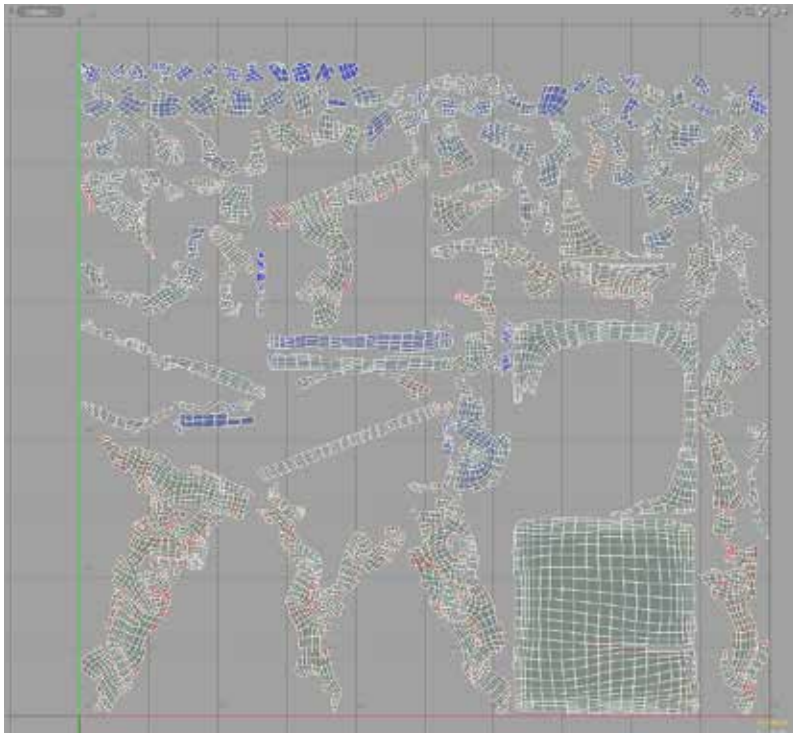
MODELO
SIMPLIFICADO
TEXTURIZADO

En estos mapas se codifica en el marco del sistema de referencia bidimensional UV el comportamiento de la luz (sombreado) en comparación con el vector normal que sobresale de cada polígono de la malla high-poly.

La reducción del número de polígonos de la maqueta se puede realizar a través de la decimación automática (como ya se ha visto en la comunicación an-

terior) o manualmente por el operador a través de una técnica de modelado conocido en el ámbito de la gráfica digital como Retopology (reconstrucción de la topología).

La adherencia geométrica de la textura con la maqueta se puede lograr a través de un proceso manual de construcción del Mapa UV (parametrización) totalmente gestionados por el operador a través de las herramientas proporcionadas. La parametrización, como ya se ha señalado, permite lograr un Mapa UV que funciona como sistema de referencia en dos dimensiones



(asociados a los puntos del modelo 3D) en el que las imágenes pueden ser codificadas con un proceso llamado Baking, o el software Modo.

Para aplicar con coherencia una textura sobre la maqueta 3D la construcción del mapa UV debe cumplir ciertas reglas:

1. Los polígonos deben desarrollarse impidiendo superposiciones (overlap); a cada punto del mapa UV debe corresponder un solo punto en el modelo 3D y viceversa.
2. El tamaño de los polígonos, una vez desarrollados en 2D, debe mantener las mismas proporciones que tenían en el espacio, con el fin de evitar que los pequeños polígonos queden representados por demasiados píxeles y los polígonos grandes por muy pocos píxeles.
3. El espacio UV debe ser utilizado casi por completo con el fin de tener un número elevado de píxeles para describir la pieza.
4. La malla poligonal tiene que desarrollarse en el plano de una manera continua. Para algunos mapas (por ejemplo el Mapa de Desplazamiento/Displacement Map) este requisito es esencial; para otros (por ejemplo el Mapa de normales/Normal Map y el Mapa de Colores/Diffuse Color Map) se recomienda descomponer la malla en el menor número de partes posible.

Una vez que el mapa UV ha sido desarrollado se pueden utilizar las herramientas proporcionadas por Modo para realizar el Baking del Mapa de Normales. Esta operación codifica las direcciones de las normales de los polígonos que constituyen la superficie de la maqueta high-poly dentro del espacio UV, en el que cada píxel tiene un color RGB que identifica inequívocamente la dirección de la normal en el espacio.

La imagen que se crea, aplicada al modelo como textura, afecta al cálculo del sombreado de la superficie con respecto a la posición de la fuente de luz presente en la escena virtual.





LECCIÓN 9

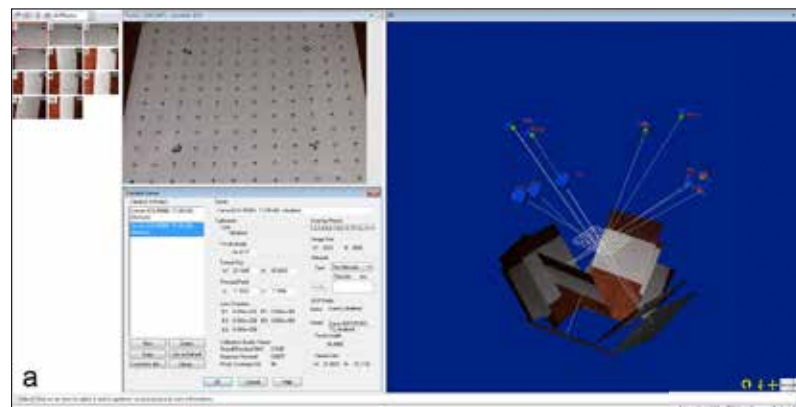
LA RESTITUCIÓN DEL COLOR DIFUSO: CAMERA RESECTIONING, CAMERA PROJECTION Y BAKING DE LAS INFORMACIONES CROMÁTICAS

Para construir la textura del color difuso se pueden utilizar diferentes procedimientos que emplean el principio de Camera Projection, que utiliza la ubicación en el espacio de las cámaras de las que se tomaron las fotos para proyectar imágenes en el objeto.

Las coordenadas de las cámaras pueden obtenerse a través de una operación llamada Camera Resectioning, que realiza el usuario sobre cada fotograma con programas especiales, o bien, como en este caso, utilizando la ubicación de las cámaras ya adecuadamente posicionadas durante el proceso fotogramétrico.

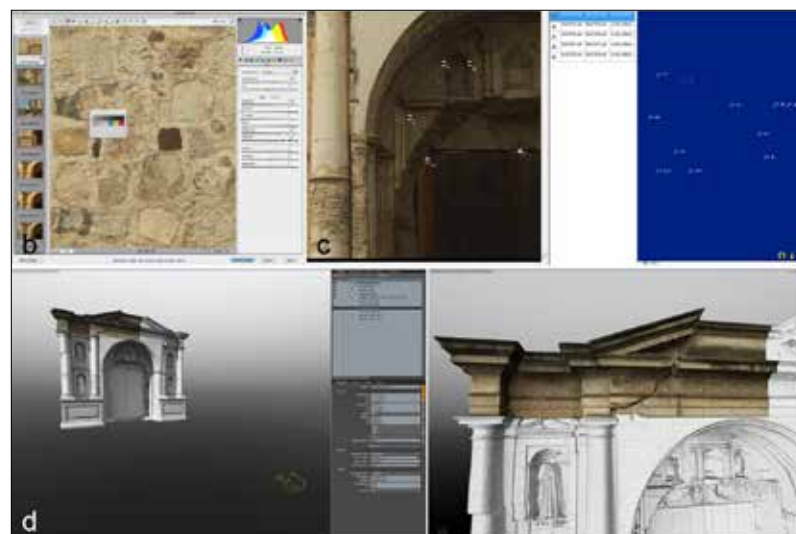
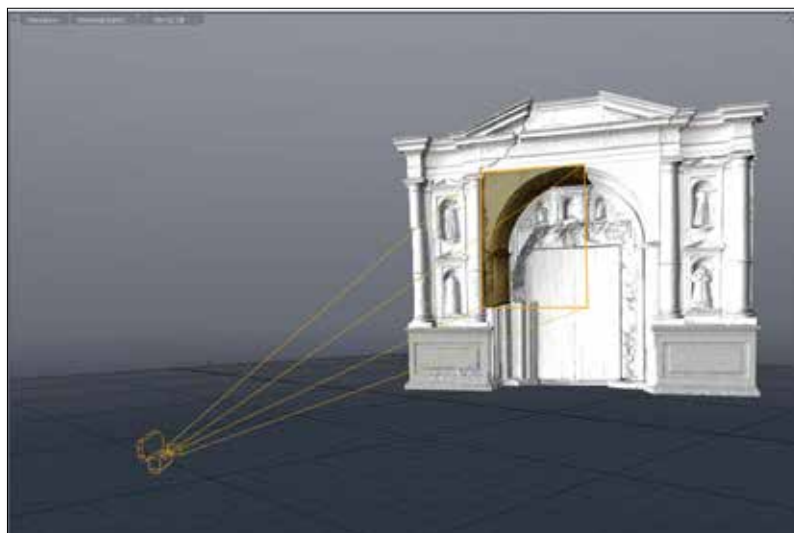
En el primer caso, el propio operador relaciona la posición de los puntos identificados en el modelo high-poly (expresada en coordenadas x, y, z) con los mismos puntos identificados en el fotograma, estableciendo así una correspondencia biunívoca entre ellos.

Esta operación, que se repite tantas veces cuantas son las imágenes necesas-



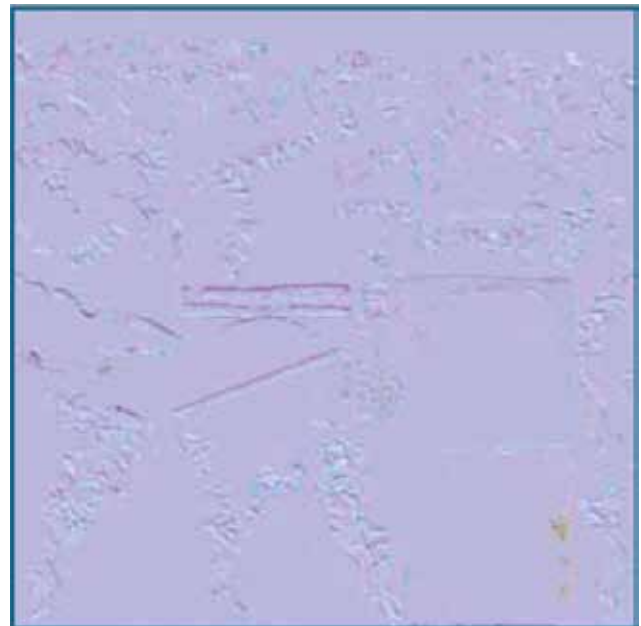
rias para la cobertura completa del modelo, proporciona los parámetros externos de la cámara, es decir, las coordenadas (x, y, z) y las rotaciones (Ω , Φ , κ) expresadas en el sistema de referencia del modelo.

Conseguidos estos parámetros se pueden exportar las cámaras en el formato .fbx y luego insertarlas en Modo de forma de proyectores para lanzar los



fotogramas sobre el mismo modelo y, por lo tanto, codificar el color en el sistema de referencia UV a través de una operación de Baking.

En el segundo caso, el modelo 3D creado con PhotoScan ya tiene su propia mapa UV (generadas automáticamente por el software) resultante de la fusión de las informaciones cromáticas de las imágenes que se han utilizado para “reconstruir” el objeto. En la exportación de la maqueta poligonal hacia Modo, empleando el formato de intercambio .obj, esta mapa UV se mantiene inalterada. En Modo se puede, por lo tanto, aplicar directamente el mapa UV generado previamente, sin necesidad de valerse del procedimiento de Baking. Al final del procedimiento obtenemos un modelo “optimizado” (low-poly) al que están asociados un Mapa de Normales, que devuelve la geometría perceptualmente perdida tras el proceso de decimación, y un Mapa de Color, que permite ver el material del que está hecho el objeto.



Alliez P., Ucelli G., Gotsman C., Attene M. (2008), *Recent Advances in Remeshing of Surfaces*, in *Shape Analysis and Structuring*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin.

Apollonio F.I., Baroncini V., Baldissini S. (2011), *Metodi di modellazione per la costuzione del geodatabase palladiano*, in *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno la modellazione dell'architettura e della città*, Gangemi Editore, Roma.

Apollonio F.I., Gaiani M., Manferdini A.M. (2010), *Modellazione semantica, metodi a multi-risoluzione*, in *Modelli digitali 3D in archeologia: il caso di Pompei*, a cura di B. Benedetti, M. Gaiani, F. Remondino, Edizioni della Normale, Pisa.

Cohen J., Olano M., Manocha D. (1998), *Appearance-Preserving Simplification*, in *SIGGRAPH '98 Proceedings of the 25th annual conference on computer graphics and interactive techniques*, ACM New York, NY.

Fantini F. (2010), *Image Based Data Processing (IBDP) la restituzione attraverso displacement subD a partire dal rilevamento laser scanner*, in «Materia e Geometria» 18/2010.

Fantini F., Rodriguez-Navarro P., Di Tondo S. (2012), *Il problema della mappatura del colore nei modelli digitali 3D a displaced subdivision surface da rilevamento laser scanner in ambito archeologico*, in *Colore e Colorimetria Contributi Multidisciplinari*, a cura di M. Rossi, A. Siniscalco, Vol. VIII A, Maggioli, Bologna.

Gaiani M. (2001), *Traduzioni dal reale al virtuale in architettura*, in *Frontiere del rilievo, dalla matita alle scansioni 3D*, a cura di R. Migliari, Gangemi, Roma.

Guidi G., Russo M., Beraldin J.A. (2010), *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, McGraw-Hill, Milano.

Lai Y.K., Kobbelt L., Hu S.M. (2008), *An Incremental Approach to Feature Aligned Quad Dominant Remeshing*, in *Proceeding SPM '08*, *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Solid and physical modelling*, ACM New York, NY.

Merlo A., Vendrell-Vidal E., Fantini F., Sánchez-Belenguer C., Aliperta A. (2013), *3D model visualization enhancements in real-time game engines*, in *3D-ARCH 2013 – 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures*, a cura di J. Boehm, F. Remondino, T. Kersten, T. Fuse, D. Gonzalez-Aguile, Trento, int-arch-photogramm-remotesens-spatial-inf-sci.net/XL-5-W1.

Merlo A., Fantini, F. (2012), *I sistemi di ottimizzazione image based per la gestione dei modelli digitali 3D a scala urbana*, in A. Merlo, *Il castello di Pietrabuona*, Edizioni ETS, Pisa.

Merlo A., Fantini, F., Lavoratti G., Aliperta A., López-Hernández J.L. (2013), *La mappatura dei modelli digitali ottenuti mediante sensori attivi: verso nuove e più ampie prospettive di utilizzo*, in *Colore e colorimetria. Contributi multidisciplinari, atti della IX Conferenza del colore (Firenze, 19-20 Settembre 2013)*, a cura di M. Rossi, A. Siniscalco, Maggioli, Bologna.

Merlo A., Fantini, F., Lavoratti G., Aliperta A., López-Hernández J.L. (2013), *Mappatura e ottimizzazione dei modelli digitali reality based: la chiesa della Compañía de Jesús*, in *Disegnare con la fotografia digitale*, «Disegnarecon» n° 12 ottobre 2013.

Piponi D., Borshukov G. (2000), *Seamless texture mapping of subdivision surfaces by model peltin and texture blending*, in *Siggraph 2000 Conference Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH*.

Verdiani G. (2011), *Il ritorno all'immagine, nuove procedure image based per il Cultural Heritage*, Lulu.com.



Programa del curso	5
Introducción	7
Lección 1 Introducción al levantamiento digital, los sensores activos, el levantamiento escáner láser	15
Lección 2 Los sensores pasivos, informe básico sobre la fotografía digital, el levantamiento fotogramétrico	23
Lección 3 3D point cloud processing software. Elaboración de los datos y alineación de las nubes de puntos	31
Lección 4 3D point cloud processing software. Restitución 2D (plantas, alzados y secciones)	37
Lección 5 Programas de fotogrametría. Procesamiento digital, elaboración de los fotogramas para la creación de nubes de puntos 3D y restitución 2D	43
Lección 6 Reverse Modelling para la creación de maquetas Range Based: teoría y programas. Foto-modelación para la creación de maquetas Image Based	55
Lección 7 Gestión de la resolución de la maqueta: mesh high-poly y mesh low-poly. El papel de los programas para el entertainment en la pipeline del trabajo	67
Lección 8 Forma o apariencia? UV map y baking de las informaciones geométricas de la maqueta	71
Lección 9 La restitución del color difuso: camera resectioning, camera projection y baking de las informaciones cromáticas	75
Bibliografía	77



El curso está dirigido a un alumnado máster, postgrado y doctorado que desee adquirir las herramientas básicas para orientarse en el ámbito del levantamiento digital de bienes culturales: desde la toma de datos con escáner laser y fotogrametría digital, hasta la restitución gráfica 2D y la creación de maquetas 3D.

En las investigaciones científicas sobre los objetos que pertenecen al patrimonio histórico, las tecnologías digitales y los soportes informáticos tienen un papel fundamental en la documentación y representación de su geometría, morfología, apariencia cromática y de sus materiales, así como en la difusión de los resultados conseguidos.

Alessandro Merlo es profesor de Levantamiento de la Arquitectura en la Escuela de Arquitectura de Florencia. Desde 2007 dirige el equipo de investigación “Levantamiento y documentación de los castillos de la Suiza Pesciatina” y, a partir de 2013, es director del Curso de Postgrado “Documentación y gestión de los asentamientos históricos menores” y de la homónima Unidad de Investigación DM_SHS (Documentation and Management of Small Historical Settlements). Su investigación, que lidera a nivel internacional, se dirige a la documentación, a través de las tecnologías digitales, de la herencia histórica y artística.

Andrea Aliperta es doctorando de la Escuela de Doctorado de la Escuela de Arquitectura de Florencia, donde enseña Levantamiento Digital en el curso de postgrado “Documentación y gestión de los asentamientos históricos menores”. Su investigación se centra en el modelado 3D avanzado para la documentación y promoción del patrimonio cultural.



ISBN 978-88-9608-029-0



9 788896 080290